

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"
(НИТУ "МИСиС")

На правах рукописи



Немировский Андрей Владимирович

**Разработка метода формирования намывного хвостохранилища,
устойчивого к ветровым потокам**

Специальность 25.00.20 – "Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика"

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
проф., д-р техн. наук
Каркашадзе Г.Г.

Москва - 2016

Содержание

Введение	4
1. Обзор способов и технических средств формирования хвостохранилища при разработке полезного ископаемого	8
1.1. Состояние вопроса.....	8
1.2. Экологические аспекты влияния хвостохранилища на внешнюю среду.....	11
1.3. Базовые способы формирования хвостохранилища	14
1.4. Выводы	20
2. Исследование процесса формирования намывного хвостохранилища	21
2.1. Анализ закономерностей перемещения хвостов гидродинамическими потоками	21
2.2. Влияние ветровых нагрузок на процесс пыления хвостохранилища.....	28
2.3. Анализ факторов влияющих на формирование пылевых облаков с поверхности хвостохранилища	30
2.4. Выводы	34
3. Обоснование технологических параметров формирования намывного хвостохранилища с поверхностью устойчивой к ветровым нагрузкам.....	35
3.1 Анализ технических решений формирования хвостохранилищ, устойчивых к ветровым нагрузкам.....	35
3.2. Разработка технологической схемы формирования наливных хвостохранилищ без пыления песчаных пляжей.....	41
3.3 Обоснование состава связующего для поверхности	

хвостохранилища.....	51
3.4 Обоснование технологического варианта подготовки и доставки связующего на хвостохранилище.....	56
3.5 Выводы.....	74
4. Обоснование технологических параметров наливного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам	75
4.1. Моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища	75
4.2. Анализ процесса осаждения пылевых частиц на выходе из хвостохранилища.....	86
4.3. Опытное испытание вяжущего состава для нанесения на хвостохранилище	98
4.4. Техничко-экономическая оценка полученных результатов.....	103
4.5. Выводы.....	107
Заключение.....	109
Литература.....	111
A1 Приложение 1.....	123
A2 Приложение 2.....	130

Введение

Современное индустриальное развитие России сопровождается интенсификацией процессов добычи и переработки минерального сырья, что связано с загрязнением окружающей среды отходами горного производства. По оценкам специалистов мировое потребление минерального сырья составляет около 12 млрд. т в год, а извлечение горных пород из недр составляет около 100 млрд. т в год. В целом по России добыча металлических руд составляет около 230 млн. т, что приводит к непрерывному увеличению объема техногенных отходов. В настоящее время только в России находится в отвалах и хвостохранилищах около 500 млрд. м³ отходов переработки полезных ископаемых.

Актуальность работы. При разработке железорудных месторождений открытым и подземным способами, после обогатительного передела полезного ископаемого, формируют хранилища мелкодисперсной пустой породы, которая под действием ветровых потоков попадает в атмосферу. При этом наносится вред окружающей среде и загрязнение прилегающих территорий и сельскохозяйственных угодий. Горно-обогатительные комбинаты черной металлургии России в настоящее время эксплуатируют свыше 35 крупных хвостохранилищ, в которых уложено более 2,5 млрд. м³ пустой породы. Только на предприятиях Курской магнитной аномалии площадь непрерывных источников загрязнений в виде намывных техногенных массивов: намывных и наливных хвостохранилищ превышает 5000 га. При этом проблема экологического ущерба с течением времени становится все более существенной.

Поэтому разработка и внедрение безопасных и эффективных технологий формирования намывных хвостохранилищ без пыления надводных пляжей представляет актуальную практическую задачу. Она решается на основе совершенствования технологии формирования пляжей хвостохранилищ, устойчивых к ветровым нагрузкам.

Целью работы является обоснование и разработка метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам, за счет формирования поверхности надводных пляжей, осаждающих и связывающих пылевые частицы.

Основная идея работы заключается в управлении исходящими из хвостохранилища пылеветровыми потоками путем формирования наклонной к заградительной дамбе поверхности намыва, что позволяет накапливать на поверхности пляжа минеральные связующие вещества хвостов обогащения и исключить вынос пыли за пределы хвостохранилища за счет ориентации вниз части воздушного потока.

Задачи исследования, поставленные и решённые для достижения указанной цели:

1. Анализ способов и технических средств управления пылегазовыми потоками при эксплуатации намывного хвостохранилища.
2. Экспериментальные исследования процесса нанесения связующих материалов на пылящие поверхности хвостохранилища в натурных условиях.
3. Обоснование возможности использования минеральных связующих составов из примесей исходной железной руды, содержащихся в хвостовой пульпе.
4. Компьютерное моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища в зависимости от угла наклона прибрежной части пляжа и размеров ограждающей дамбы.
5. Аналитические исследования процесса перемещения пылевых частиц в воздушном потоке на выходе из хвостохранилища.
6. Обоснование технологической схемы намыва хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам.

Методы исследований включают анализ литературных источников и патентной документации в области пылеподавления при формировании техногенных источников пыли, лабораторные и производственные эксперименты, вычислительное моделирование процесса распространения

воздушных потоков, аналитические исследования перемещения пылевых частиц в аэродинамическом потоке, сравнительный анализ теоретических и практических результатов.

Научные положения, разработанные лично соискателем, и их новизна:

1. Комплексное измельченное вещество, содержащее в массовой пропорции 1 часть бумажных отходов и 7...10 частей глины, смешанное с пульпой хвостов обогащения, обладает плавучестью и после осушения приграничной зоны наклонного пляжа аккумулируется на его поверхности в качестве устойчивого связующего.

2. В составе исходной железной руды и продуктах обогатительного передела содержится порядка 5 % минеральных примесей в виде карбонатов кальция, магния и глинистых пород, которые обладают связующими свойствами при их аккумуляции на сухой поверхности намывного пляжа.

3. Нисходящий угол в пределах 3...6 град. наклона поверхности намывного пляжа к контуру ограждающей дамбы обеспечивает ориентацию вниз части исходящего ветрового потока, достаточную для осаждения пыли на связующей приграничной поверхности пляжа.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечиваются корректным использованием физических законов перемещения твердых частиц в аэродинамическом потоке, методов математического анализа и компьютерного моделирования ветрового потока в среде COMSOL Multiphysics, а также сходимостью полученных научных данных с результатами ранее выполненных исследований.

Научное значение работы состоит в том, что разработана аналитическая модель переноса песчаных частиц аэродинамическими потоками на выходе из хвостохранилища с учетом ширины, угла наклона приграничной поверхности пляжа и высоты ограждающей дамбы.

Практическое значение работы состоит в том, что результаты и рекомендации по формированию наклонной поверхности намывного пляжа с

рациональным выпуском пульпы из распределительных трубопроводов и связующими веществами предназначены для использования на обогатительных фабриках горных предприятий при проектировании технологий формирования намывных хвостохранилищ, устойчивых к ветровым потокам.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты работы в виде Методических указаний по проектированию намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам, используются на Стойленском горно-обогатительном комбинате при совершенствовании технологии намыва хвостохранилища. Результаты исследований используются также в учебном процессе при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине «Компьютерное моделирование физических процессов горного производства» на кафедре физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ «МИСиС».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка» в 2012 – 2014 гг., на технических советах ОАО «Стойленский ГОК» в 2011 – 2015 гг., на 10-й международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (ИПКОН РАН, 2013 г.), на научных семинарах и заседании кафедры физики горных пород и процессов.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 8 научных работ, из них 2 в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

1 Обзор способов и технических средств формирования хвостохранилища при разработке полезного ископаемого

1.1 Состояние вопроса

Во многих горнодобывающих регионах России атмосфера и территория интенсивно загрязняются промышленными выбросами, содержащими вредные для окружающей среды вещества. Одним из существенных источников загрязнения на железорудных предприятиях являются пылящие поверхности намывных хвостохранилищ, накапливающих хвосты - отходы обогатительного передела железистых кварцитов. Прибрежные пляжи хвостов из мелкодисперсных песчаных фракций являются мощным источником пыли, которая в летнее сухое время года легко поднимается в атмосферу воздушными потоками и затем переносится на значительные расстояния, оседая в городах, на полях и сельскохозяйственных угодьях. Экологический ущерб, наносимый пылевыми потоками на окружающую среду трудно переоценить. Очевидно, сформулированная научно-техническая проблема требует поиска кардинальных решений.

Совершенствованию технологий формирования хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов и защиты окружающей среды посвящено множество научных исследований. Следует выделить достижения российских ученых Аксенова С. Г., Бересневича П. В., Гальперина А. М., Лычагина Е. В., Сергеева С. В., Пашкевич М. А., и др., которые внесли большой вклад в теорию и практику экологически чистого функционирования хвостохранилищ.

Наряду с достижениями технологов и экологов большой вклад в решение проблемы вносят специалисты в области физики горных пород и процессов. Следует выделить ученых научной школы горного института в лице проф. Дмитриева А. П., Гончарова С. А., Новика Г. Я., Каркашадзе Г. Г. и

др., внесших весомый вклад в развитие физики горных пород и компьютерного моделирования процессов горного производства.

Однако, несмотря на множество усилий все еще сохраняется высокая экологическая опасность и до настоящего времени еще не разработано эффективных технологических решений, позволяющих масштабно снизить негативное воздействие на окружающую среду.

При добыче и переработке полезных ископаемых образуются большие объемы отходов обогащения, складирование которых требует отвода значительных площадей, приводит к изменению рельефа, нарушению инженерно-геологических, гидрогеологических и эколого-геологических условий района размещения хранилища отходов. Общее количество перемещенной на планете горной массы превышает 100 миллиардов тонн. В Центральном-Черноземном районе общие объемы складированных отходов составляют около 800 млн. м³, при этом из сельскохозяйственного оборота отчуждены значительные площади ценных плодородных земель. Сохранение экосистем окружающей природной среды от влияния промышленных технологий является важной проблемой. Один из путей снижения техногенной нагрузки – управление состоянием природных ландшафтов в окрестностях хвостохранилищ.

Подобная ситуация характерна для горных предприятий Курской магнитной аномалии, где действуют крупнейшие горнодобывающие предприятия открытого способа добычи: Лебединский и Стойленский горно-обогатительные комбинаты комбинат, подземный рудник КМА-руда, строятся Яковлевский и Белгородский подземные рудники. Железородная пыль из хвостохранилищ отрицательно влияет на условия жизнедеятельности человека, организмов флоры и фауны региона и делают неприемлемыми для сельскохозяйственных нужд территории вокруг хвостохранилища.

В процессе намыва из пульповода происходит фракционирование хвостов. В месте выпуска пульпы, где скорость потока наибольшая, откладываются более тяжелые и наиболее крупные частицы. По мере

продвижения потока и уменьшения его скорости осаждаются более легкие частицы вплоть до уреза воды пруда осветления, куда стекают в основном илистые и коллоидные фракции хвостов обогащения. Пылевую нагрузку на воздушную среду создают участки пляжей, не залитые водой, что характерно для намывных хвостохранилищ. Под действием аэродинамической силы ветра мелкие песчаные частицы переносятся на значительные расстояния, загрязняя окружающие территории. Частичным решением проблемы сокращения пыления является использование технологии наливных хвостохранилищ, когда вся площадь хвостохранилища покрыта водой. Однако реализация данной технологии требует использования значительного водного ресурса, что само по себе наносит экологический ущерб подземной водной среде и к тому же требует значительных материальных средств на реализацию.

Аналогичная ситуация складывается практически на всех месторождениях твердых полезных ископаемых, требующих обогащения. Существует множество разработанных способов закрепления пылящих поверхностей, заключающиеся в обработке поверхности различными вяжущими: цементом, известью, жидким стеклом, хлористым кальцием, битумной эмульсией, смолами, различными органическими полимерами. Однако применение большинства из них связано с технологической сложностью осуществления или значительными экономическими затратами.

Разработка природоохранных технологий нуждается в оценке совокупности экологических, экономических и технологических факторов. Поэтому оптимизация системы «окружающая среда – отходы» позволяет радикально снизить техногенную нагрузку на экосистемы региона с достижением экологического и экономического эффектов за счет исключения пыления и связывания хвостов, в общей массе, простейшими и доступными типами вяжущих.

Очевидно, технологии предотвращения пыления поверхностей, действующих хвостохранилищ, является важной научно-технической,

экологической и социальной задачей, требующей эффективного решения. Именно этому посвящена данная диссертационная работа.

1.2 Экологические аспекты влияния хвостохранилища на внешнюю среду

Как отмечалось, одним из серьезных источников загрязнения окружающей среды на горнодобывающих предприятиях являются хвостохранилища. В процессе намыва, на действующих хвостохранилищах, образуются обезвоженные участки площадью десятки и сотни гектаров, находящиеся в таком состоянии по несколько месяцев в году. В летние периоды поверхность нагревается до 60 °С и сухой слой достигает толщины 30-50 см. Сухие хвосты представляют собой рыхлый песчаный материал, между частицами которого нет устойчивых адгезионных связей. При скорости ветра более 4 м/с сухая поверхность хвостохранилища становится источником интенсивного выделения пыли. Мелкие частицы пыли отрываются от поверхности и поднимаются высоко вверх, под действием аэродинамической силы восходящих ветровых потоков. При скорости ветра более 10 м/с концентрация пыли в воздухе над хвостохранилищем и на удалении от него, в несколько километров, может в десятки и сотни раз превышать предельно-допустимые концентрации (ПДК).

Проблема снижения пылевыведения на действующих и реконструируемых хвостохранилищах все еще находится в стадии исследования и поисков рационального решения. Предложено множество технических решений этой проблемы, однако их широкое использование на горных предприятиях сдерживается большими материальными затратами и недостаточно высокой эффективностью.

Хорошо известен способ борьбы с пылью на хвостохранилищах, основанный на закреплении пылящих поверхностей путем создания пленок или противоэрозионных корок [8,12,21,31]. При этом на поверхность хвостохранилища наносят различные закрепители с помощью существующих

машин: автогудронаторов, поливочных машин, сельскохозяйственных опрыскивателей и др. Приготовление эмульсий и водных растворов-закрепителей осуществляют в специальных аппаратах измельчителях или мешалках. Опыты в промышленных условиях показали, что в технологию закрепления поверхностей кроме вышеуказанных операций должна входить подготовка поверхности. Это характерно для закрепления пылящих поверхностей действующих хвостохранилищ наливного или намывного типа, где более легкие фракции (иловая и глинистая) концентрируются в верхнем слое пляжей, как показано на рисунке 1.2.1.



Рисунок 1.2.1 – Пример скопления илистых составляющих перед дамбой

Исследования показали, что в низинах - местах скопления легких фракций толщина ила достигает 20 мм. На возвышенных участках ила и глинистых частиц практически нет, так как они сносятся вниз водными потоками.

Коэффициент фильтрации верхнего слоя песчаных пляжей составляет в среднем всего 0,02-0,03 м/сутки, поэтому проникновения закрепляющих растворов вглубь хвостов не происходит. На поверхности пляжа после

высыхания закрепителя образуется тонкая противоэрозионная пленка, которая в основном разрушается и смывается дождевой водой. Кроме того, из-за имеющихся неровностей поверхности и глубоких трещин большая часть закрепляющего раствора уходит по трещинам или собирается в сформированных углублениях. Принято считать, что противоэрозионная пленка является плоскостью скольжения, что понижает механическую устойчивость и при эксплуатации может привести к разрушению дамб.

Для устранения указанных недостатков известен прием ввода закрепителя в магистральный пульповод и намыв пляжей из хвостов в смеси с закрепителем. Преимуществом данного способа является то, что нет необходимости применения машин и механизмов для подготовки поверхности и нанесения закрепителей. В качестве связующих добавок для хвостов гидрометаллургического завода (ГМЗ) были испытаны водорастворимые структурообразующие полимеры К-9, полиакриламид (ПАА) и известь. Линейные полимеры серии “К” получают как продукт взаимодействия ПАА со щелочным реагентом, в качестве которого применяют либо 4%-й раствор едкого натрия, либо 25%-й раствор жидкого стекла [39].

Идея с вводом закрепителей в магистральный пульповод является весьма перспективной, поскольку не требует применения специальных поливочных машин и приспособлений. Однако низкая механическая устойчивость и большой расход связующих добавок сдерживает широкое применение метода.

Радикальным решением проблемы борьбы с пылением на законсервированных хвостохранилищах является их рекультивация. Эффективные мероприятия по предотвращению пыления проводятся в обязательном порядке на заполненных и завершенных хвостохранилищах, заключающееся обычно в рекультивации дамб и обвалования их поверхности. Что касается действующих хвостохранилищ, то здесь борьба с

пылением методом рекультивации невозможна, поскольку хвостохранилище продолжает непрерывно заполняться отходами обогатительной фабрики.

1.3 Базовые способы формирования хвостохранилища

Существуют традиционные способы борьбы с пылением поверхности пляжей хвостохранилищ: аэродинамический, гидротехнический, технологический, механический, биологический и химический.

Аэродинамический способ закрепления предполагает изменение аэродинамического режима хвостохранилища таким образом, чтобы скорость ветрового потока не смогла вызвать перехода частиц в аэрозольное состояние, например, устройством лесозащитных полос и др.[37,44]. Следует отметить, что аэродинамический способ борьбы с пылением мало перспективен для хвостохранилищ с высотой более 20-30 м, которая превышает высоту крон деревьев. Такую же задачу решают высокие защитные экраны, устанавливаемые по периферии хвостохранилища, исключаящие распространение пыли за пределы ограниченной зоны. Стоимость сооружения экранов, низкая механическая устойчивость и долговечность использования, особенно в случае сильных или ураганных порывов ветра также является недостатком.

Гидротехнический способ сводится к постоянному увлажнению поверхности пляжа оросительными установками или дождевальными машинами с использованием воды из пруда отстойника, либо за счет изменения технологической схемы сброса пульпы [44,51]. На период консервации, защиту хвостов от пыления можно обеспечить поддержанием постоянного уровня воды в хвостохранилище, при котором происходит затопление большей части поверхности пляжа. Однако это мероприятие достаточно энергоемкое и требует повышенного расхода ценного природного ресурса в виде воды.

Технологическое закрепление предполагает добавление в пульпу какого-либо реагента, способного связывать твердые частицы после их

отложения [44]. Применение технологического способа в чистом виде затруднительно, так как большая доза закрепителя неизбежно остается в отстойном пруде. Это приводит, во-первых, к завышенным расходам закрепителя, и, во-вторых, к закреплению всего объема хвостов. Последнее может существенно затруднить дальнейшее использование складироваемых отходов.

Механический способ защиты откосов и гребня, ограждающих сооружений, заключается в обсыпке по всей защищаемой площади слоя щебня или гравия толщиной 0,15-0,20 м. Этот способ является предпочтительным в условиях сухого, а также сурового климата, где невозможно или трудно обеспечить постоянное поддержание растительного покрова [44].

Биологическое закрепление отходов обогащения [43,67] путем посева многолетних трав и кустарника с использованием или без использования слоя растительного грунта на защищаемой поверхности находятся в прямой зависимости от климатических условий, содержания токсичных веществ в хвостохранилище и гранулометрического состава складироваемого материала. Этот вид закрепления эффективно используется как часть технологии рекультивации после формирования хвостохранилища. На действующем хвостохранилище этот метод решающего значения не имеет.

Химическая стабилизация заключается в направленном изменении свойств поверхностного слоя намытого материала путем создания противозрозионного покрытия из материала дамбы, обработанного химическими вяжущими веществами. Выбор вяжущих средств, в каждом конкретном случае, определяется гранулометрическим, химическим и минеральным составом хвостовых отложений и необходимой периодичностью работ. Созданное покрытие должно обеспечить в последующем нормальную эксплуатацию намывного сооружения, не оказывать отрицательного влияния на его водный режим и обеспечить структурную сохранность закрепленных хвостов под нагрузкой.

На хвостохранилище Лебединского ГОКа для борьбы с пылением отходов обогащения применяют методы, основанные на орошении водой, с помощью вертикальной гидравлической завесы, перехватывающей взвешенные в воздухе частицы пыли [85,87]. Применяют также методы дождевания. Очевидно, способы, в которых для пылеподавления применяют воду, менее дорогостоящи, чем создание специальных покрытий. Однако, в то же время, гидравлические завесы и дождевальные установки требуют устройства специальной водопроводной сети, размещение которой на эксплуатируемом хвостохранилище связано с большими затратами. Кроме того, для эффективной работы указанных конструкций необходимо обеспечивать высокую высоту подъема капель воды в воздушной среде. С этой целью применяют сопла, устраивают высоконапорные системы подачи воды, утяжеляют капли введением специальных добавок и т.п. При этом следует отметить, что использование воды при орошении пылящих пляжей в жаркую погоду малоэффективно, так как они быстро высыхают, что требует постоянной работы энергоемких дождевальных установок.

На Оленегорском ГОКе в последние годы принимаются активные меры по борьбе с пылением хвостохранилища. Для этого предприятия наиболее приемлемой является технология рекультивации. Суть ее заключается в нанесении небольшого почвенного слоя на пылящие поверхности хвостов и посеве многолетних трав с внесением минеральных удобрений. Наиболее подходящей для климата Заполярья считается трава волосянец песчаный, которая растет на побережье Белого моря. Семена сушатся в специальных сушилках и высаживаются квадратно-гнездовым способом. А также на Солнечном ГОКе для предотвращения пыления хвостохранилища разработаны принципы и способ рекультивации нарушенных земель, включающий следующие этапы: создание модели почвенного профиля, отвечающего биоклиматическим особенностям исследуемого района; восстановление гидрорежима; отсыпка дренажного и водоупорного слоев из плотных глин мощностью 0,1 м; укрытие поверхности хвостохранилища

потенциально плодородными породами (до 0,5 м) на пляжной зоне и гравием – на прудковой зоне; посев бобово-злаковой травосмеси. В качестве ускорителя роста и развития растений используются гуминовые препараты.

Мероприятия по пылеподавлению пылящих поверхностей хвостохранилищ «Объединенное», «Миролюбовское» горно-обогатительного комплекса горного департамента проводятся на ОАО "АрселорМиттал Кривой Рог" ежегодно [107]. Для этого применяют химическое закрепление вяжущим раствором природного бишофита. В 2009 году закреплено 71 га пылящих поверхностей, фактическое снижение выбросов за 2009 год составило 732,686 тонн.

На Михайловском ГОКе разработана и с 2000 г. внедряется технология круглогодичного производства гидромеханизированных работ по укладке «хвостов» на пляжи хвостохранилища, чтобы использовать их для наращивания ограждающих дамб [7]. Эффективность круглогодичного надводного складирования «хвостов» складывается из снижения затрат на возведение ограждающих дамб, возможности управления процессом намыва, обеспечения устойчивости сооружений и повышения объема хвостохранилища. Появляется возможность решать проблему пыления пляжей хвостохранилища методом подъема уровня воды. Однако подъем уровня вод – это все же нежелательное изменение гидрогеологического режима подземных источников.

В Белгородском государственном университете в 2006 г. был разработан и запатентован способ закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ [59,87]. Суть этого способа заключается в нанесении на пылящую поверхность меловой суспензии, с последующей обработкой её разбавленным раствором серной кислоты. С целью обеспечения минимального воздействия на окружающую среду и регулирования прочности закрепляемой поверхности, обработка поверхности раствором серной кислоты производится в стехиометрическом отношении к внесённому мелу в виде водного раствора с концентрацией от 3 до 15 % (по массе). В

результате образуется поверхностный слой по составу близкий к природному гипсу. Толщина и сроки твердения напрямую зависят от количества вносимого мела. Похожий метод был разработан в институте ВИОГЕМ и заключается в обработке хвостохранилища слабым раствором соляной кислоты [43]. Образующийся в результате слой, обладает повышенным содержанием влаги, и за счет этого достигается пылеподавление. Для разбрызгивания закрепляющих составов применяют поливочные машины коммунального и сельскохозяйственного назначения. Закрепление данным способом, проведенное на хвостохранилище, показало, что кислотная обработка техногенного грунта обеспечивает отсутствие пыления. Долговечность закрепления зависит от количества выпадающих осадков.

В последние годы большое внимание уделяется методу пылеподавления водяными завесами. На Стойленском ГОКе прошел промышленные испытания способ пылеподавления с помощью водяной завесы, которую создают во время интенсивного пыления по периферии плотины защиты отвалов хвостохранилища, как показано на рисунке 1.3.2. При реализации данного способа, взвешенные в воздухе частицы пыли смачиваются водой и осаждаются в пределах площади хвостохранилища. Мероприятия, в которых для пылеподавления применяют воду, отличаются высокой энергоемкостью. В то же время использование воды дешевле, чем создание специальных покрытий. К тому же вода не загрязняет накопитель и прилегающую к нему территорию токсичными веществами, и при осуществлении способа не исключаются затраты, связанные с приобретением, приготовлением и нанесением закрепляющих композиций. В целом, мероприятия с использованием водяных завес также требуют материальных вложений, поскольку гидрозавеса и дождевальная установка требуют устройства специальной водопроводной сети, размещение которой на хвостохранилище является достаточно трудоемкой операцией.



Рисунок 1.3.2 – Пылеподавление с помощью водяной завесы вокруг хвостохранилища

Таким образом, можно констатировать, что в условиях горных предприятий используют ряд эффективных мероприятий по защите окружающей среды при функционировании хвостохранилищ. Однако высокие текущие материальные и энергетические затраты не позволяют считать реализованные разработки экономически эффективными. Исходя из особенностей функционирования комплекса «обогажительная фабрика - хвостовое хозяйство» можно утверждать о больших резервах при решении задачи, базирующихся на физических процессах наполнения хвостохранилища, дифференциации кварца по фракциям потоками воды, адгезионными свойствами кварца, покрытий и др. Эти резервы еще недостаточно изучены и научные работы в данном направлении представляются весьма актуальными.

1.4 Выводы

1.4.1 Нарастание объема добычи и обогачительного передела полезных ископаемых на горных предприятиях сопровождается увеличением площади хранилищ отходов, которые создают значительную экологическую нагрузку на окружающую среду за счет распространения пыли и загрязнению окружающих территорий.

1.4.2 Проблема пылеподавления в частности характерна для горных предприятий Курской магнитной аномалии, где железорудная пыль из хвостохранилищ отрицательно влияет на условия жизнедеятельности человека, организмов флоры и фауны региона и делают неприемлемыми для сельскохозяйственных нужд окружающие территории.

1.4.3 Существующие технологии предотвращения пыления поверхности, действующих намывных хвостохранилищ, базируются на использовании методов закрепления песчаной поверхности вяжущими составами, с применением механических средств, создание аэродинамических экранов и водяных завес, затоплении пылящих пляжей. Однако широкое распространение технологий сдерживается высокой трудоемкостью или низкой эффективностью, при практической реализации.

1.4.4 Для эффективного решения задачи предотвращения пыления хвостохранилищ следует использовать технологические резервы комплекса, от обогачительной фабрики до хвостового хозяйства, и закономерности физических процессов распространения воздушных потоков и осаждения пыли.

2 Исследование процесса формирования намывного хвостохранилища

2.1 Анализ закономерностей перемещения хвостов гидродинамическими потоками

При функционировании намывного хвостохранилища [44] используют способ намыва, при котором распределительный пульпопровод располагают по гребню вторичных дамб обвалования. Заполнение хвостохранилища производится по отсекам от ограждающих сооружений к центру отсеков хвостохранилища. В частности на Стойленском ГОКе заполнение осуществляют односторонним способом без ограничения растекания пульпы на пляжах [76]. Намыв тела плотин и прилегающих к ним пляжей производят в течение всего календарного времени года.

Гидротранспорт хвостов до хвостохранилища осуществляют по магистральным и распределительным лоткам и далее по напорно-самотечным пульповодам до границы хвостохранилища [97]. Для равномерного заполнения пляжей используют рассредоточенный способ выпуска пульпы. Пульпу подают из распределительного пульповода через пульповыпуски диаметром 400 мм, обеспечивая намыв по всей ширине пляжа. Расстояние между пульповыпусками составляет порядка 35-50 м. Технологий предусматривается намыв слоя высотой 0,5 м по всей ширине пляжа, после чего намыв возобновляют, начиная с первоначального участка. Дамбы вторичного обвалования возводят шагающим экскаватором, используя хвосты из пляжной зоны. Ширина гребня дамб вторичного обвалования составляет не менее 10,0 м.

Рассредоточенный намыв оснований плотин и дамб хвостохранилища последующих очередей производят из хвостов по напорно-самотечным пульповодам. В камерах переключения хвосты частично фракционируют. В результате пульпу, с содержанием мелкой фракции хвостов, через

переливные пороги удаляют в центральную часть хвостохранилища, а пульпу, с содержанием более крупных частиц хвостов, по напорно-самотечному пульпопроводу подают на намыв оснований плотин и дамб. Такая дифференциация пульпы позволяет отобрать более крупные фракции песка, пригодного для намыва гребней дамб [14]. Мелкие фракции отводят по концевым сбросам за пределы упорных призм.

На намывных хвостохранилищах источниками пыли являются обезвоженные участки гребней дамб и обезвоженные участки прилегающих к ним пляжей. Обезвоженные и осушенные на солнце участки песка не имеют адгезионных связей и легко поднимаются вверх под действием ветровых нагрузок. Очевидно, если бы удалось сформировать на поверхности мелких фракций адгезионные связи, проблема пыления была бы решена.

На низовом откосе сформированной головной плотины, выполняют рекультивацию, предусматривающую покрытие откоса суглинком, черноземом и осуществляя посев быстрорастущих трав [2, 32, 45].

Отсек у головной плотины является самым вместительным и предназначен для складирования основного объема хвостов (по отм. 200 м общий объем 146 млн. м³). Отсек ограничен головной плотиной, плотиной в балке Рубежный Лог и разделительной дамбой №2. Замыв отсека осуществляют опережающими темпами по сравнению с двумя другими отсеками. Уровень воды в прудке регулируют изменением высоты порога водослива в водосбросном сооружении.

Промежуточный отсек предназначен для создания плавного перепада высот между отсеком у головной плотины и центральным прудковым отсеком и организации промежуточного прудка - отстойника для дополнительного осветления пульпы (по отм. 200 м общий объем 171 млн. м³.) Отстойный пруд в данном отсеке удален от зон наиболее интенсивной фильтрации на расстояние, при котором будут иметь наименьшие потери воды из хвостохранилища.

Центральный прудковый отсек является буферной емкостью, в которой происходит дополнительное осветление воды, используемой для оборотного водоснабжения.

Отсек плотины защиты отвалов предназначен для складирования хвостов, отсек ограничен рельефом, плотиной защиты отвалов и дамбой №3. (по отм. 200 м, общий объем 69 млн. м³.) Замыв производится параллельно с промежуточным отсеком. Уровень заполнения ПЗО хвостами выше уровня центрального отсека. Регулирование уровня воды пруда-отстойника производится отметкой порога водоперепускного сооружения.

Таким образом, структура хвостохранилища представляет собой технологическую конструкцию, элементы которой выполняют свои функции по удержанию хвостов от растекания, сокращения потерь воды, сохранения устойчивости дамб, обеспечивая постепенное увеличение высоты хвостов [12,13]. Тем не менее, даже хвостохранилище намывного типа имеет сухие пляжи, склонные к пылению. Причем повышение уровня воды с одной стороны приводит к заполнению площади пляжей, однако с другой стороны это приводит к повышенному расходу воды и изменению гидрогеологического режима окружающих источников воды.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха хвостохранилищ являются пылящие поверхности сухих пляжей намывных отсеков, откосы дамб и плотин [41]. Наибольшую опасность представляют хвостохранилища, находящиеся в стадии наращивания. Опыт эксплуатации показывает, что обеспечить подводную укладку хвостов по всей площади хвостохранилища практически не удастся. Поэтому, даже в наливных хвостохранилищах *по периферии* образуются надводные пляжи, которые в сухую и ветреную погоду являются постоянными источниками пыли [79].

В большинстве случаев хвосты представлены измельченными кварцитами, близкими по своим свойствам к природным пескам [42]. Удельная поверхность хвостов не превышает 100 см²/г. Для сравнения у цемента эта величина, как минимум, на порядок больше. Поверхность частиц

хвостов весьма шероховата и содержит более 50 % свободного диоксида кремния. Железородная пыль в виде кремния, гематита и магнетита отрицательно влияет на продуктивность сельхозугодий, из-за попадания в почву различных металлов, включая железо, цинк, медь, марганец, хром, свинец. Кроме загрязнения почвы происходит также нарушение морфологического строения профиля почв и изменение ландшафта [83]. В пределах геохимических аномалий не только почвы, но и растения в различной степени характеризуются повышенным содержанием металлов и других химических элементов.

Размер фракций механического состава отходов обогащения полностью зависит от технологии переработки железной руды и прежде всего от тонкости ее размола. На железорудном предприятии после стадий дробления руды, измельчения, магнитной сепарации измельченного продукта, после гидравлической транспортировки и укладки отходов обогащения в хвостохранилище гранулометрический состав усредненной пробы на примере Стойленского ГОКа представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Гранулометрический состав хвостов обогащения

Годы эксплуатации	Содержание фракций, %, при крупности фракций, мм					
	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	<0,05
2005	-	0,2	6,7	7,0	31,8	54,3
2006	-	0,5	7,2	6,1	28,0	58,2
2007	-	0,4	7,1	6,4	28,9	57,2
2008	-	1,8	2,8	12,1	21,9	42,4
2009	-	2,2	3,4	12,6	20,9	42,9
2010	-	2,0	3,7	13,4	22,1	42,7
2011	-	3,0	7,0	17,3	20,5	36,8
2012	-	3,7	4,6	14,3	21,1	38,7
2013	-	3,1	3,3	14,0	22,3	41,2
2014	-	2,6	4,7	13,3	19,4	42,6

Другим важным фактором, оказывающим существенное влияние на формирование хвостохранилища является технология гидравлической укладки отходов обогащения. При воздействии гидравлической энергии водного потока происходит фракционирование частиц хвостов и их дифференциация по крупности и удельной массе различных минералов, включая гематит, магнетит, кварц и другие составляющий. Самые крупные и тяжелые частицы выпадают вблизи мест выпуска пульпы и формируют на хвостохранилище так называемую зону слива или выпуска пульпы. Эта зона распространяется до 50 м, на ней откладываются наиболее крупные и плотные фракции хвостов, которые и используют для формирования дамб. Средние по размерам и удельной массе частицы формируют промежуточную зону (100-150 м), а самые мелкие и легкие, потоком воды, сносятся в центральную зону и покрываются водой. Лабораторными исследованиями и экспериментами было установлено, что на расстоянии 350 м от выпуска, твердые частицы хвостов, при ламинарном течении пульпы, в прудковой зоне осаждаются на 99% [16]. Далее вода практически чистая и пригодна для оборотного водоснабжения.

Обращает на себя внимание тенденция к формированию на хвостохранилище участков отходов обогащения, с преобладанием одной фракции, что объясняется гидравлической дифференциацией потока. Так, в зоне выпуска пульпы преобладающей является фракция песка, в промежуточной зоне преобладающей является фракция крупной пыли, а в центральной зоне преобладают фракции крупной и средней пыли. По мере движения гидравлического потока осаждаются все более легкие частицы вплоть до уреза воды пруда осветления, куда стекают в основном илистые и коллоидные фракции хвостов обогащения.

Таким образом, на хвостохранилище механический состав песков, от зоны выпуска пульпы к центральной зоне, варьирует вниз по профилю, особенно в промежуточной и центральной зонах. Так, в центральной зоне механический состав колеблется от супеси до суглинка тяжелого. К другой

особенности отходов обогащения хвостохранилища относится очень малое содержание частиц илистой фракции. Ее содержание закономерно увеличивается от зоны выпуска пульпы 2,4% к центральной зоне - 8,0 %. Незначительное содержание, в составе отходов обогащения хвостохранилища, илисто-коллоидных частиц является одной из основных причин отсутствия адгезионных сил и слабой связанности хвостов.

Возможно, что целенаправленное увеличение содержания в хвостах количества илистых частиц является путем, который позволит решить проблему пыления. Эта задача, безусловно, представляет научный и практический интерес и частично решается в данной диссертационной работе.

2.2 Влияние ветровых нагрузок на процесс пыления хвостохранилища

Интенсивность пыления участков хвостохранилища определяется ветровым режимом района, который формируется в зависимости от особенностей рельефа местности под влиянием циркуляционных процессов в атмосфере. Роза ветров в каждом регионе зависят от времени года и имеют различную интенсивность. Например, по данным Белгородского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды среднемесячные скорости ветра изменяются от 3,2 м/с (июль) до 5,2 м/с (февраль) [56]. Наибольшая наблюдавшаяся скорость ветра достигала 29 м/с в апреле 1998 года. Среднегодовая скорость ветра составляет 4,16 м/с.

Хвосты содержат кварцсодержащие минералы с удельным весом около 3 г/см³ и железосодержащие минералы с удельным весом до 5 г/см³. Соответственно, различаются подъемные силы ветра для частиц одинакового размера и с различной плотностью.

Аэродинамическая сила ветра, поднимающая частицу, зависит от величины динамического напора восходящего воздушного потока и рассчитывается по формуле:

$$F_a = c_z \frac{\rho v^2}{2} S_m \quad (2.2.1)$$

где c_z - коэффициент аэродинамического сопротивления; $c_z=1,0 \dots 1,5$;
более точные расчеты осуществляют по формуле Л.С. Клячко:

$$c_z = \frac{24}{Re} + \frac{4}{Re^{1/3}};$$

Re – число Рейнольдса, $Re = \frac{d \cdot v}{\gamma}$;

γ – кинематическая вязкость воздуха, m^2/s ;

ρ – плотность воздуха, kg/m^3 ;

v – скорость воздуха, m/s ;

S_m – миделево сечение частицы, m^2 .

Приравнявая аэродинамическую подъемную силу к силе веса, получим выражение для расчета скорости восходящего потока, поднимающего частицу:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g d}{c_z} \cdot \frac{\rho_T}{\rho}} \quad (2.2.2)$$

где d – диаметр частицы, m ;

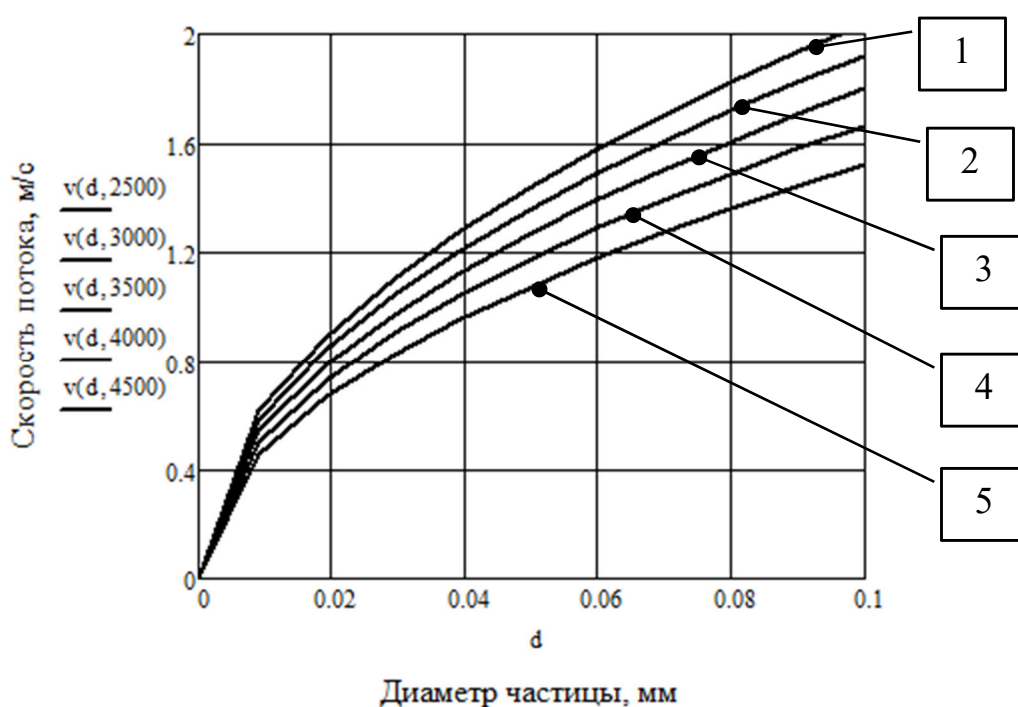
g – ускорение свободного падения;

ρ_T – плотность частицы, kg/m^3 ;

Выполним оценку скорости восходящего потока, поднимающую частицу диаметром 0,0766 мм, плотностью 3100 kg/m^3 и воздушным потоком плотность 1,18 kg/m^3 , при коэффициенте аэродинамического сопротивления 1,2. Расчет по формуле (2.2.2) приводит к результату:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{9,81 \cdot 0,0766 \cdot 10^{-3}}{1,2} \cdot \frac{3100}{1,18}} = 1,48 \text{ м/с}$$

На рисунке 2.2.2 представлены графические зависимости скорости взметывания частицы при различных плотностях. Видно, что частицы крупные и с большой плотностью труднее поднять вверх. Если рассматривать проблему с позиций предотвращения пыления хвостохранилища, то в данном процессе управляемым фактором является скорость восходящего потока, величина которой может быть уменьшена, например, за счет рационального формирования уклона поверхности пляжей.



1) $\rho_T=4500$ кг/м³; 2) $\rho_T=4000$ кг/м³; 3) $\rho_T=3500$ кг/м³;

4) $\rho_T=3000$ кг/м³; 5) $\rho_T=2500$ кг/м³;

Рисунок 2.2.1 – Скорость взметывания частицы при различных плотностях

Однако аномально высоких порывов ветра исключить невозможно. По многолетним данным в Белгородской области скорость ветра, на высоте 10 м, возможная один раз в год, составляет 20 м/с; в 5 лет - 23 м/с; в 10 лет - 25 м/с; в 15 лет - 29 м/с; в 20 лет - 30 м/с. Очевидно, в случае ураганных порывов

ветра для исключения пыления необходимо осуществить чрезвычайные мероприятия, например, интенсивное и масштабное орошение пляжей. Конечно, повышенные ветровые нагрузки на поверхности хвостохранилища приносят одну из основных проблем загрязнения атмосферного воздуха.

Удерживающая способность частиц на поверхности хвостохранилища зависит от их влажности и величины адгезионных сил, на контакте между частицами. Вода, под действием сил поверхностного натяжения, не дает частицам рассыпаться. Однако способность грунтов к удержанию свободной или капиллярной воды на большей части хвостохранилища невысокая. Усредненные коэффициенты фильтрации воды в зоне слива составляет порядка 2,0 - 5,0 м/сут, в промежуточной зоне 0,2 - 1,0 м/сут, а в центральной зоне - менее 0,1 - 0,5 м/сут.

Капиллярные силы частично подтягивают воду к свободной поверхности. В соответствии с формулой Жюрена высота поднятия жидкости в капилляре определяется зависимостью [10]

$$h_{\text{кап}} = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d_{\text{к}}}, \quad (2.2.3)$$

где $h_{\text{кап}}$ – высота поднятия жидкости в капилляре, м;

σ – поверхностное натяжение, н/м;

θ – угол смачивания;

$d_{\text{к}}$ – диаметр капилляра, м.

Исходя из формулы (2.2.3) рассмотрим управляемые факторы, способствующие подъему жидкости. Увеличение поверхностного натяжения воды приводит к большему подъему жидкости в капиллярном пространстве. Известно, что минерализация воды приводит к увеличению капиллярного эффекта. Также увеличивается подъем, при уменьшении расстояния между частицами песка (диаметр капилляра). Более плотная укладка хвостов и уменьшение порового пространства будет способствовать сохранению

влажности. Эти факторы заслуживают интереса, однако с точки зрения практического использования являются трудно управляемыми.

Фактически в короткие сроки происходит высыхание хвостов за счет фильтрации и испарения. По мере удаления фильтрационной воды и осушения поверхности пляжа силы адгезии понижаются, и создаются условия для отрыва частиц от поверхности под напором ветра. Хвосты при жаркой погоде за 7 дней практически полностью теряют влажность (от первоначальной величины 23,58 до 0,71%). Таким образом, хвосты в короткие промежутки времени высыхают и при скорости ветра 2-5 м/с легко поддаются выветриванию [6].

В соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации, контроль за состоянием атмосферного воздуха на горно-обогатительных комбинатах осуществляют на следующих уровнях [98]:

- оценка достаточности санитарно-защитной зоны по расчетам рассеивания загрязняющих веществ;
- государственный контроль территориальных органов комитета природных ресурсов;
- производственный мониторинг и организация проведения замеров независимыми лабораториями.

Несмотря на непрерывный контроль над состоянием атмосферы вокруг хвостохранилища проблема снижения выбросов вредных веществ остается актуальной и требующей более эффективного решения.

2.3 Анализ факторов влияющих на формирование пылевых облаков с поверхности хвостохранилища

На горных предприятиях в ходе разработки и реализации проектных решений при эксплуатации хвостового хозяйства необходимо учитывать экономические и экологические факторы, связанные с объемом используемой воды и распространением пылевых загрязнений [13,101].

Источники пылевых загрязнений располагаются на гребнях и откосах плотины, отвалах и поверхности пляжных зон хвостохранилища. В средней полосе России интенсивное пыление от указанных источников приходится на неблагоприятные метеорологические условия, в течение пяти месяцев в году, в весенне-летнем периоде. В холодные периоды пылевывделений от этих источников не наблюдается.

Хвосты, складываемые в хвостохранилище железорудных комбинатов, представляют собой минеральные агрегаты: магнетит, гематит, мартит, кварцевые сростки. Как правило, микровключения железосодержащих минералов присутствуют во всех гранулометрических компонентах хвостов. Источник загрязнения классифицируется как пыль неорганическая, содержащая 20-70% двуокиси кремния, выбрасываемой в атмосферу, по следующим вариантам:

- пыление с поверхностей гребней и откосов плотины защиты отвалов и головной плотины;
- пыление с пляжных зон хвостохранилища.

Первый источник пыления может быть устранен на долгосрочный период времени путем укрепления поверхности, нанесения плодородной земли и засева растительностью. Что касается второго источника пыления в виде пляжных зон, то он является постоянно действующим и определяется технологий формирования намывного хвостохранилища. К примеру, для хвостохранилища Стойленского ГОКа площадь пылящих поверхностей для первого варианта составляет 8,4 га, а для второго варианта - 58,4 га, то есть более 85%. Таким образом, подавляющее количество пыли выделяется именно с пляжей и этот фактор особенно появляется в засушливый период. В частности количество загрязненного вещества, отходящего от источника пыления, составляет 140 т/год по первому варианту и 980 т/год - по второму варианту. В соответствии с ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» для пыли неорганической, содержащей 20-70% двуокиси

кремния составляют $0,3 \text{ мг/м}^3$. Анализ рассеивания, проведенный по Стойленскому ГОКу, на перспективу до 2030 года показывает, что концентрация вредных веществ в приземном слое воздуха, вне границ санитарно-защитной зоны предприятия, по-первому варианту за пределами 300 м не превышает ПДК населенных мест; по-второму варианту санитарная зона не должна быть менее 1,5 км. То есть если создать условия, при которых сухие пляжи прекратят пыление, то это приведет, помимо экологического, к значительному экономическому эффекту для горного предприятия.

В нормальных условиях концентрации пыли за пределами санитарной зоны хвостохранилища ниже ПДК, а в случае высоких ветровых нагрузок, в сухую погоду, концентрация пыли может превышать ПДК и такая экологическая нагрузка на окружающую среду создает проблему, требующую эффективного решения.

Один из возможных вариантов решения проблемы основан на создании физических условий, при которых будут отсутствовать подъёмные аэродинамические силы на выходе из хвостохранилища. Идеальный вариант технического решения заключается в создании аэродинамической ловушки для частиц пыли, которые по тем или иным причинам все же отрываются с поверхности и поднимаются в воздух. В идеальной аэродинамической ловушке воздушный поток должен иметь нисходящее направление.

Подобное решение задачи известно в конструкциях ветрозащитных экранов [55]. В данном случае основу системы гашения ветра представляет экран из грубосплетенного и прочного волокна, снабженный устойчивыми к погодным условиям растяжками, позволяющими прикреплять экран к различным опорным конструкциям. При эксплуатации экранов стремятся к исключению турбулентных потоков воздуха и созданию аэродинамических ловушек в основании конструкций. Используют непроницаемые и проницаемые экраны, которые обеспечивают защиту прилегающих территорий от пыления на пунктах перегрузки сыпучих грузов. Оригинальное решение реализовано в проницаемых экранах, в которых

предусмотрены щелевые отверстия, пропускающие набегающий поток воздуха и изменяющие его направление.

Несмотря на достигаемый эффект, при использовании ветрозащитных экранов, остается озабоченность экологов общим состоянием окружающей среды территории хвостохранилища. При необходимости защиты от пыления очень больших площадей, распространение ветрозащитных экранов сдерживается, в связи с большими затратами.

2.4 Выводы

2.4.1 На намывных хвостохранилищах механический состав песков от зоны выпуска пульпы к центральной зоне существенно варьирует по профилю от супеси до суглинка тяжелого. В хвостах обогащения содержится адгезионная илистая фракция, содержание которой увеличивается от зоны выпуска пульпы к центральной зоне.

2.4.2 Незначительное содержание на поверхности хвостохранилища илисто-коллоидных частиц является одной из основных причин слабой адгезионной связанности, и как следствие высокой способности хвостов к пылению при ветровых нагрузках.

2.4.3 Источником пылеобразования на хвостохранилище являются высохшие поверхности пляжей, намывных из несвязных грунтов и открытые поверхности ограждающих сооружений (гребни и откосы дамб и плотин).

2.4.4 В нормальных климатических условиях при скорости ветра менее 3 м/с функционирование хвостохранилища удовлетворяет установленным нормам ПДК. Однако при неблагоприятных метеоусловиях необходимы дополнительные меры по пылеподавлению, что представляет собой актуальную техническую задачу.

2.4.5 Для недопущения экстремальных ситуаций, с точки зрения загрязнения атмосферного воздуха, необходимо вести регулярные наблюдения за состоянием пляжей, т.е. определять влажность поверхности материала и вести постоянные замеры концентрации пыли на границе санитарной зоны и на этой основе выполнять технологические мероприятия по предотвращению выделения пыли в атмосферу.

2.4.6 Идеальным технологическим вариантом предотвращения пыления хвостохранилища является создание такой технологической схемы намыва хвостов, при которой природные ветровые потоки не способны перемещать пылевые частицы за пределы ограничивающих дамб, а образованная поверхность сухих пляжей сохраняет адгезионную связанность, устойчивую к турбулентным ветровым нагрузкам. В диссертации предложены новые варианты решения данной задачи.

3. Обоснование технологических параметров формирования намывного хвостохранилища с поверхностью, устойчивой к ветровым нагрузкам

3.1 Анализ технических решений формирования хвостохранилищ, устойчивых к ветровым нагрузкам

Источники пыли на намывных хвостохранилищах формируются в результате поступления на намыв оснований плотин и дамб хвостовой пульпы через распределительные трубы диаметром 500 мм. На рисунке 3.1.1 представлена фотография со Стойленского ГОКа базовой технологии, на которой показаны распределительные пульпопроводы на борту дамбы, заполняющие хвостохранилище.



Рисунок 3.1.1 – Береговая часть хвостохранилища с распределительными пульпопроводами

На другом рисунке 3.1.2 показана поверхность уже сухого пляжа после заполнения хвостами прибрежной части. Сухие пески находятся на границе с оградительной дамбой, и при порывах ветра ничто не удерживает их от пыления.



Рисунок 3.1.2 – Сухие пляжи на границе с оградительной дамбой

Решению задачи предотвращения пыления сухих пляжей посвящено множество технических решений и изобретений, описанные ниже.

Для предотвращения пыления хорошо известны способы закрепления пылящих поверхностей пляжей, включающие гидротранспорт хвостовой пульпы, укладку, сгущение хвостов в отстойном пруду и нанесение на надводные пляжи закрепляющего состава [27,28]. Так, например, в разработке Михайловского ГОКа (КМА) по патенту РФ №2148720 [57] для

обработки пылящих поверхностей используют вяжущий состав, который включает:

- 10-15% пластификатора адипинового щелочного (отходов производства капролактама). В состав пластификатора входят эфиры карбоновых кислот и хлорид натрия;

- 15-20% келовойской порошкообразной глины, попутно извлекаемой с железной рудой, и технической воды.

Закрепляющие составы наносят распылением или укладкой механическими средствами. Физический механизм пылеподавления реализуется в результате взаимодействия пластификатора с порошкообразной келовойской глиной и тонкодисперсными частицами отходов обогащения железных руд. В результате, на обрабатываемой поверхности образуется достаточно прочный слой толщиной от 4 до 6 мм, который проявляет свойство "цементации" поверхности и предотвращает размыв поверхностного слоя при выпадении атмосферных осадков. Разработчики утверждают, что материал, обработанный запатентованным раствором с расходом 3-4 л/м², обеспечивает прочность структурных связей пылящих частиц при ветровой нагрузке до 25 м/с, как в жаркую сухую погоду, так и в процессе выпадения интенсивных атмосферных осадков.

В изобретении по патенту № 2029775 [58] используют обеспыливающий состав для обработки пылящих поверхностей, включающий продукт переработки древесины, содержащий сульфатное мыло или омыленный талловый пек (2–10%), полиакриламид (0,05-0,2%) и воду. Отмечается, что при использовании состава сокращается расход реагентов для приготовления композиции, составляющий не более 3 л/м² поверхности. Ингредиенты состава недефицитны, имеют широкую производственную базу.

Аналогичные способы закрепления пылящих поверхностей, описаны в патентных изобретениях: № 1343093 (1986г.), №1317160 (1987г.), № 1357599

(1987г.), № 1691538 (1991г.). Все эти способы основаны на создании профилактического слоя на поверхности хранилищ обоганительных фабрик цветной и черной металлургии растворами различных солей и кислот (сульфитно-спиртовой смеси, соляной кислоты, хлористых солей), а также ацетоноформальдегидных смол, растворами жидкого стекла в сочетании с акрилатом и акриламидом натрия.

На наш взгляд, недостатком описанных способов является использование химических реагентов, что создает риск загрязнения грунтовых вод.

В изобретении по патенту № 2303700 [59] (патентообладатель Белгородский государственный университет) предварительно обработку пылящих поверхностей хвостохранилищ осуществляют суспензией мела с концентрацией по массе 5-25%, с последующей обработкой поверхности серной кислотой в стехиометрическом соотношении к внесенному мелу в виде водного раствора с концентрацией по массе 5-15%. Нанесение на поверхность хранилищ отходов суспензии мела и последующая обработка поверхности разбавленным раствором серной кислоты приводит к образованию прочного покрытия, по составу близкого к природному гипсовому камню. Это происходит в результате взаимодействия кислоты с осевшим на поверхности мелом. Полное протекание химической реакции и не токсичность конечных продуктов обеспечивает экологическую чистоту способа. Недостатком способа является высокая трудоемкость процесса нанесения суспензии мела и высокая стоимость кислотного реагента.

В изобретении по патенту РФ №2175065 [60] (патентообладатель Читинский государственный технический университет) для ликвидации вредного воздействия пылящих поверхностей искусственных сооружений используют механизм более глубокого проникновения реагента и перемешивание с ним частиц поверхностного слоя. Сущность изобретения состоит в том, что через сопла по трубопроводам, от емкости, подается вода и реагент, при этом происходит рыхление и перемешивание поверхностного

слоя с водой и реагентом, с дальнейшей укаткой почвы катком. В изобретении используют ряды вогнутых дисков, установленные на осях с возможностью изменения угла наклона осей к направлению движения, что позволяет осуществить разрыхление каждым диском слоя хвостов. Вогнутая конструкция диска с загнутыми в виде лепестков краями способствует захвату порции пылеватых частиц, их перемещению по внутренней поверхности диска и перемешиванию с реагентом. Недостатком способа является сложность практической реализации на свежих намывных пляжах, на которых размещение технических средств рыхления не всегда возможно.

В способе пылеподавления на пляжах хвостохранилища, по патенту РФ №2272147 [61] (патентовладелец ОАО Михайловский ГОК), используют транспортное средство, которое перемещает в зоне орошения пляжа хвостохранилища. Пылеподавляющий реагент подают через гидромонитор, при этом транспортное плавучее средство изначально устанавливают на зеркале воды хвостохранилища, затем его направляют к берегу в сектор орошения, где рабочий орган прокладывает в береговой полосе канал, по которому плавсредство продвигается. В гидромонитор закачивают насосом воду из хвостохранилища, добавляют связующий реагент из емкости через дозатор и орошают пылящий участок, при этом рабочей средой и средой передвижения плавсредства является вода хвостохранилища. Недостаток – трудоемкость использования специального технического средства.

В изобретении по патенту РФ № 2151301 [62] (патентообладатель Читинский государственный технический университет) реализуют способ нанесения на пылящие поверхности хвостохранилища высокомолекулярного соединения - поливинилбутираля, который смешивают с песком хвостохранилища. Смесь ровным слоем распределяют на покрываемом участке и с помощью газовых горелок нагревают до температуры плавления поливинилбутираля 2500-3000°C. Прочность покрытия составляет 10,3 МПа. В результате такой обработки на пылящей поверхности образуется прочная

стекловидная пленка. Недостатком способа является высокая энергоемкость, свойственная всем тепловым процессам.

В изобретении по авторскому свидетельству СССР № 1138517 (1985 г) описан состав для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ и других объектов, содержащий глину, хвосты обогащения, солому или камыш и воду при следующем их соотношении (мас.%): глина 70-78; хвосты обогащения 2-7; солома или камыш 1,6-2; остальное – вода. Из этого состава изготавливают окатыши и укладывают на пылящую поверхность разбрасывателем органических удобрений. В качестве недостатка отметим высокую трудоемкость укладки на пылящую поверхность скрепляющего состава и большой его расход.

Для решения задачи пылеподавления на небольших площадях в промышленности разработаны и предлагаются к использованию установки мелкодисперсного распыления воды типа "Elefant" (http://preus-hp.ru/dust_remover.html). За счет наличия мощного вентилятора и нескольких рядов распылительных форсунок, данная установка обеспечивает смачивание водой пылящей площади. Отличительные особенности системы "Elefant": рабочее давление до 10 бар; количество распылительных форсунок (3 ряда, всего 156); максимальная площадь обработки 10 тыс. м², дальность полёта капель воды - до 60 м; мощность привода 11 кВт; вентилятор диаметром 410 мм. Максимальный расход воды при давлении 10 бар составляет 87,6 л/мин. Для предотвращения пыления свежих пляжей данная установка требует постоянного полива водой, что на больших площадях является весьма трудоемкой операцией.

В изобретении по патенту РФ № 2084636 [63] (Патентообладатель - Всероссийский государственный научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева) для пылеподавления на открытых хранилищах дисперсных отходов промышленности реализуют способ, в котором мелкодисперсные отходы глинистого грунта с кондиционирующими добавками укладывают чередующимися слоями в насыпь, расположенную в

предварительно вырытой траншее. После заполнения траншеи водой, разрабатывают эту насыпь, средствами гидромеханизации, получая гидравлическую смесь в виде пульпы, которую направляют по трубопроводу к месту ее укладки. Недостаток – сложность использования на намывных хвостохранилищах, так как требуется дополнительная трудоемкая технологическая операция подготовки и укладки специальной гидросмеси.

Подводя итоги анализа известных изобретений, отметим, что общим недостатком этих способов является высокая стоимость и трудоемкость технологических операций. Кроме того, применение многих реагентов (соли, кислоты, битумы и т.д.) приводит к загрязнению грунтовых вод вредными компонентами.

3.2 Разработка технологической схемы формирования наливных хвостохранилищ без пыления песчаных пляжей

Исходя из выполненного обзора литературы и анализа способов и технических средств [31,40,46,71,89,96], направленных на предотвращение пыления хвостохранилищ, следует вывод, что эффективный метод пыления должен обладать следующими физико-техническими качествами:

- фракциям отходов обогащения – частицам песка, осаждающимся на поверхности пляжей в процессе намыва, необходимо придать липкость - адгезионные свойства, способные удерживать частицы в связанном состоянии при ветровых нагрузках;
- средство для реализации метода должно быть экологически чистым и широкодоступным;
- техническая реализация метода должна осуществляться простым оборудованием, преимущественно имеющимся в распоряжении предприятия.

Таким образом, сформулирован идеальный технологический вариант, который отвечает требованиям экономической и экологической эффективности.

На наш взгляд самым перспективным представляется способ закрепления пылящих поверхностей хвостохранилища обогатительной фабрики, в котором осуществляют совместный гидротранспорт хвостовой пульпы и скрепляющего состава. В данном случае не требуется применение дополнительных технических устройств для доставки скрепляющего состава на пылящую поверхность хвостохранилища. В составе должны находиться дешевые и доступные породы вскрыши, с максимально возможными адгезионными свойствами. Например, по внешним проявлениям на железорудных комбинатах КМА Михайловском, Лебединском и Стойленском самыми высокими адгезионными свойствами обладают келовейские глины. Однако следует иметь в виду, что при нанесении на поверхность только глины эффект не достигается, так как при высыхании чистой глины происходит ее усадка, растрескивание поверхности и объемная деформация. В этом случае даже небольшая ветровая нагрузка приводит к нарушению связности сильно деформированных поверхностных слоев, как показано на рисунке рисунок 3.2.1.



Рисунок 3.2.1 – Растрескивание поверхностного слоя при усадке

Для исключения этого недостатка в глину следует вводить дополнительные связующие вещества, предотвращающие ее деформации при высыхании. Для этого на практике широко используют песок, пластификаторы и химические реагенты, солому, древесные отходы и др.

Однако даже в случае совместного транспортирования пульпы и скрепляющего состава по базовой технологии в процессе намыва на поверхности пляжей остается все же чистый песок отходов, который разносится за пределы площади хвостохранилища, как показано на рисунке 3.2.2.



Рисунок 3.2.2 – Результат пыления сухого пляжа

Недостатком базового варианта является то, что легкие и липкие фракции, способные удерживать пыль, сносятся водными потоками в

глубину хвостохранилища - в направлении к центральной части пруда. Только небольшая его часть скрепляющего состава остается на поверхности пылящих пляжей, чего явно недостаточно. На рисунке 3.2.3 представлен аналогичный вариант намыва, в соответствии с которым вдоль периметра хвостохранилища установлен магистральный трубопровод 1 для транспортировки пульпы. Хвостохранилище ограничено возвышенной и наращиваемой дамбой 2, сформированной из водоупорных глинистых пород. По распределительным трубопроводам 3 в пруд направляют пульпу, которая под собственным весом перетекает в глубину пруда хвостохранилища, в результате чего постепенно формируется пляж 4, поверхность которого находится выше зеркала свободной воды 5. Хвосты 6 расположены в воде ниже зеркала воды, находятся обводнённом и связанном состоянии. Из распределительных трубопроводов 3 истекает пульпа 7, которая распределяется по радиусу вокруг выходного отверстия. Два соседних трубопровода, расположенные на расстоянии 50 м друг от друга, намывают слой 0,5 м в пространстве между собою в прибрежной зоне пляжа.

В базовой технологии направление потока и порядок заполнения хвостохранилища заполнения такой, что прибрежная площадь обезвоживается и становится сухой, а легкие и мелкодисперсные фракции смываются водой и вглубь к центру пруда. Как отмечалось основная проблема с выделением пыли обусловлена влиянием обезвоженных хвостов 4, которые выносятся в атмосферу ветровыми потоками. Для исключения недостатка базовой технологии предлагается усовершенствовать процесс намыва так, чтобы подавляющая часть скрепляющего состава не уносилась водными потоками вглубь, а распространялась в направлении в периферии площади хвостохранилища. В этом заключается главная идея способа.

Более эффективным и целесообразным является разработанная нами новая технологическая схема формирования хвостохранилища, представленная на рисунке 3.2.4.

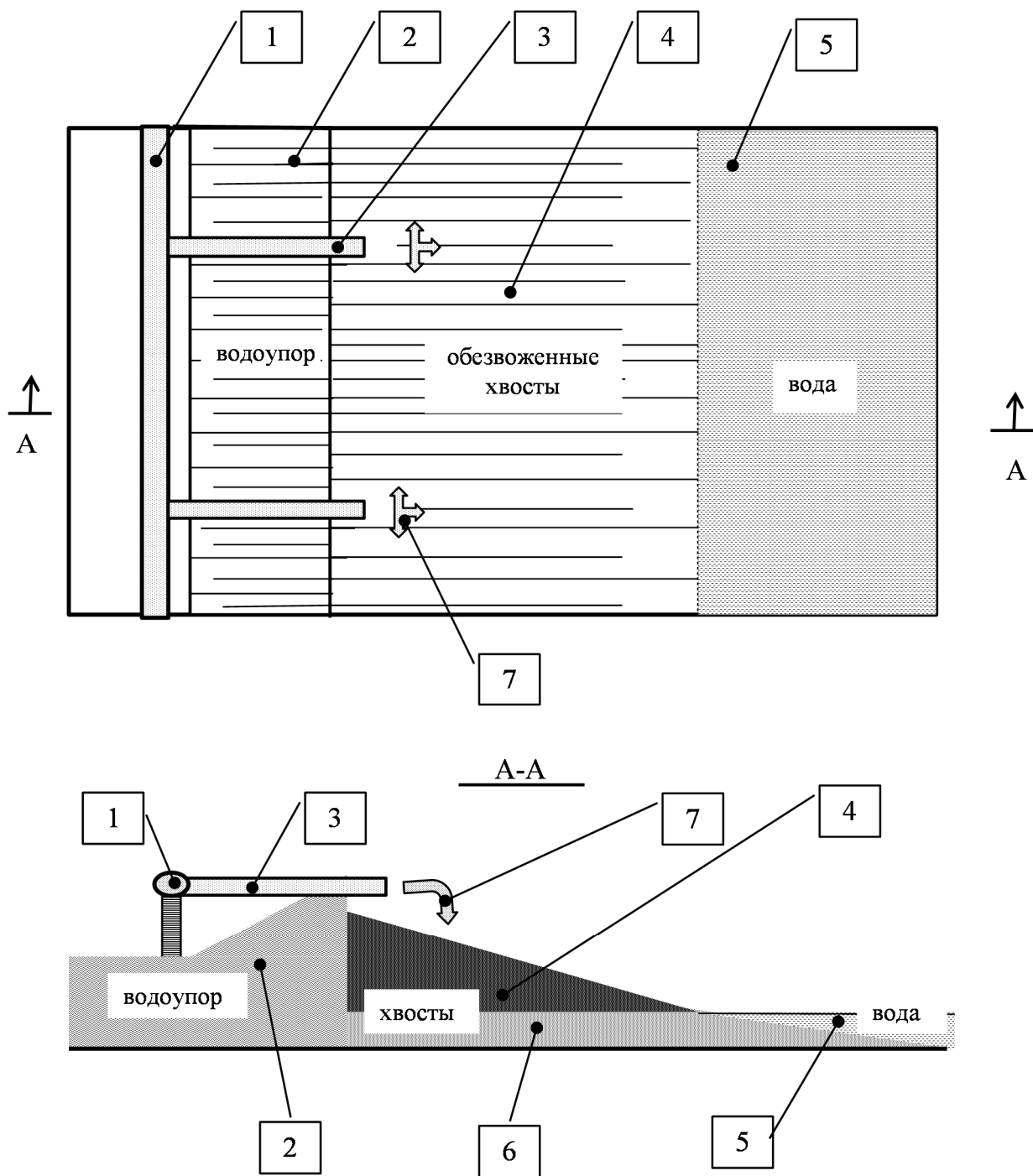


Рисунок 3.2.3 – Базовая технологическая схема заполнения намывного хвостохранилища

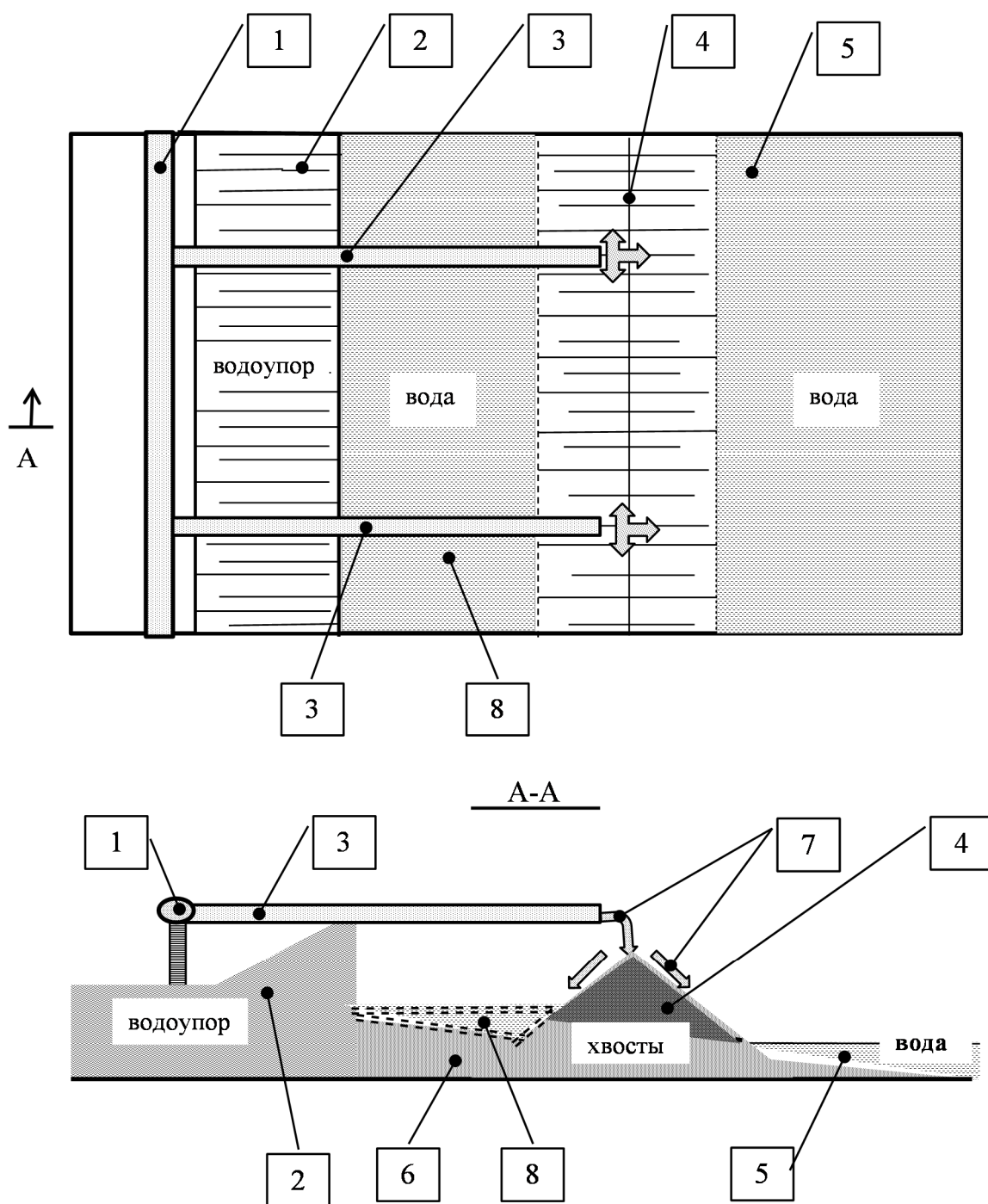


Рисунок 3.2.4 – Предлагаемая технологическая схема заполнения хвостохранилища

Предлагается изменить режим заполнения хвостами пруда. Для этого распределительные пульпопроводы 3 следует удлинить, по крайней мере, на 50 м и осуществлять намыв пляжа на бóльшем удалении от берега

хвостохранилища. В предлагаемом нами способе растекание пульпы осуществляют в двух направлениях 7: вглубь пруда, как в базовом варианте, а также, целенаправленно - по направлению к периметру хвостохранилища. Особенностью способа является формирование сухого острова-пляжа на удалении от берега. В этом случае, во-первых, прибрежная - периферийная часть хвостохранилища в течение длительного времени намыва будет находиться в обводненном состоянии, покрытая зеркалом воды 8. В процессе намыва зеркало воды 8 будет находиться выше зеркала воды 5.

Далее в течение времени намыва, постепенно, уровень прибрежного зеркала воды 8 будет понижаться и, в конце концов, сравняется уровнем зеркала 5. Избыточная вода 8 по нижним каналам фильтрации перепускается в глубину пруда. Не исключено, что при этом вместе с водой в глубину пруда будут частично перемещаться мелкие фракции песка. То есть будет происходить уплотнение укладываемого материала песков.

При реализации данной технологической схемы в периферийной части хвостохранилища между берегом и намытым песчаным островом, как в гидравлической ловушке, будет происходить осаждение именно легких и скрепляющих фракций. Таким образом, при реализации способа пылящий пляж остается внутри пруда в виде вытянутого острова, окруженного водой.

После осаждения воды в глубину пруда периферийный участок не будет пылить, поскольку его сухая периферийная поверхность остается скрепленной вяжущим составом, собранным в "ловушке".

При реализации предложенной технологической схемы используется еще одно оригинальное новшество в виде вяжущего состава, обладающего свойством плавучести и адгезионными свойствами. Компоненты вяжущего состава являются экологически чистыми и не наносят ущерба окружающей среде. Таким составом, по нашему мнению, является измельченная макулатура в рациональной комбинации с глиной, например, келовейской. Плавучесть и липкость частичек измельчённой бумажной макулатуры, содержащей при своем изготовлении чистый связующий клей, а также,

очевидно, экологическая чистота бумаги – является важным фактором, который приводит к положительному результату.

В разработанном способе (рис.3.2.4) источником пыли остается участок обезвоженной пульпы 4. Однако этот участок не является опасным, поскольку не все частицы пыли под действием ветра преодолевают зеркало пруда 8, и подавляющая часть песчаных частиц осаждаются в воде 8, как в водяной ловушке.

На рисунке 3.2.5, в левой части фотографии показана именно такая ситуация, когда осушенный участок намыва расположен в глубине пруда, на островке.



Рисунок 3.2.5 – Формирование хвостохранилища с намывом острова на удалении от дамбы (выделенная часть фото)

Ситуация после очередного цикла намыва показана на рисунке 3.2.6. В данном случае пульпа по трубопроводу 3 уже не подается и поэтому уровень зеркала воды 5, через какое-то время устанавливается на горизонтальном стационарном уровне. В данном случае сформировано два участка пляжа обезвоженных хвостов 4, на рисунке 3.2.6 - это левый и правый. Отличительной особенностью левого пляжа является то, что его поверхность покрыта илистым или связным материалом 9, который не сносится в центр пруда и остается на периферии. Как свидетельствуют известные исследования состава хвостов, илистый материал в небольшом количестве всегда содержится в пульпе [74], даже без специальных мероприятий по изменению состава пульпы. Однако если естественного илистого материала в хвостах содержится мало, то следует на левую поверхность пляжа в процессе намыва или после намыва в обезвоженные хвосты 4 специально вводить связующие вещества с адгезионными свойствами.

Достоинством разработанного способа является сокращение расхода связующих компонентов. Формирование на периферии хвостохранилища отдельного наливного участка обеспечивает непрерывный сбор сопутствующих илистых компонент, присутствующих в пульпе. Постоянное накопление илистых материалов в периферийной зоне приводит к достижению эффекта даже без дополнительного использования искусственных связующих. В течение длительного времени эксплуатации хвостохранилища толщина связующего илистого покрытия будет только возрастать.

Отметим, что в базовом способе формирования хвостохранилища на (рис. 3.2.3) илистый материал уносится водными потоками в глубину пруда, и его полезная функция как компоненты закрепляющего состава никак не используется. Если илистого материала содержится мало, особенно на начальном этапе формирования хвостохранилища, то имеется возможность дополнительного ввода нужных скрепляющих веществ методом распыления техническими средствами с берега пруда.

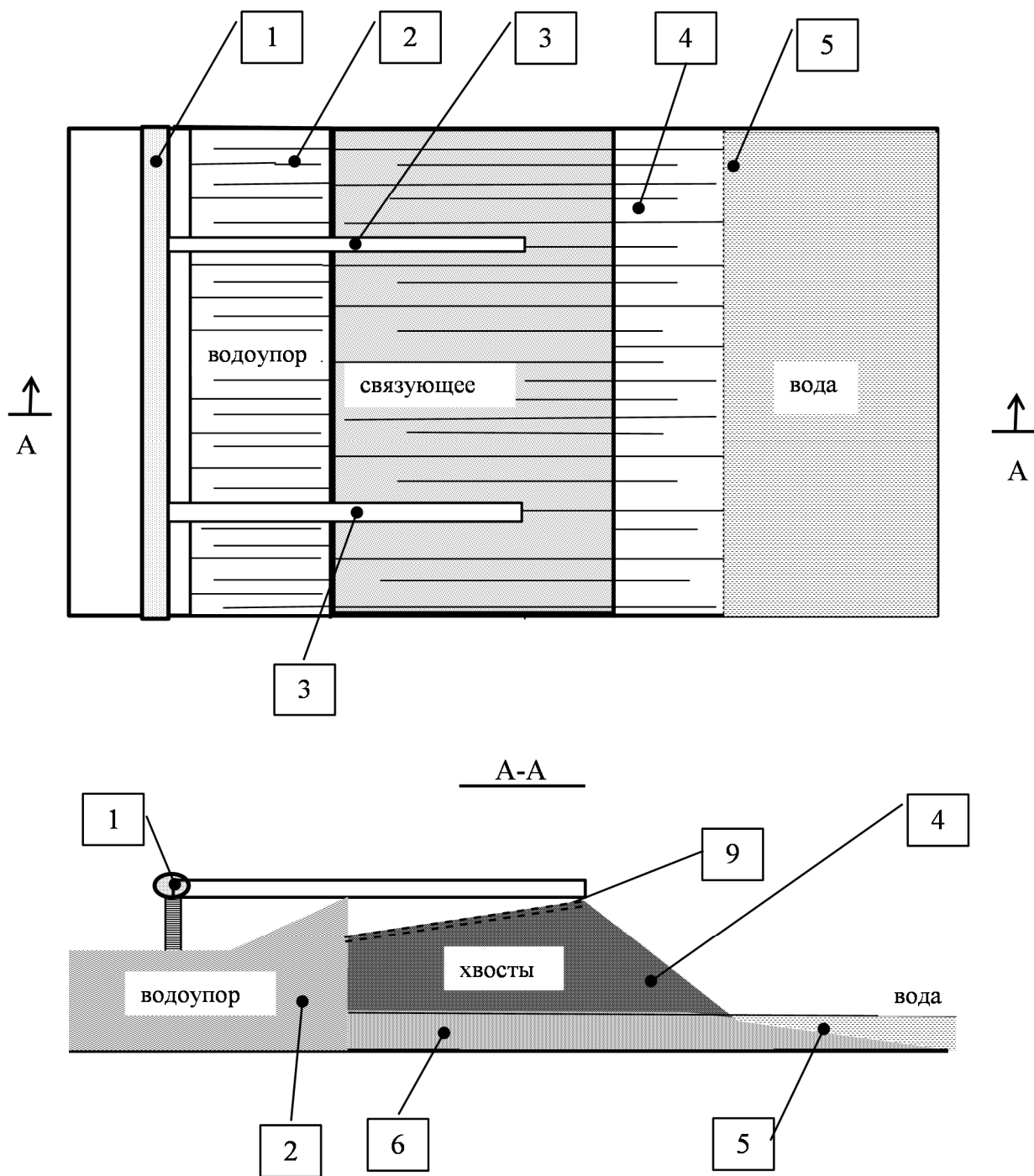


Рисунок 3.2.3 - Хвостохранилища перед циклом нарастания дамбы

3.3 Обоснование связующего состава для поверхности хвостохранилища

Как отмечалось ранее, главная идея предлагаемой технологической схемы является добавление в пульпу, поступающую по распределительным трубопроводам в хвостохранилище, ограниченного количества экологически чистого связующего вещества, обладающего свойством плавучести в воде, твердости и прочности после осушения на пылящей поверхности, дезинтеграции и плавучести при последующих смачиваниях. Такие важные свойства связующего вещества обеспечат решение задачи предотвращения пыления на прибрежной площади хвостохранилища. При таком связующем - не требуется применения специальной техники, обрабатывающей поверхностный слой «хвостов» на огромной площади.

В ходе экспериментальных исследований в лабораторных условиях найден состав, обладающих таким свойством. Основа состава содержит глину вскрышных пород Стойленского ГОКа, скрепленную в процессе мелкодисперсного помола с целлюлозным составом – бумажной макулатурой.

В лабораторных условиях исследованы несколько связующих составов. В частности, для нахождения лучшего состава были проведены испытания, в которых к отобраннным образцам отходов обогащения с хвостохранилища СГОКа были добавлены различные вещества: глина, чистые масла, мелко измельченная древесная стружка, клейкие составы и их комбинации. На основании исследований выявлена лучшая смесь, в состав которой входят мелко измельченные, совместно, келовейская глина и бумажная макулатура. Эта смесь, как и ожидалось, остается на поверхности и прочно удерживает поверхностный слой, не давая «хвостам» пылить. Состав выдерживает воздушный поток от вентилятора со скоростью 20 м/с.

На рисунке 3.3.1 изображен образец «хвостов», покрытый такой смесью. Видно, что образец устойчиво лежит на горизонтальной поверхности под углом 90° и больше.

Для проведения последующих лабораторных исследований было отобрано более 100 образцов песка с хвостохранилища Стойленского ГОКа, к которым добавляюсь смесь измельченной макулатуры. Установлено, что оптимальное соотношение находится в весовой пропорции: 7...10 единиц массы глины к единице массе отходов целлюлозы.

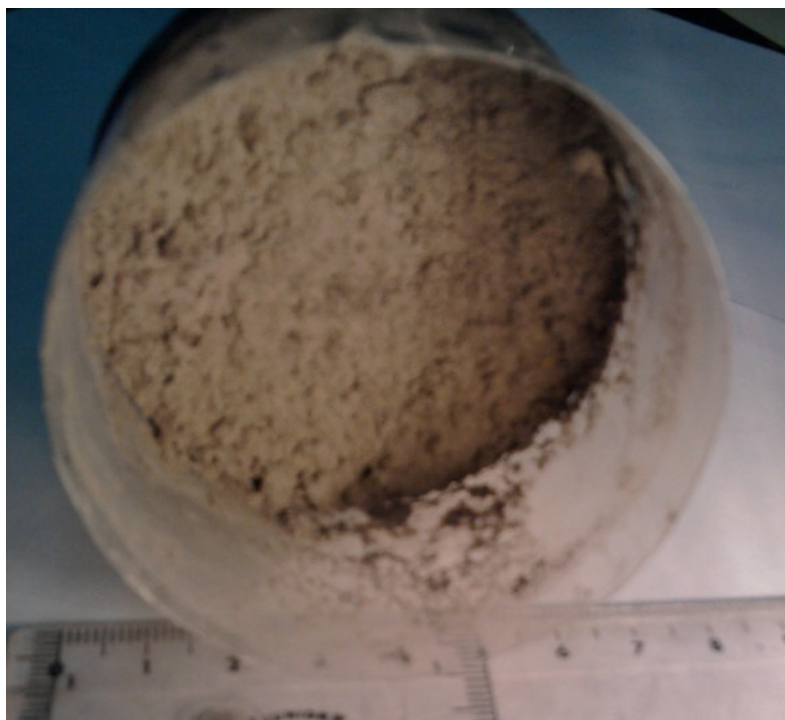


Рисунок 3.3.1 – Образец «хвостов» с вяжущим составом

С целью определения необходимой толщины поверхностного слоя проведены соответствующие лабораторные эксперименты. Для имитации выпуска пульпы в образцы добавляли воду, тщательно перемешивали и отстаивали в покое до полного осушения и испарения воды. После испарения воды на поверхности образцов формируется твердая корка, такая как на фотографии (рис. 3.3.1).

Чтобы убедиться в том, что смесь остается на поверхности хвостохранилища после повторного покрытия ее пульпой, в экспериментах в смесь добавляли новую порцию пульпы, тщательно перемешивали и

оставляли отстаиваться. Эти эксперименты показали, что скрепляющие смеси даже при повторном перемешивании сохраняют плавучесть, поднимаются на поверхность «хвостов» и повторно образуют твердый поверхностный слой.

Для выявления оптимального соотношения проведены эксперименты, в которых определяли прочность сформированного поверхностного слоя. Схема экспериментальной установки, имитирующей методику определения сопротивления горной породы ударным воздействиям по ГОСТ 30629-99, представлена на рисунке 3.3.2.

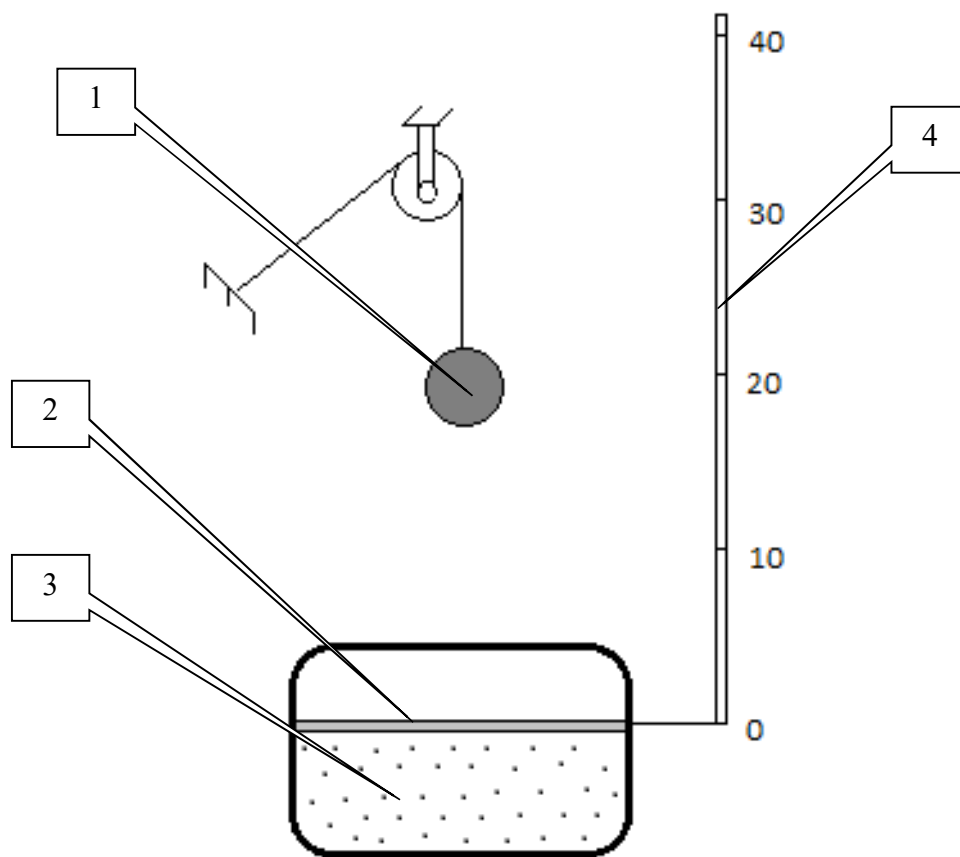


Рисунок 3.3.2- Схема экспериментальной установки

Согласно Методике груз массой 162,5 г сбрасывают на поверхность образованной твердой корки 2 на поверхности «хвостов». Высоту сбрасывания груза 1 фиксируют мерной линейкой 4. Критерием ударной прочности является величина диаметра отпечатка от шарика и появление трещин раскола.

В процессе экспериментов на поверхность образцов, с одинаковой высоты, сбрасывали шарик массой 162,5 г и по измерениям площади образовавшейся лунки отбирались наиболее прочные составы, то есть те, на которых площадь была наименьшей.

Протокол испытаний поверхностного слоя ударному воздействию представлен в таблице 3.3.2.

Таблица 3.3.1- Протокол испытаний

Высота сбрасывания гири, см	Толщина слоя, мм			
	1	4	5	10
10	Никаких изменений	Никаких изменений	Никаких изменений	Никаких изменений
15	Слой проседает, образуется лунка	Слабозаметное углубление	Слой проседает, образуется лунка	Практически незаметное углубление
17	Образуется лунка	Слабозаметное углубление	Образуется лунка	Слабозаметное углубление
20	Образуется глубокая лунка, появляются трещины	Углубление увеличивается в диаметре	Углубление увеличивается в диаметре	Слабозаметное углубление
22	Увеличивается количество трещин, слой полностью разрушается	Появляется заметное углубление	Появляется большая лунка, пошли трещины	Незначительное углубление
25	—	Появляется значительное углубление	Увеличивается количество трещин, слой полностью разрушается	Появилось небольшое углубление
27	—	Значительное углубление	—	Небольшое углубление
30	—	Значительное углубление, появляются трещины	—	Углубление увеличивается в размерах
32	—	Увеличивается количество	—	Значительное

		трещин, слой полностью разрушается		углубление
35	—	—	—	Значительное углубление
37	—	—	—	Значительное углубление, появляются трещины
40	—	—	—	Увеличивается количество трещин, слой полностью разрушается

Фотографии поверхности образцов, представленных в протоколе, после испытаний изображены на рисунках 3.3.3. По результатам испытаний образец с толщиной слоя 4 мм оказался наиболее устойчивым ударному воздействию. Следовательно, можно полагать, что такая толщина слоя будет обеспечивать твердость поверхности при ветровых нагрузках. Если же по различным причинам все же произойдет механическое разрушение верхнего слоя (например, проехала машина), то атмосферные осадки в виде обильного дождя будут "залечивать" нарушенные зоны без вмешательства техники, поскольку под действием воды разработанный состав становится пластичным, растекается по поверхности, а затем при осушении твердеет. Лабораторные эксперименты подтверждают возможность многократного использования связующего на основе келловейской глины и макулатуры.





Рисунок 3.3.3-Образцы с толщиной поверхностного слоя 1 мм, 4мм, 5 мм и 10 мм (последовательно сверху вниз)

Полученных исходных данных достаточно для прогноза ожидаемых результатов. По предварительным данным железорудный комбинат, например, Стойленский ГОК, при реализации предлагаемого способа предотвращения пыления хвостохранилища должен добавлять в пульпу «хвостов», непосредственно на обогатительной фабрике или на выходе из нее, примерно 30 т/сут глины со вскрышного комплекса и 3-5 т/сут вяжущего состава на основе тонко измельченной бумажной макулатуры. Как отмечалось, такой небольшой расход вяжущего материала в виде глинокомпазитных адгезионных хвостов в пульпе практически не уменьшает вместимость хвостохранилища.

3.4 Обоснование технологического варианта подготовки и доставки связующего на хвостохранилище

Подготовка и доставка связующего материала на хвостохранилище может осуществляться следующими технологическими вариантами:

- 1) - загрузка и измельчения состава например, в виде глины и макулатуры, на обогатительной фабрике в мельнице, вместе с железистыми кварцитами; далее полученный вяжущий состав самотеком транспортируется в пульпе на хвостохранилище;

2) подготовка вяжущего состава на выходе из обогатительной фабрики с использованием дополнительного измельчительного оборудования и вводом полученной измельченной глины и бумажной макулатуры в магистральный пульпопровод, по которому состав вместе с хвостами транспортируют в хвостохранилище;

3) нанесение вяжущего состава на прибрежную часть пляжа механическими средствами: поливальными установками на базе автомобилей, с применением самолетов, разбрызгиванием и др.

4) использование связующего состава, имеющего в исходной руде.

Первый технологический вариант предполагает добавку вяжущих веществ в хвостовую пульпу непосредственно на обогатительной фабрике. Вполне перспективной представляется предложение доставки на обогатительную фабрику вместе с полезным ископаемым, например, глины, извлекаемой попутно. Внимание к глине, во вскрышных породах обусловлено ее высокими адгезионными свойствами, которые визуальнo проявляются в сильном налипании на конвейерные ленты, колеса автомобилей, кузова.

Однако, несмотря на простоту, перед практической реализацией данного варианта следует иметь в виду, что это предложение должно пройти согласование со специалистами обогатительной фабрики. В данном случае существует опасение, что изменение традиционной и отработанной схемы обогащения может отразиться на самом ответственном конечном результате горного предприятия. Вероятность отрицательного влияния на наш взгляд незначительная, поскольку речь идет о долях процента вяжущего в составе полезного ископаемого. Например, в каждом очередном цикле намыва при толщине обезвоженных хвостов 0,5 м, составляющих 60-70% от железистых кварцитов (плотность 3300 кг/м^3), максимально необходимый слой (плотность 1500 кг/м^3) на поверхности прибрежной части составляет не более 5 мм. С учетом разветвления потока на две части (прибрежную и центральную по рисунку 3.2.2) выполним оценочный расчет потребного

объемного количества глины в составе хвостов железистых кварцитов, поступающих на обогатительную фабрику

$$\chi = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,5} \cdot \frac{1500}{3300} \cdot 70\% = 0,318\%.$$

Такой процент связующего требуется для покрытия пылящего слоя в одном цикле заполнения. В количественном выражении при годовой производительности фабрики 10 млн. т железистых кварцитов объем дополнительного связующего компонента, привозимого на фабрику составит

$$\frac{10 \cdot 10^6}{3,3} \cdot \frac{0,318}{100} \cdot \frac{1}{364} = 26,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Оценочный расчет показывает, что для реализации предложенного технического решения на фабрике с производительностью переработки руды 10 млн т/год достаточно одной грузовой машины типа БелАЗ-755, имеющего по характеристикам вместимость кузова 37,3 м³ (грузоподъемность 55 т).

Фактически потребное количество глины будет даже меньше, если учитывать, что время интенсивного пыления составляет всего 5 месяцев в году. Тогда потребное количество глины пропорционально сокращается, так как в зимнее время потребление связующего исключается.

Есть еще факторы, обеспечивающие сокращение связующего материала. Рабочий состав связующего должен все время находиться во взвешенном состоянии в турбулентном потоке воды, над осаждающимися более плотными частицами песка. Следовательно, состав будет осаждаться в последнюю очередь над более тяжелыми фракциями песка. Поэтому при турбулентных потоках воды при распространении пульпы вяжущие компоненты подхватываются восходящими потоками и затем осаждаются в последнюю очередь. Такое свойство легкого вяжущего дает возможность многократного использования и сокращения его расхода.

Второй технологический вариант является более трудоемким, поскольку требует подготовки вяжущего состава с использованием дополнительного измельчительного оборудования. Однако достоинством

варианта является то, что при его реализации отработанный технологический процесс обогатительного передела абсолютно не изменяется.

Что касается расхода вяжущего в хвостах пульпы, то его количество остается таким же, как в предыдущем варианте. При практической реализации технологического варианта на выходе хвостов из обогатительной фабрики оборудуют производственную площадку, на которой размещают помольно-смешивающий комплекс с системой аспирации и выдачи продукта. Возможный вариант - это модель «ТОР - ПОТОК – 4500». Производитель - машиностроительное предприятие «Техприбор» (Тульская область, г. Щекино). Комплекс «ТОР - ПОТОК – 4500» позволяют получать продукты помола гранулометрическим составом менее 0,020 мм с производительностью от 3 до 7,5 т/час. Помимо непосредственного измельчения материалов комплекс позволяет проводить смешивание продуктов.

Рассмотрим случай, когда при работе обогатительной фабрики в хвостохранилище направляют 30 тыс. т минеральных отходов в сутки. Для предотвращения пыления хвостохранилища в пульпу хвостов следует добавлять закрепляющий состав в пропорции 0,30...0,55 % от массового потока хвостов, что соответствует 30...40 т/сутки. Для приготовления закрепляющего состава на технологическую площадку привозят ежедневно 40 т сухой глины, например, келовейской со вскрышного комплекса. Кроме того, привозят от 4 до 7 т макулатуры, что составляет 10...15% в закрепляющем составе. Смесь глины и макулатуры загружают помольно-смешивающий комплекс, измельчают и подготовленный продукт засыпают в пульпу.

При измельчении глины и макулатуры до диаметра 0,5...0,9 от размера фракции хвостов происходит формирование большой свободной поверхности глины, покрытой измельченной макулатурой. Совместное измельчение и перемешивание частичек глины и макулатуры приводит к взаимному диффузионному проникновению контактирующих молекулярных

слоев. Далее подготовленный исходный состав засыпают в гидротранспортный лоток и вместе с хвостовой пульпой направляют в хвостохранилище. В процессе гидротранспорта по лотку, закрепляющий состав насыщается водой. Пульпа вместе с закрепляющим составом попадает в хвостохранилище и гидравлическим потоком вследствие плавучести и малой плотности, по сравнению с минеральными отходами, растекается на поверхности отстойного пруда, в том числе по направлению к прибрежной зоне (см. рис. 3.2.6). После сгущения хвостов закрепляющий состав с глиной и клейким веществом макулатуры остается на поверхности хвостохранилища. Под действием адгезионных сил поверхностный слой связывается, исключая пыление при ветровых нагрузках.

Третий технологический вариант предусматривает полив вяжущими веществами пылящих пляжей. Этот вариант широко используют в базовой технологии по рисунку 3.2.3 для связывания пыли на поверхности сухих пляжей, примыкающих к берегу пруда-хвостохранилища. Множество скрепляющих составов, при базовой технологии заполнения наливного хвостохранилища, описано в разделе 3.1. Очевидно, базовый технологический прием заполнения наливного хвостохранилища на рисунке 3.2.3 всегда приводит к появлению сухих пылящих пляжей, что требует повышенного расхода связующих составов. В этом случае применение предлагаемого нами связующего с плавучими свойствами на основе глины и мелко измельченной целлюлозы не решает проблему пылеподавления кардинально, поскольку наклон поверхности пляжа от берега в глубину пруда приводит к перетокам связующих с поверхности прибрежных пляжей в глубину.

В предложенном технологическом варианте на рисунках 3.2.4. и 3.2.6 связующие не вымываются потоками воды в глубину пруда, а остаются в гидравлической ловушке в прибрежной зоне. Для того, чтобы связующее использовалось повторно необходимо иметь свойство плавучести под действием турбулентных водных потоков. Как отмечалось, таким свойством

обладает предложенный нами состав на основе мелко измельченных глины и бумажной макулатуры.

На практике для полива сухих пляжей применяют дорожные поливочные машины, распылители воды, авиационную технику, мощные гидромониторы и другие технические средства. Самая простая реализация связана с применением насосов, создающих простую гидравлическую струю, как например, машине для тушения пожаров. Однако твердые добавки в гидравлическую струю не позволяют прокачивать вязущие составы напрямую через насос. Поэтому для распыления применяют методы вытеснения воды совместно с вязким связующим в камеру смешения, а затем на поверхность пляжей. Применяют также эжекторы, всасывающие вязкое связующее из емкости в камеру смешения. Эти способы пылеподавления решают текущие задачи и требуют непрерывного мониторинга за поверхностью пылящих пляжей.

Что касается технологического варианта на рисунках 3.2.4 и 3.2.6, то при его реализации поверхность прибрежных пляжей в течение времени будет становиться все более вязкой, а интенсивность пыления будет понижаться.

Затраты, которые связаны с реализацией предлагаемого технологического варианта обусловлены необходимостью удлинения распределительных труб. В первом приближении, если расстояние между распределительными трубами составляет 50 м, то величина удлинения трубы должна быть также около 50 м. В этом случае фактический радиус распределения песков между соседними распределительными трубами составляет порядка 20-30 м., что продемонстрировано на рисунке 3.4.1. Следовательно, примерно такое же расстояние 20-30 м будет затоплено водой в прибрежной зоне.

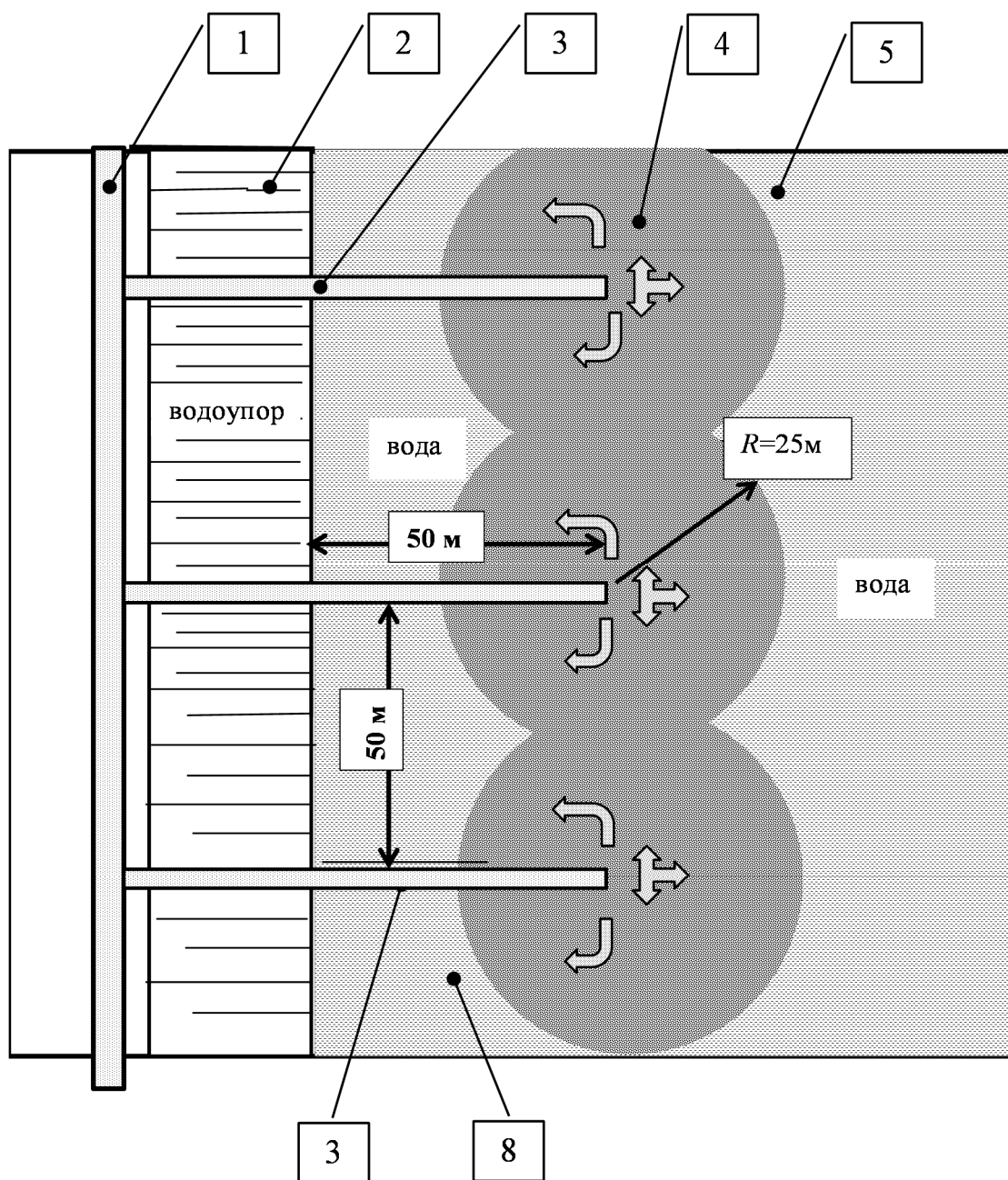


Рисунок 3.4.1 – Ожидаемая форма пляжей и длина распределительной трубы

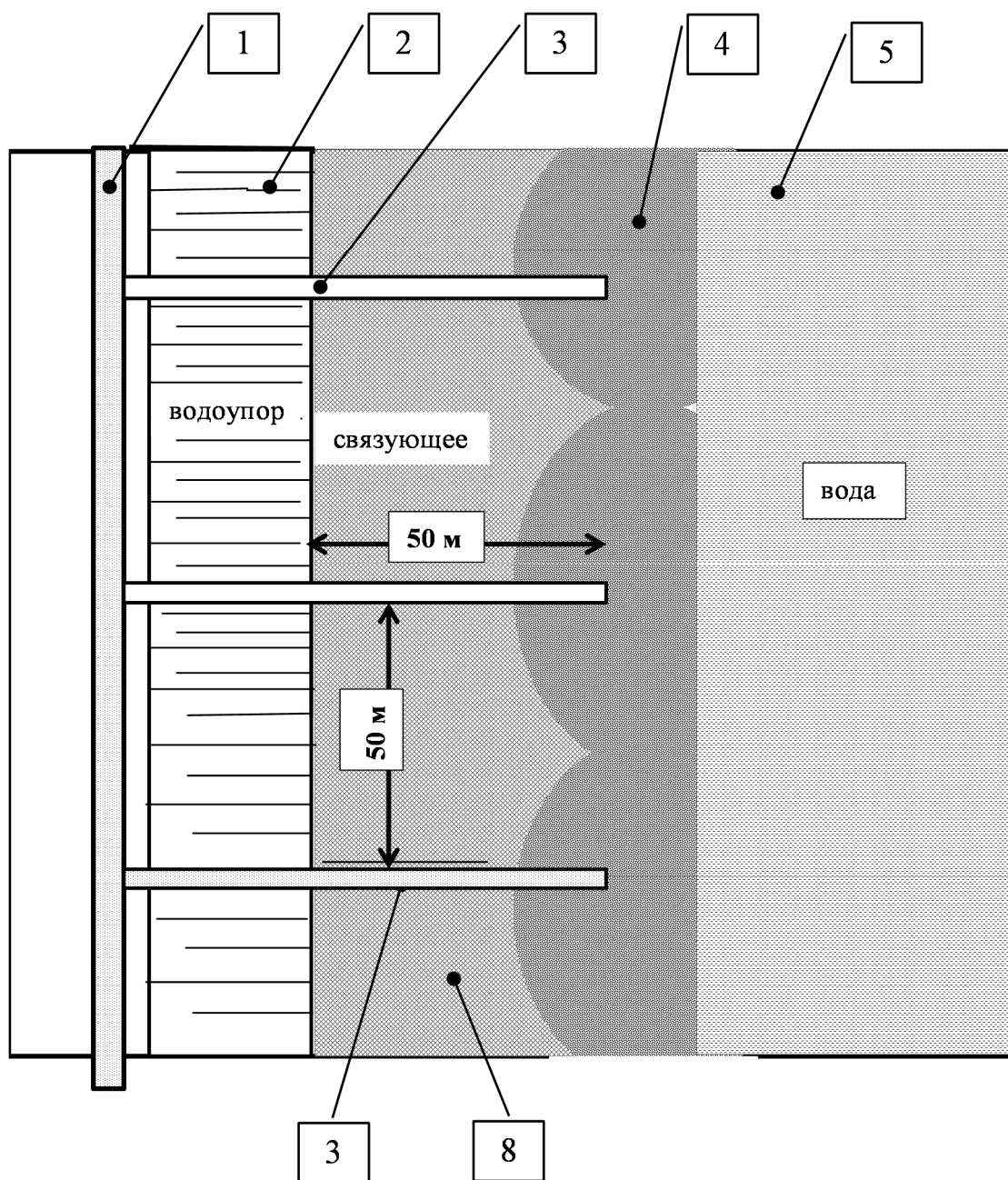


Рисунок 3.4.2 – Ожидаемая форма пляжей по завершении цикла намыва

Таким образом, предложенный технологический вариант обладает рядом преимуществ и не требует поливочной машины, что свидетельствует о низких трудовых и энергетических затратах. Способность исходного вяжущего состава самопроизвольно перемещаться в турбулентных потоках в верхнюю часть укладываемых хвостов также обеспечивает важное преимущество – энергосбережение при формировании закрепляющего состава. Круглосуточный гидротранспорт хвостовой пульпы в отстойный

пруд, вместе с исходным закрепляющим составом, обеспечивает высокую производительность разработанного технологического варианта.

Четвертый технологический вариант с использованием связующего состава, имеющего в исходной руде. Данный вариант является наименее трудоемким, поскольку не требует применения дополнительного оборудования для нанесения состава на пляжи.

Как отмечалось ранее, на поверхности хвостохранилища в небольших количествах всегда присутствует собственное илистое вещество. В способе на рисунках 3.2.4 и 3.3.6 будет происходить накопление илистого вещества в прибрежной части. Этот механизм также приводит к сокращению расхода дополнительного связующего, вплоть до полного исключения.

Представляет интерес механизм попадания илистого вещества в хвосты. Происхождение илистого вещества в хвостах может определяться фактором нахождения вязких минеральных компонентов в самих железистых кварцитах. Возможно, также попадание илистого вещества в процессах измельчения и обогащения и обратного водоснабжения. Однако на наш взгляд более вероятным является механизм попадания плодородной земли, как основы илистых частиц, в пруд из-за ветровых потоков, направленных с окружающей пруд территории. Этот природный фактор также представляет интерес, его следует учитывать и, возможно, целенаправленно использовать как естественное природное явление.

В таблице 3.4.1 представлен химический состав материалов на различных стадиях переработки. Исходная руда Стойленского месторождения содержит железо в общем количестве 34,9%, кварц 42,0% и прочие химические компоненты (Al_2O_3 , S, SO_3 , P, P_2O_5 , CaO, MgO, TiO_2 , MgO, Na_2O_3 , K_2O) в количестве 3,87%.

В концентрате содержится общего железа 66,4%, кварца 6,79% и прочих компонентов потенциального связующего в количестве 1,27%.

Хвостовая пульпа содержит частицы железорудных минералов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ - 9,81%, и кварца 70,07%, которые имеют низкую адгезию по этой причине

легко поднимаются ветровыми потоками. В то же время, вместе с пылеобразующими частицами в пульпе содержатся прочие минеральные компоненты, составляющие основу илистого вещества в количестве 13,33%. При этом наибольшее количество приходится на химические элементы оксидов магния, кальция и алюминия (почти 10,93%), составляющих минеральную основу веществ с адгезионными свойствами: известняка, доломита, глины.

Таблица 3.4.1 - Химический состав руды, концентрата и хвостов

Состав	Исходная руда	Концентрат	Хвосты в пульповоде	Илистая корка	Пылящий пляж (прибрежная зона)
Fe _{общ}	34,9	66,40	9,81	8,14	13,40
FeO	15,64	27,23	6,08	5,03	5,2
Fe ₂ O ₃	32,48	64,56	7,24	6,03	13,36
Fe _{mgt}	27,83	61,67	0,86	0,55	2,2
п.п.п.	1,77	0,31	3,19	3,5	1,98
SiO ₂	42,0	6,79	70,07	65,8	70,70
Al ₂ O ₃	1,09	0,19	1,68	1,32	1,35
S	0,13	0,056	0,15	0,23	0,120
SO ₃	0,33	0,14	0,38	0,575	0,300
P	0,097	0,017	0,16	0,1	0,130
P ₂ O ₅	0,22	0,037	0,38	0,231	0,298
CaO	2,02	0,18	3,65	3,22	2,840
MgO	3,02	0,48	5,6	13,4	3,000
TiO ₂	0,07	0,019	0,14	0,08	0,060
MgO	0,066	0,033	0,088	0,07	0,060
Na ₂ O ₃	0,34	0,066	0,53	0,37	0,380
K ₂ O	0,37	0,05	0,57	0,42	0,41

Таким образом, можно утверждать, что в хвостовой пульпе содержатся связующие вещества, которые имеет смысл целенаправленно перераспределить на поверхности хвостохранилища, чтобы покрыть пылящую поверхность пляжа.

Как отмечалось, при реализации базовой технологии практически весь илистый материал переносится водными потоками в глубину пруда-отстойника и при этом весьма небольшое его количество остается в

прибрежной зоне. Предложенный нами метод заполнения намывного хвостохранилища обеспечивает перераспределение илистой части хвостов непосредственно по направлению к прибрежной зоне.

Следует отметить, что в илистом материале имеет место повышение содержания оксидов магния и кальция (в сумме 15,66%), составляющих основу вяжущего состава.

Возможности предлагаемого варианта основаны на том, что в минералогическом составе железистых кварцитов, не только Стойленского, а также Лебединского месторождения, имеется достаточное количество природных связующих, о чем свидетельствуют следующий анализ. В железистых кварцитах Лебединского ГОКа *главные породообразующие минералы* представлены следующими минералами [105]:

- магнетитом - Fe_3O_4 , кварцем - SiO_2 , куммингтонитом - $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$;

- в зонах ошелачивания: щелочным амфиболом - $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$, и эгерином - $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$;

Второстепенные минералы представлены:

– биотитом (слюда) - $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[(\text{OH}, \text{F})_2|\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$;

– карбонатами в виде кальцита - CaCO_3 , доломита - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, магнезита - MgCO_3 , сидерита - FeCO_3 ,

– тальком – $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$;

– актинолитом - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$;

– калиевым полевым шпатом - ортоклазом KAlSi_3O_8 .

Акцессорные минералы, в количестве менее 1%, представлены апатитом - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$, турмалином, сфеном.

Для сравнения с данными геологоразведочных работ, минералогический состав железных руд Стойленского месторождения, имеют следующие особенности:

- магнетит, содержание колеблется от 25,64% до 46,98%;

- гематит содержится в пределах 1,32-3,42%.

Нерудные минералы включают:

- кварц, содержание 31,59-41,22%;
- силикаты, представлены куммингтонитом, биотитом, щелочными амфиболами, актинолитом, эгирином, тремолитом, альмандином, хлоритом, тальком и др., содержание от 5,51% до 30,61% ;
- *второстепенные:*
- карбонаты, представлены доломитом, анкеритом $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}) [\text{CO}_3]_2$, кальцитом и сидеритом, содержание 0,79-4,42%;
- апатит в виде отдельных зерен 0,07-0,42%;
- сульфиды, в основном пирит 0,02-1,23%, иногда и пирротин.

На Лебединском и Стойленском ГОКах технология обогащения передельного предусматривает стадии дробления и измельчения руды с последующей магнитной сепарацией. Следует отметить, что на этих стадиях обогащения передельного исходное минеральное сырье не участвует ни в каких химических реакциях и поэтому правомерно утверждать, что до чаши хвостохранилища все минералы из карьера дойдут в измельченном виде, но неизменном минералогическом состоянии.

Для решения задачи формирования хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам, этот фактор является важным, поскольку принципиально возможны случаи, если рассматривать другие обогащающие комбинаты, когда исходное минеральное сырье на стадиях обогащения передельного участвует в химических реакциях, что приводит к изменению исходного химического состояния и появлению в хвостах новых химических веществ, которые будут изменять ситуацию.

Главная идея, которая следует из анализа минерального состава исходного сырья, заключается в том, что в нем фактически содержится какое-то количество минералов, которые обладают связующими свойствами. К таким минералам на месторождениях Лебединского и Стойленского ГОКов

относятся: известняки, доломиты, глинистые составы, которые без отклонений проходят сквозь магнитное поле сепаратора.

Выполним оценочный расчет потенциального количества связующих минералов, содержащихся в хвостах. Рассмотрим случай обогатительного передела 1 млн. т железистых кварцитов. Примерный состав исходного сырья следующий:

35% магнетит – 350 тыс. т;

35% кварц – 350 тыс. т;

26% силикаты- 260 тыс. т;

3% карбонаты– 30 тыс. т;

1% -акцессорные минералы.

После обогатительного передела на фабрике конечный товарный концентрат железной руды содержит 67% магнетита, остальное кварц, силикаты, акцессорные минералы.

В хвосты обогащения уходит примерно 60% исходного сырья, т.е. 600 тыс. т. Известно, что извлечение ценных компонентов в концентрат в процессах обогащения составляет от 60 до 95 %. В данном расчете примем, что при магнитной сепарации коэффициент извлечения магнетита из железистых кварцитов величиной составляет 80%. Следовательно, из исходного количества руды в хвосты обогащения попадает магнетита в количестве

$$0,2 \cdot 350 = 70,0 \text{ тыс. т.}$$

Другие безрудные минеральные компоненты магнитной сепарации не подвергаются и поэтому в хвостах обогащения распределяются пропорционально исходному содержанию. В этом случае количество кварца составит

$$(600 - 70) \frac{35}{35+26+3+1} = 285,4 \text{ тыс. т.}$$

Количество силикатов

$$(600 - 70) \frac{26}{35+26+4} = 212,0 \text{ тыс.т.}$$

Количество карбонатов

$$(600 - 70) \frac{3}{35+26+4} \approx 24,5 \text{ тыс.т.}$$

Акцессорные минералы

$$(600 - 70) \frac{1}{35+26+4} \approx 8,1 \text{ тыс.т.}$$

Ниже представлены результаты расчётов, отражающих массовое содержание компонентов в хвостах обогащения, включая процентное содержание по массе:

магнетит – 70,0 тыс. т – 11,7%;

кварц – 285,5 тыс. т – 47,6%;

силикаты – 212,0 тыс. т – 35,3 %;

карбонаты – 24,5 тыс. т - 4,0 %;

акцессорные минералы – 8,1 тыс.т - 1,4 %.

Следует обратить внимание на известное явление [Гальперин А. М., Кутепов Ю. И., Круподеров В. С., Семенов О. Д. Мониторинг и освоение техногенных массивов на горных предприятиях. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Выпуск № 2 / 2011, С.7-18], когда на отдельных участках хвостохранилища железорудных комбинатов фактическая доля содержания железа в хвостах может достигать 20 % и более, что существенно превышает рассчитанную нами величину 11,7 %. Однако следует принимать во внимание, что участки в большом содержанием железа имеют техногенное происхождение, связанное с технологией намыва и процессом гидравлического перераспределения мелкодисперсных компонент под влиянием факторов уклона потока и различия плотности минералов.

Результаты выполненного расчёта достаточно хорошо коррелируют с фактическими данными содержания карбонатов в хвостах обогащения, представленными в таблице 3.4.1. По нашим данным лабораторного анализа, полученным из проб, содержание железа в хвостах составляет 9,8%. В

пересчете на весовое процентное содержание количество магнетита с химической формулой Fe_3O_4 имеем величину, близкую расчётной (11,7%)

$$9,8 \frac{3 \cdot 55,8 + 4 \cdot 16}{3 \cdot 55,8} \approx 13,5\%$$

где 55,8 – молярная масса железа, г/моль;

16 – молярная масса кислорода, г/моль.

Лабораторное содержание оксидов кальция CaO в хвостах (3,65%) в пересчете на известняк CaCO_3 его процентное содержание составляет

$$3,65 \cdot \frac{40,0+12+3 \cdot 16}{40+16} \approx 6,5 \%,$$

где 40,0 – молярная масса кальция, г/моль;

12 – молярная масса углерода, г/моль.

Наконец, содержание оксидов магния MgO в хвостах (5,6 %) в пересчете на карбонат магния MgCO_3 составляет

$$5,6 \cdot \frac{24,3+12+3 \cdot 16}{24,4+16} \approx 11,7 \, \%.$$

Результаты данных химической лаборатории и расчётов систематизированы в таблице 3.4.2. Наличие в составе оксидов кальция и магния в лабораторном анализе обусловлено методикой определения свойств методом прокаливания, что приводит к диссоциации минералов.

Таблица 3.4.2 - Данные химической лаборатории и перерасчета

№ п/п	Хвосты (данные химического анализа): химический элемент-содержание	Хвосты (пересчет) минерал – содержание	
1	Fe -9,81 % (общее) FeO–6,08%;Fe ₂ O ₃ –7,24%	Fe ₃ O ₄ – 12,4%	
2	SiO ₂ – 70,07 %	SiO ₂ – 64,2%	
3	Ca0 – 3,65 %	CaCO ₃ – 6,0 %	16,7 %
4	Mg0 -5,6%	MgCO ₃ -10,7 %	
5	Al ₂ O ₃ - 1,68%	Al ₂ O ₃ – 1,54%	
6	Прочие– 5,68%	Прочие - 5,16%	

Как следует из таблицы, расчетное содержание рудных минералов и кварца, составляющего основу песка, находится в удовлетворительном соответствии с выполненным нами расчётным прогнозом.

С другой стороны следует отметить, что прогнозное значение в хвостах минералов со связующими свойствами, а именно известняка, магнезита и оксидов алюминия значительно различаются. Для разрабатываемого способа формирования хвостохранилища весьма важно, что именно Al_2O_3 , входящий в состав глины вместе кремнеземом, обладает наибольшей липкостью и связующей способностью.

Представлений расчет сделан с запасом по минимуму. При этом фактическое содержание связующих веществ в хвостовой пульпе существенно больше.

Еще большее относительное содержание связующих минералов содержится в илистом веществе, пробы которого были отобраны в прибрежной зоне – из места естественной аккумуляции более легких минералов. Для сравнения плотности минералов в хвостах составляют, г/см³:

- магнетит 4,8-5,3;
- кварц 2,5-2,6;
- известняк 1,8 – 2,9;
- доломит 1,9-3,0;
- глина 1,2-2,4.

Судя по плотности, в первую очередь в воде оседают магнетит, кварц, и далее карбонаты. В последнюю очередь оседает глины, формируя на поверхности осаждения илистую основу. Таким образом, именно карбонаты и глина создают связующую основу пляжа.

Химический анализ пылящих песков и в пересчете на содержание минералов в хвостах представлен в таблице 3.4.3. Видно, что в составе пылящих песков имеется около 10% карбонатов и глины, однако судя по факту этого количества не достаточно для связывания кварцевых частиц.

Таблица 3.4.3- Данные химической лаборатории состава пылящих песков и пересчете на минералы

№ п/п	Пылящие хвосты на поверхности пляжа (данные химического анализа): хим. элемент-содержание	Пылящие хвосты (пересчет): минерал – содержание	
1	Fe - 13,40%	Fe ₃ O ₄ – 16,7%	
2	SiO ₂ – 70,7 %	SiO ₂ – 63,9%	
3	Ca0 – 2,84 %	CaCO ₃ – 4,6%	11,3%
4	Mg0 -3,0%	MgCO ₃ – 5,7%	
5	Al ₂ O ₃ - 1,35 %	Al ₂ O ₃ - 1,2 %	
6	Остальные –8,71%	Остальные – 6,9%	

Наконец, в таблице 3.4.4 представлен элементный химический анализ илистого вещества в зоне аккумуляции. В отличие от пылящего пляжа в илистом веществе содержится почти 35% веществ со связующими свойствами, которые играют решающую роль в решении задачи.

Таблица 3.4.4 – Данные состава илистого вещества

№ п/п	Илистое вещество на поверхности хвостохранилища (данные химического анализа): хим. элемент-содержание	Илистое вещество (пересчет): минерал – содержание	
1	Fe - 8,14%	Fe ₃ O ₄ – 9,4%	
2	SiO ₂ – 65,8 %	SiO ₂ – 54,7%	
3	CaO – 3,22 %	CaCO ₃ – 4,8 %	28,1%
4	MgO -13,4%	MgCO ₃ –23,3 %	
5	Al ₂ O ₃ -1,32 %	Al ₂ O ₃ - 1,1 %	
6	Остальные - 8,12%	Остальные –6,7 %	

Характерной особенностью минерального состава илистого вещества является почти двукратное превышение содержания карбонатов, что объясняется условиями формирования илистой корки за счет перетекания в

гидравлическом потоке. Гидравлическая ловушка в виде наклонного пляжа с нисходящим уклоном в сторону ограждающей дамбы способствует аккумуляции вещества в приконтурной зоне. Именно этот гидравлический эффект используется в разработанном нами техническом решении – в способе формирования поверхности намывного пляжа, устойчивого к ветровым нагрузкам.

3.5 Выводы

3.5.1 Как свидетельствует анализ патентной технической документации для предотвращения распространения пыли с поверхности намывных хвостохранилищ используют способы закрепления поверхности сухих пляжей вяжущими, устойчивыми к ветровым нагрузкам, однако широкое распространение способов сдерживается, высокой трудоемкостью необходимых технологических операций и проявлением вредного влияния используемых химических веществ.

3.5.2 В составе пульпы, проступающей на хвостохранилище с обогатительной фабрики, содержится илистый материал, который способен выполнять скрепляющие свойства на поверхности сухих пляжей.

3.5.3 Для усиления эффекта закрепления площадей предложен дополнительный состав на основе отходов целлюлозы и адгезионной глины, доставка которого на поверхность пылящих пляжей может осуществляться посредством напыления, с помощью насосной установки автомобиля эжекционного устройства.

3.5.4 Экспериментально в лабораторных и производственных условиях установлен оптимальный состав, включающий в весовой пропорции 7...10 единиц массы глины к единице массы отходов целлюлозы. Слой толщиной 4 мм является устойчивым к стандартному механическому ударному воздействию, эквивалентному ветровой нагрузке порядка 20 м/с.

3.5.5 Разработана технологическая схема формирования намывного хвостохранилища, предусматривавшая подачу хвостов из пульповода на удалении от береговой дамбы, по крайней мере, на 50 м, намыв песчаного острова, с уклоном в сторону береговой дамбы, с возможностью накопления скрепляющего илистого материала на площади сухих пляжей, примыкающих к береговой дамбе. Такая конструкция хвостохранилища исключает пыление в процессе намыва, а также после осушения прибрежной части пляжа из-за накопления связующего илистого материала, стекающего в направлении к дамбе.

4 Обоснование технологических параметров наливного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам

4.1 Моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища

Пыление на хвостохранилищах возникает на участках пляжной зоны намывных отсеков, не покрытых водной поверхностью, на откосах ограждающих дамб и плотин. Вредная техногенная пыль выносится с поверхности таких объектов в жаркий засушливый период при скорости воздушного потока более 4 м/с. Актуальной инженерной задачей является управление аэродинамикой воздушных потоков над поверхностью хвостохранилища, позволяющей снизить пыление. Одним из хорошо известных и апробированных на практике путей решения задачи является размещение по периферии хвостохранилища высоких защитных экранов, позволяющих изменить направление воздушных потоков и снизить вынос пыли. Оптимизацию этого и других технических решений можно осуществлять на основе методов компьютерного моделирования по аналогии с представленными ниже примерами.

Например, представляет практический интерес сравнить склонность к пылению хвостохранилища, сформированного по базовой технологии, (см. рис. 3.2.3), с новым технологическим вариантом (рис. 3.2.6), описанными в третьей главе. Принципиально возможны различные результаты моделирования. Например, возможно, когда достаточно только одного сооружения экранов, что бы предотвратить перенос пыли за пределы хвостохранилища. Если такой эффективный результат будет действительно достигнут, тогда отпадает необходимость в реализации предложенного нами технологического варианта.

Однако возможен и другой результат, когда отпадет необходимость сооружения защитных экранов, если предложенный технологический

вариант предотвратит пыление. Наконец, возможен комбинированный вариант совместных технических решений, выбор которых можно осуществлять не дорогостоящими производственными экспериментами, а путем компьютерного моделирования.

В частности следует отметить, что практическое использование ветровых защитных экранов на хвостохранилищах имеет существенный недостаток, связанный с погодными аномалиями. Фактически в летнее время существует вероятность штормовых порывов ветра, по шкале Бофорта это скорость более 24,5 м/с [37]. Не исключена также вероятность ураганов со скоростью ветра более 32,7 м/с. В этих случаях защитные экраны скорее всего бесполезны и будут разрушаться сами, не обеспечив возлагаемую на них функцию пылеподавления. Поэтому на эффективность работы простых и дешевых защитных экранов вряд ли стоит возлагать большие надежды. Впрочем, если конструкция экранов будет способна выдерживать ураганы, то их применение будет оправдано. Однако и в этом случае надо будет учитывать дороговизну экранов, удовлетворяющих критериям прочности.

Предложенный нами технологический вариант по сравнению с применением экранов имеет следующие преимущества: отсутствие дорогостоящих аэродинамических препятствий воздушным потокам, изоляция пылящих пляжей в водном пруду, самопроизвольное заполнение осушаемой прибрежной зоны пляжа илистым материалом, многократное использование связующего, без потерь, в виде глины и целлюлозы - эти все факторы способствуют эффективному решению задачи пылеподавления.

При компьютерном моделировании воспользуемся средствами интерактивной среды COMSOL Multiphysics, предназначенной для описания множества физических процессов [33,106]. Методика моделирования использует фундаментальные наработки в области математической физики и базируется на методе конечных элементов. Благодаря встроенным физическим режимам, коэффициенты дифференциальных уравнений в частных производных задаются в виде базовых физических свойств.

Предусмотрена форма задания начальных и граничных условий поставленной задачи. Программное обеспечение запускает, конечно, элементный анализ вместе с сеткой, учитывающей одномерную, двухмерную или трехмерную геометрическую конфигурацию тел и контролем ошибок, с использованием разнообразных численных решателей.

Для анализа перемещения воздушных потоков над поверхностью хвостохранилища воспользуемся физической моделью на основе физических уравнений Навье-Стокса [10,26].

На рисунке 4.1.1 представлена геометрическая модель двух сравниваемых вариантов:

- первый, по базовой технологии намыва, когда наклон сухого пляжа хвостохранилища направлен в глубину пруда. Тангенс угла наклона 0,05 - равен отношению высоты перепада сухих частей пляжа, равной 5 м к длине пляжа 100 м;

- второй, по предлагаемому варианту намыва, предусматривает геометрическую форму пляжа в вертикальном сечении в виде треугольника высотой 5 м и основанием 100м. Рассмотрен равнобедренный треугольник, равно наклонённый как пруду, так и к берегу. Тангенс угла наклона 0,1 - равен отношению высоты 5 м к полудлине основания 50м.

Необходимо установить насколько проявляются факторы выделения пыли в сравниваемых вариантах? Не создает ли предлагаемый вариант угрозу интенсивного выделения пыли с поверхности сухого пляжа?

Граничные условия задачи задаются в виде различия атмосферных давлений слева и справа. Воздух перемещается под действием горизонтального градиента давлений величиной 10^{-6} Па/м, который обеспечивает горизонтальную скорость воздуха до 6 м/с. Поверхность хвостохранилища является твердой и не деформируется под действием воздушного потока. В граничных условиях это условие записывается как "wall".

дифференциальное уравнение Навье-Стокса, в установившемся режиме движения.

Таблица 4.1.1 - Исходные данные

Параметр	Значение
Плотность воздуха, кг/м ³	1,18
Вязкость воздуха, Па·с	$1,79 \cdot 10^{-5}$
Атмосферное давление, Па	10^5
Градиент давления воздушного потока, Па/м	10^{-6}

На рисунке 4.1.2 представлены для сравнения две графические зависимости горизонтальной скорости вдоль горизонтального направления на высоте 1 м над береговой дамбой, возвышающейся над сухим пляжем. Из графиков прослеживается различие в эпюрах горизонтальных скоростей. В точке с координатами (180; 6), т.е. на выходе из сухого пляжа, в предложенном варианте скорость составляет 5,5 м/с, а в базовом 5,0 м/с. Следовательно, частица пыли в воздушном потоке, в предложенном варианте, будет выноситься из хвостохранилища с более высокой скоростью. Но это произойдет при условии, что пыль поднимется вверх.

Как показано на рисунке 4.1.3 в предложенном варианте на участке перед дамбой вертикальная скорость потока будет направлена вниз и будет, таким образом, направлять пылевые частицы на участок перед дамбой, как в аэродинамическую ловушку. На рисунке 4.1.3 это участок длиной 150 м от координаты (150,6) до координаты (190, 6). Длина участка осаждения пыли составляет 40 м и этот участок приходится на участок пляжа, с углом наклона противоположным базовому варианту.

Таким образом, предложенный технологический вариант формирования поверхности наливного хвостохранилища, в ее прибрежной части, помимо гидравлической ловушки для связующих веществ реализует режим аэродинамической ловушки для частиц песка, поступающей с сухой части пляжа (см. рис. 3.2.3).

Аналогичная картина с аэродинамической ловушкой выполняется также при других и более высоких скоростях воздушного потока, что

свидетельствует об общей закономерности, характерной для предлагаемого варианта формирования наливного хвостохранилища.

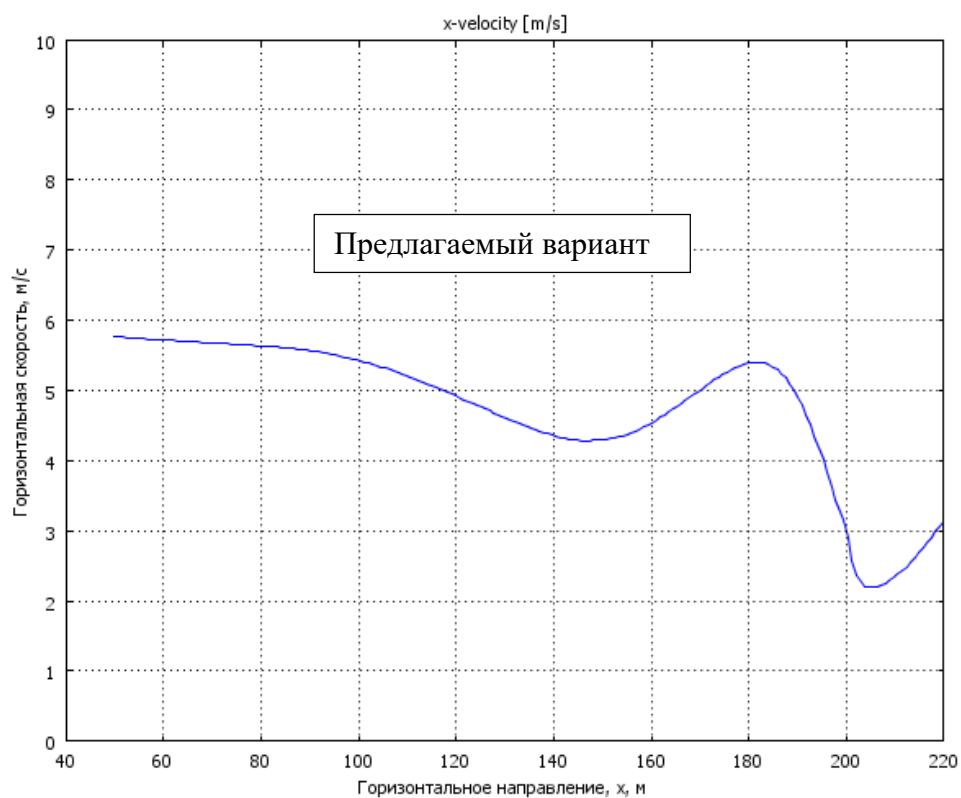
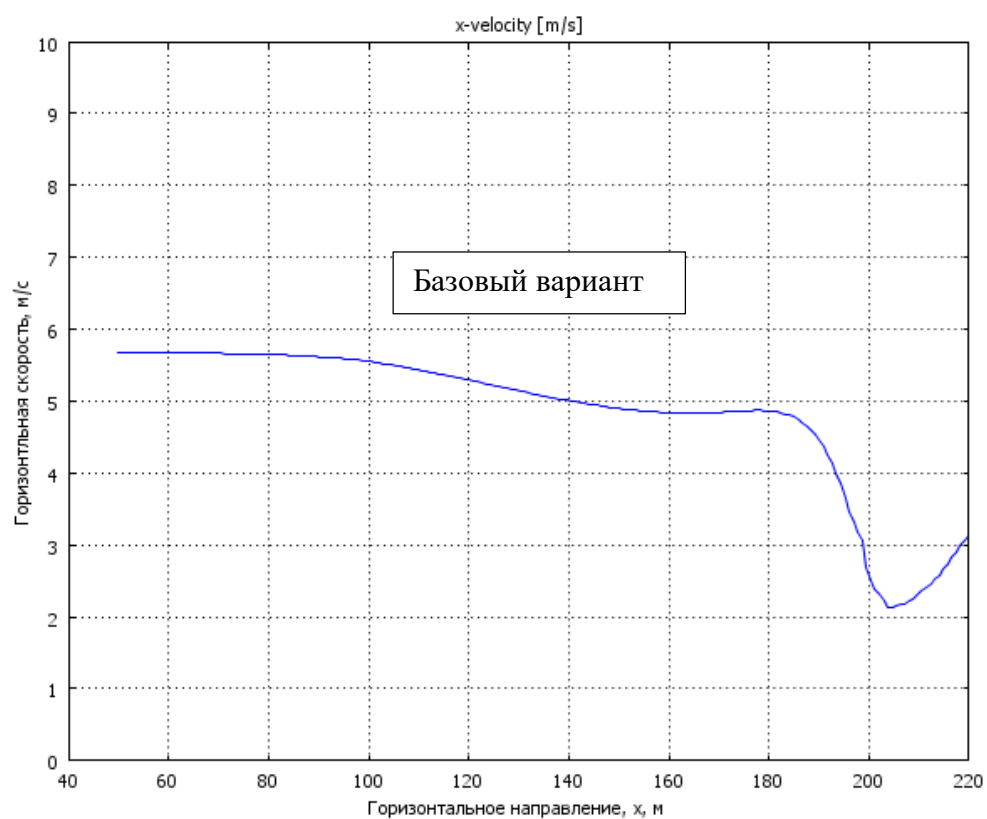


Рисунок 4.1.2 – Горизонтальная скорость потока вдоль песчаного пляжа в сравниваемых вариантах

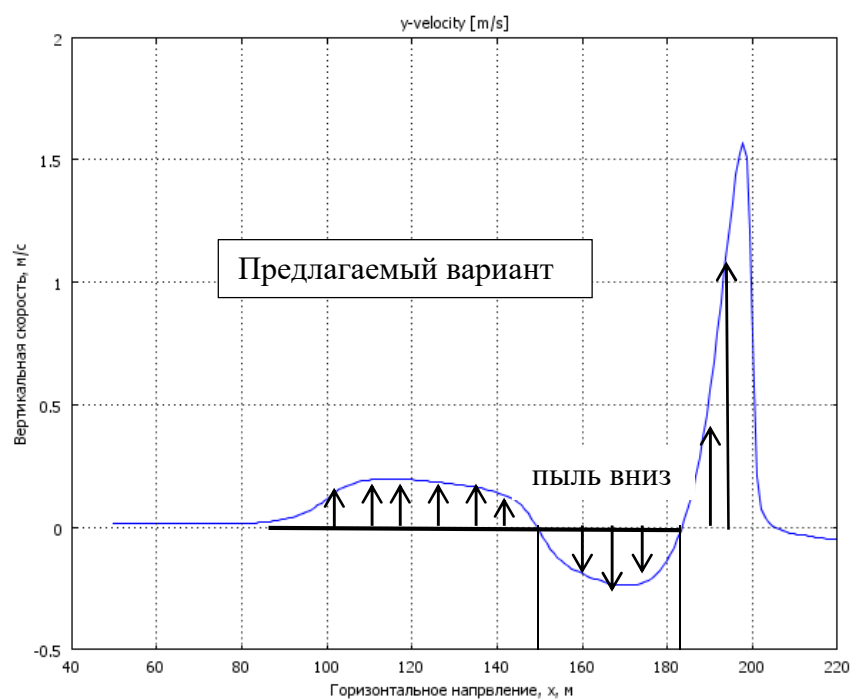
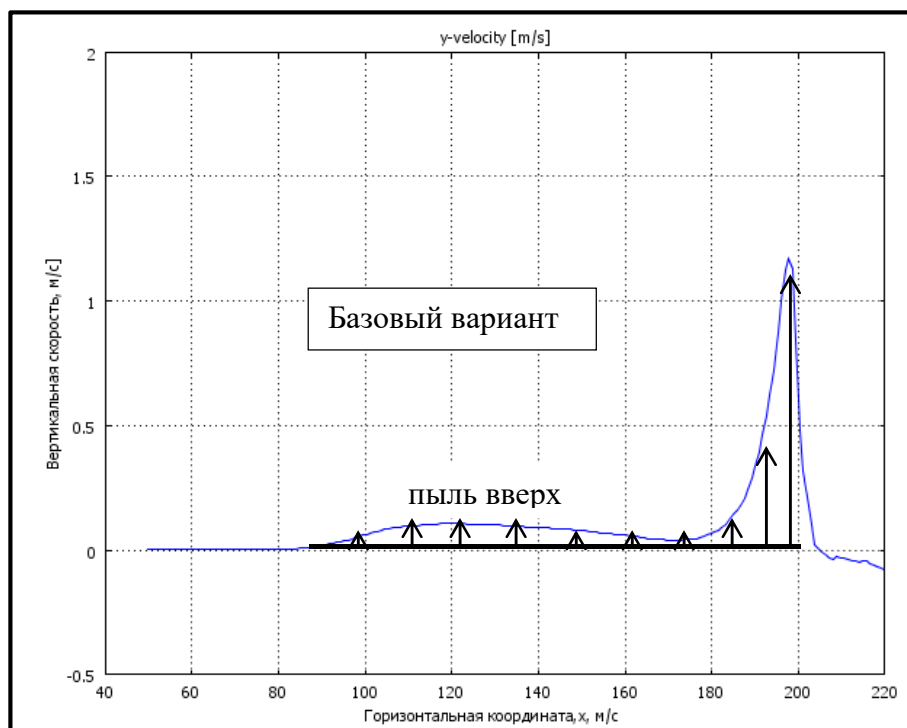
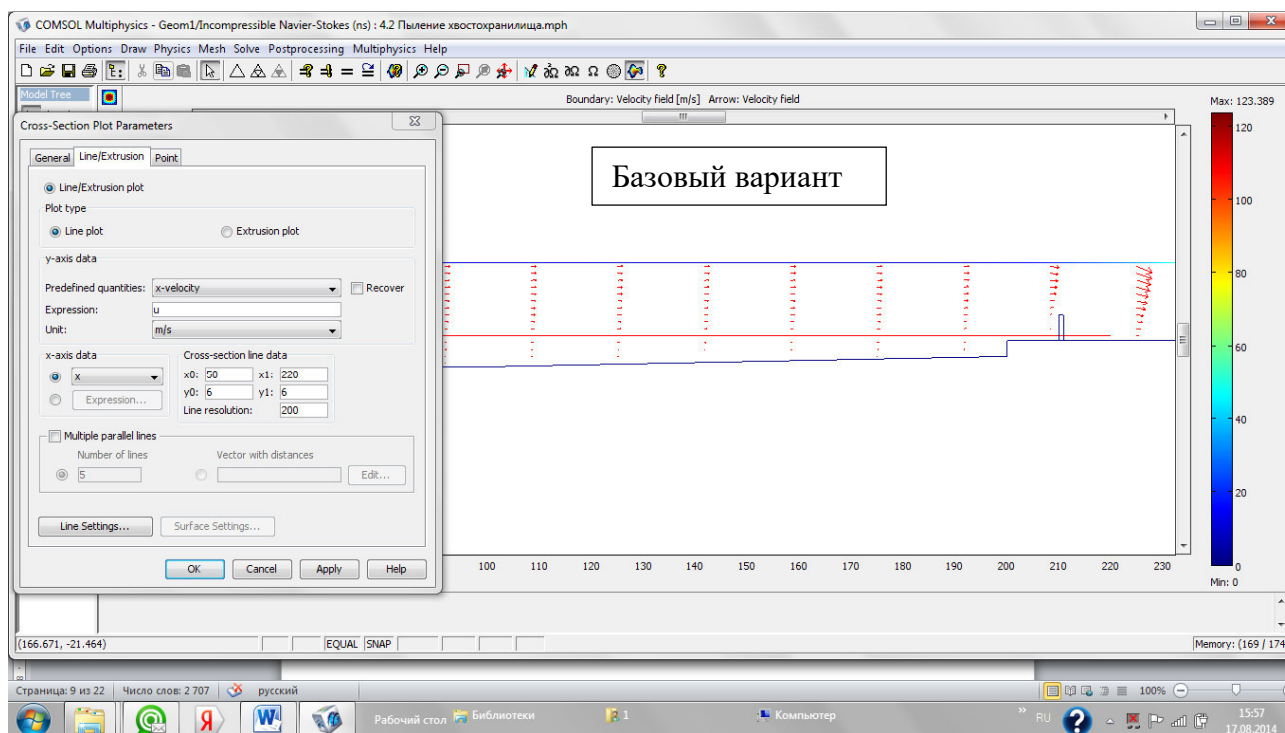


Рисунок 4.1.3 - Вертикальная скорость воздушного потока вдоль песчаного пляжа в сравниваемых вариантах

Далее выполним анализ фактора влияния защитного ветрового экрана, как наиболее часто используемого на практике технического решения. Необходимо установить, не приведет ли предлагаемый нами вариант формирования водохранилища к ухудшению условий осаждения пыли при использовании ветровых экранов?

На рисунке 4.1.4 представлены сравниваемые модели. В отличие от моделей на рисунке 4.1.1 в данных моделях в координате (210; 5) установлен ветровой экран.



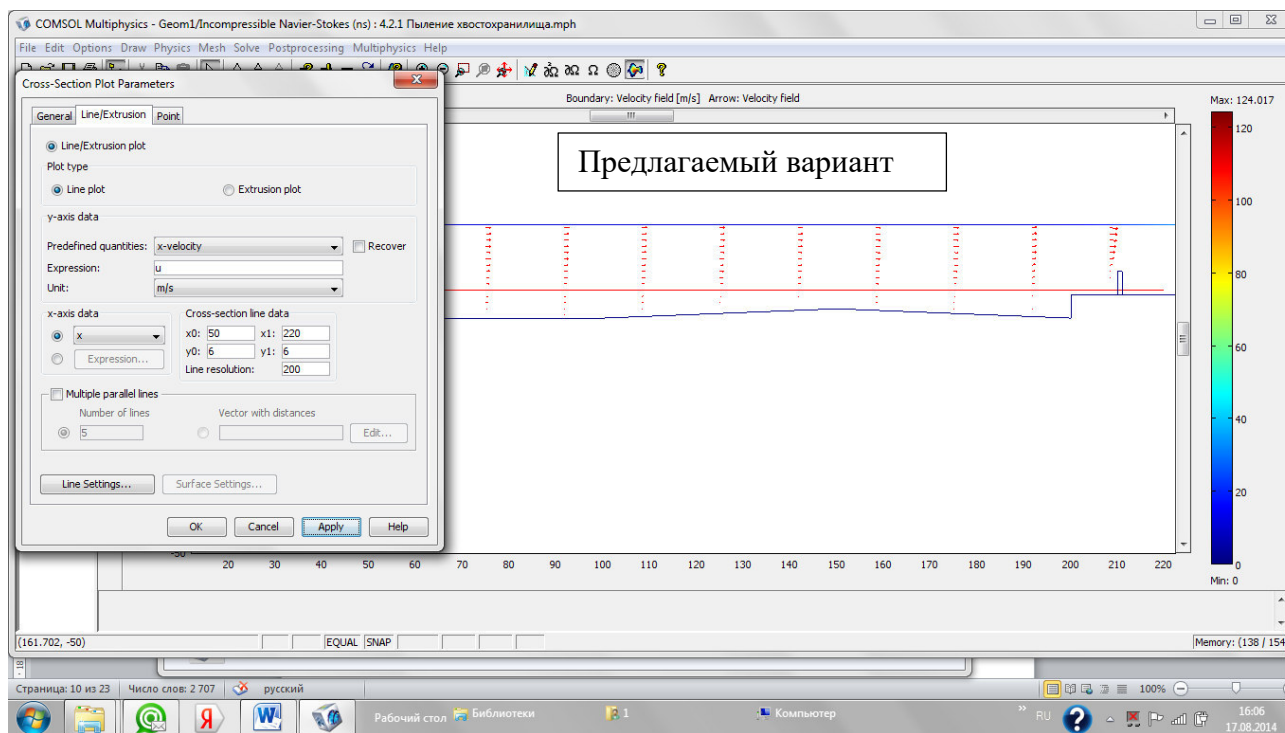
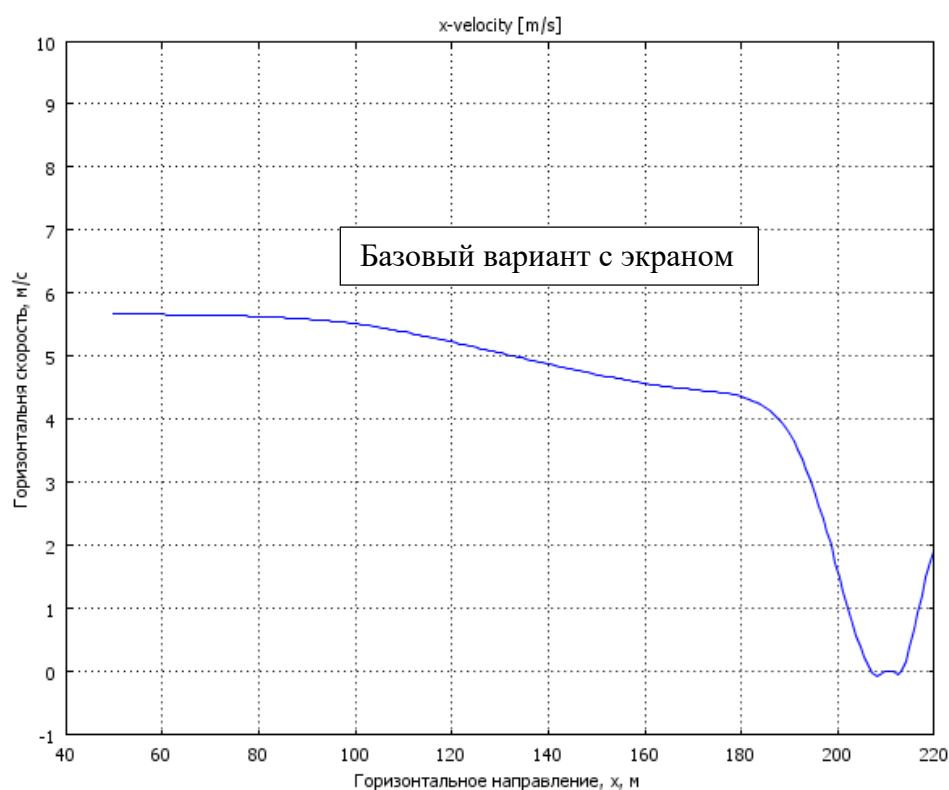


Рисунок 4.1.4 - Моделирование скорости воздуха на пляже с применением ветрового экрана базовом и предлагаемом технологических вариантах

На рисунке 4.1.5 представлены эпюры горизонтальных скоростей в сравниваемых вариантах. Существенного различия в направлениях и значениях скоростей нет.



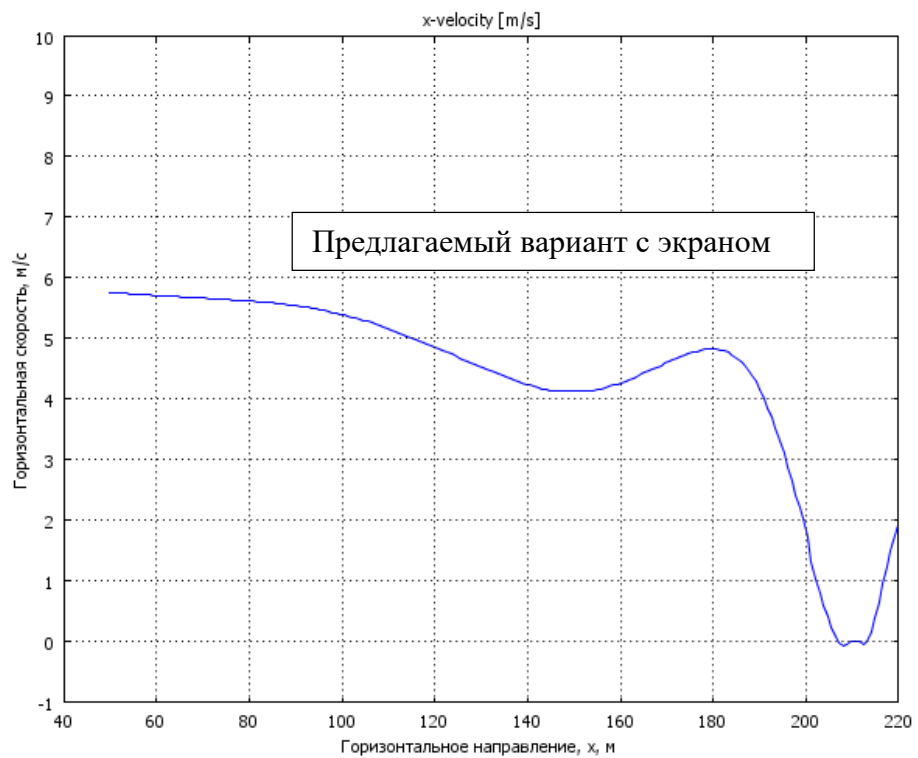


Рисунок 4.1.5 – Горизонтальная скорость воздуха при наличии экрана

На рисунке 4.1.6 представлены эпюры вертикальных скоростей. Базовый и предлагаемый варианты имеют существенное различие в эпюрах скоростей.

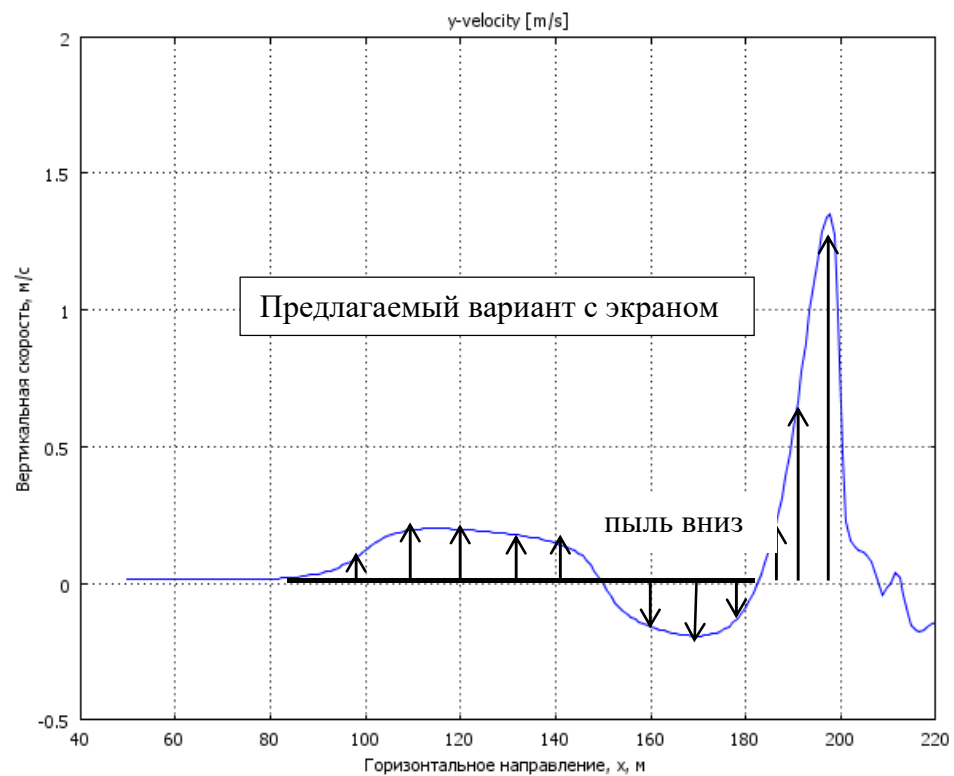
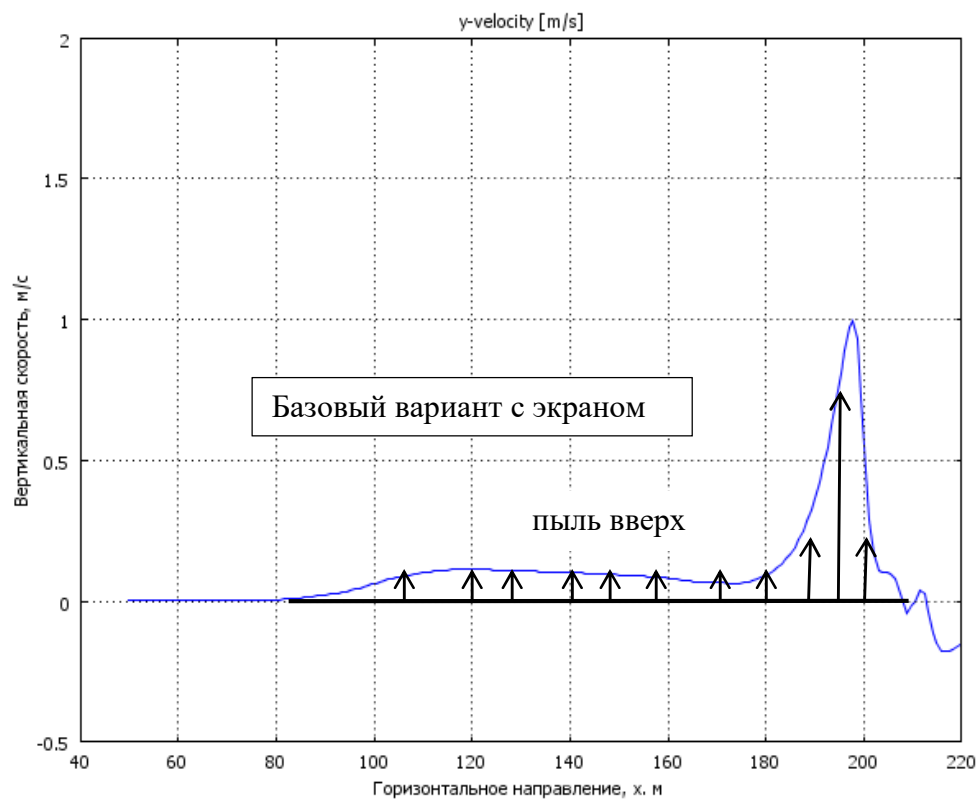


Рисунок 4.1.6 – Вертикальная скорость воздуха при наличии экрана

В предлагаемом варианте имеется участок скоростей с направлением скорости вниз. Таким образом, эффект осаждения пыли потоком,

направленным вниз срабатывает в обоих случаях: при наличии и отсутствии ветрового экрана.

4.2 Анализ процесса осаждения пылевых частиц на выходе из хвостохранилища

Аэродинамическая ловушка, образованная в результате направленного уклона поверхности пляжа в направлении в береговой дамбе должна обеспечивать осаждение твердых минеральных частиц пыли, размеры которых изменяются от 10 мкм и до 1 мм. Необходимо обосновать такие геометрические параметры ловушки, в том числе длину прибрежной части и угол наклона поверхности, при которых будет исключен вылет пылевых частиц за пределы хвостохранилища.

На рисунке 4.2.1 показана модель поперечного сечения пляжа и в виде горизонтальных линий, исследуемые сечения на предмет эюры скоростей.

Для вертикальных скоростей (рис. 4.2.2) выполняется отмеченная ранее закономерность о формировании направленного воздушного потока вниз на поверхности пляжа. Чем выше расположено рассматриваемое сечение, тем больше скорость нисходящего потока. Эюра горизонтальных скоростей имеет особенность – скорость на входе в прибрежный уклон все же немного понижается, что также является положительным фактором с точки зрения осаждения пыли.

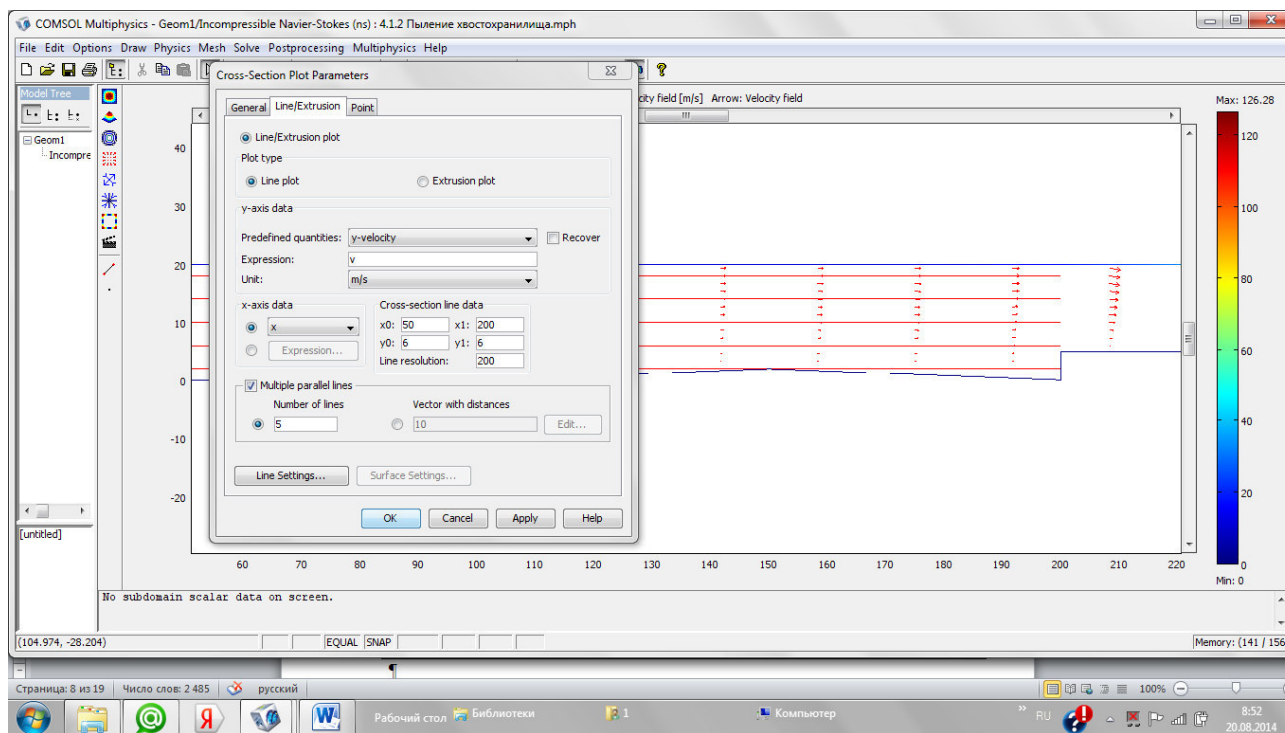


Рисунок 4.2.1 – Моделирование скоростей в горизонтальных сечениях

Граничные условия задачи использованы такие же, как в разделе 4.1.

На рисунке 4.2.2 и 4.2.3 показаны эюры скоростей в сечения над пляжем.

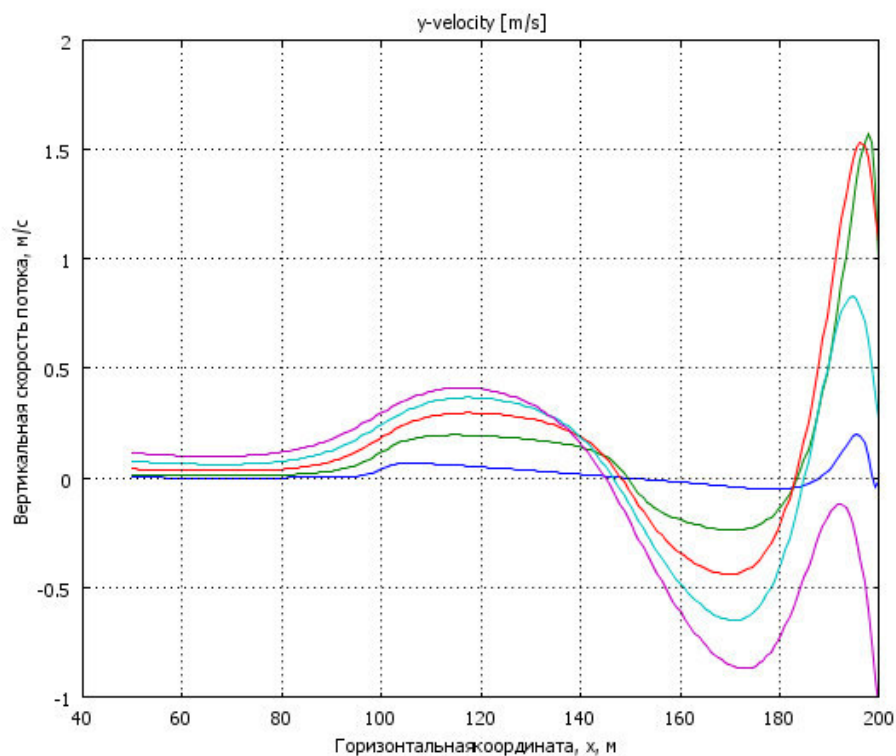


Рисунок 4.2.2 – Эпюра вертикальных скоростей в различных сечениях

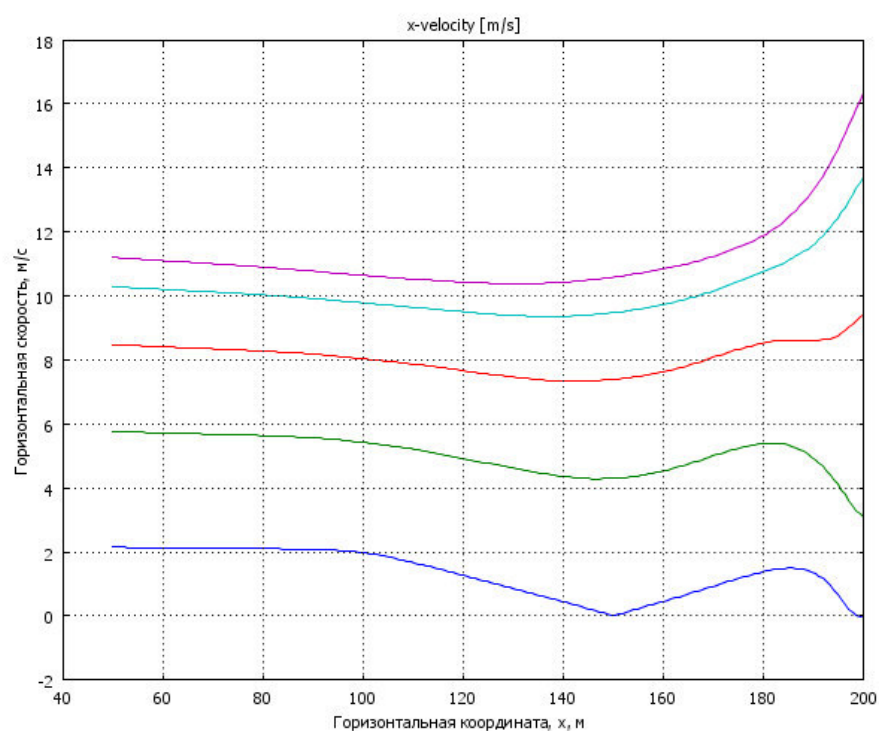


Рисунок 4.2.3 – Эпюра горизонтальных скоростей в различных сечениях

На рисунке 4.2.4 показано направление исследуемого вертикального сечения потока.

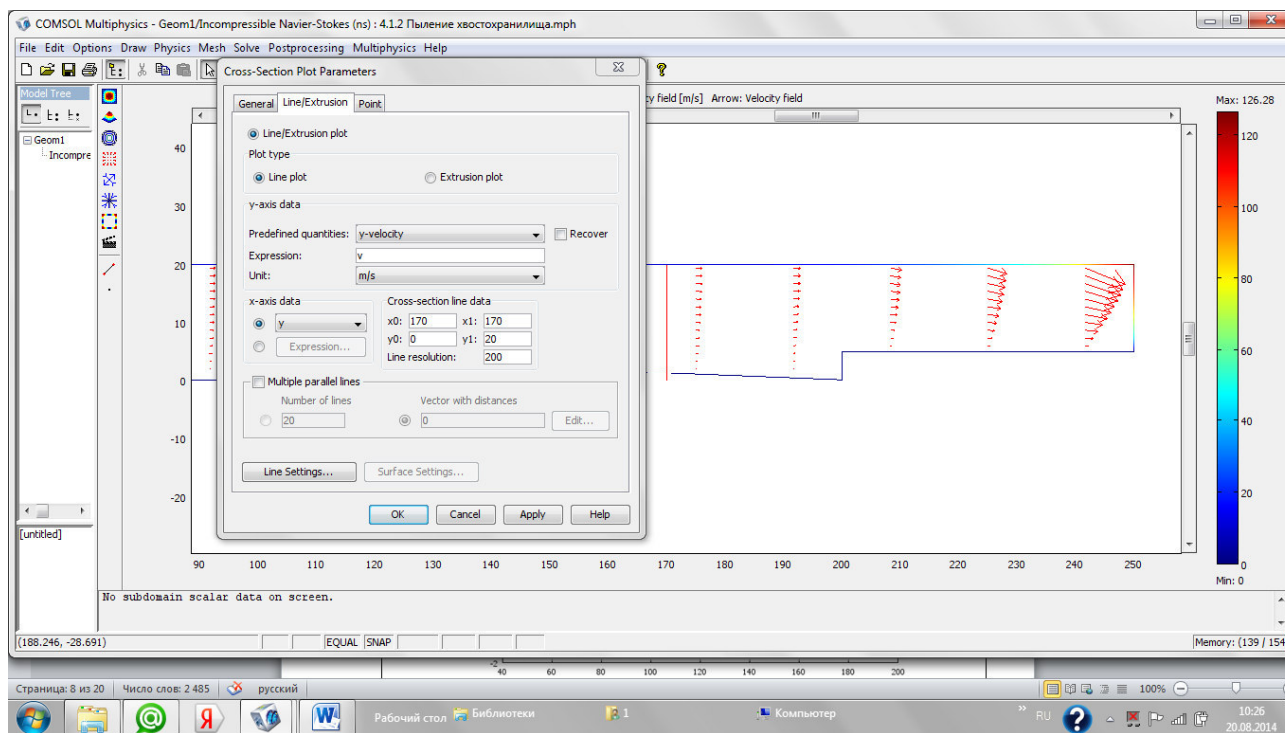


Рисунок 4.2.4 –Исследуемое вертикальное сечение воздушного потока

На рисунке 4.2.5 показано распределение нисходящей вертикальной скорости по высоте потока. На самой поверхности пляжа скорость в соответствии с граничными условиями задачи равна нулю, а с высотой возрастает. В последующих расчётах, с некоторым запасом, примем, что средняя скорость нисходящего потока составляет 0,3 м/с.

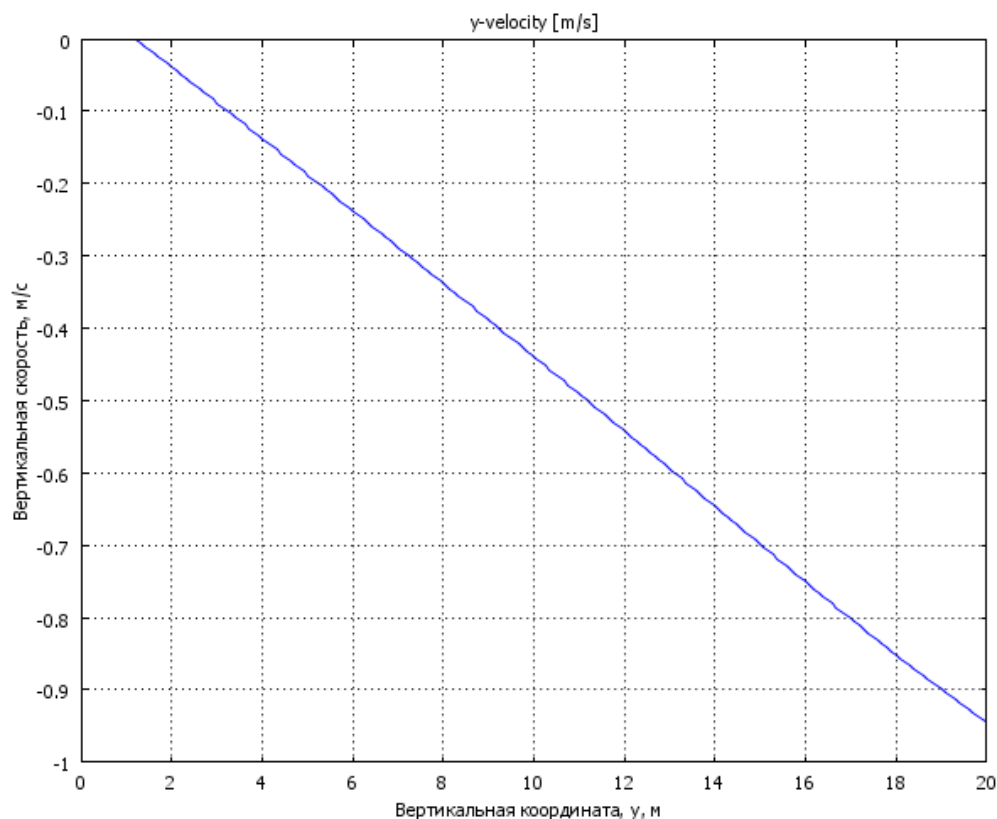


Рисунок 4.2.5 – Вертикальная скорость потока над пляжем

Далее рассмотрим закономерности движения частицы в потоке воздуха. Аэродинамическая сила при числах Рейнольдса менее единицы находится по формуле Стокса. В рассматриваемом случае числа Рейнольдса более 100 и поэтому принимаем квадратичный закон для силы сопротивления, в соответствии с которым сила пропорциональна динамическому напору. Запишем уравнение движения частицы в горизонтальном и вертикальном направлениях. В соответствии со вторым законом Ньютона, соответственно, имеем

$$m \frac{dv_x}{dt} = -F_{ax} ; \quad (4.2.1)$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = mg - F_{ay} , \quad (4.2.2)$$

где m – масса частицы; $m = \rho_2 \frac{\pi d^3}{6}$;

d – диаметр частицы;

ρ_2 – плотность частицы, для кварцита $\rho_2=3300$ кг/м³;

V_x и V_y – горизонтальная и вертикальная скорости частицы в воздушном потоке;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/с²;

F_{ax}, F_{ay} – аэродинамическая сила потока:

$$F_{ax} = \frac{c\rho_1[V_x - U_x(x,y)]^2}{2} S_m; \quad (4.2.3)$$

$$F_{ay} = \frac{c\rho_1[U_y(x,y) - V_y]^2}{2} S_m \quad (4.2.4)$$

$U_x(x, y)$ и $U_y(x, y)$ – горизонтальная и вертикальная составляющая скорости воздуха в общем случае;

C – коэффициент аэродинамического сопротивления, для шероховатой частицы $C=1,1$;

S_m – миделево сечение частицы, $S_m = \frac{\pi d^2}{4}$;

ρ_1 – плотность воздуха, $\rho_1=1,18$ кг/м³.

Рассмотрим случай, когда скорость частицы на входе в зону осаждения была равна скорости воздушного потока. Будем также считать, скорость воздуха в горизонтальном направлении над местом осаждения величина постоянная. Тогда из уравнения (4.2.1) следует, что участок длиной L , частица преодолевает за время:

$$t = \frac{L}{U_x(x,y)} \quad (4.2.5)$$

Далее рассмотрим случай вертикального перемещения частицы, при условии, что скорость воздуха совпадает с направлением действия силы тяжести, то есть

$$mg > 0; \quad U_y(x, y) > 0.$$

После разделения переменных из уравнения (4.2.2) с учетом (4.2.4) получим выражение, связывающее скорость частицы в течение времени

$$t = \int_{V_0}^{V_y} \frac{dV_y}{g - \frac{c\rho_1[\overline{U}_y - V_y]^2}{2m} S_M} \quad (4.2.6)$$

где V_0 – вертикальная составляющая скорости частицы в начальный момент времени;

$\overline{U}_y$ – скорость воздуха в вертикальном направлении

Интеграл (4.2.6) является табличным, который приводится к виду

$$t = \frac{2m}{c\rho_1 S_M} \int_{(\overline{U}_y - V_0)}^{(\overline{U}_y - V_y)} \frac{d(\overline{U}_y - V_y)}{(\overline{U}_y - V_y)^2 - \left(\sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}}\right)^2} \quad (4.2.7)$$

В результате интегрирования и с учетом принятых обозначений получим

$$t = \frac{1}{2c} \sqrt{\frac{2m}{\rho_1 S_M g}} \ln \left| \frac{\left(\overline{U}_y - V_y - \sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}}\right) \left(\overline{U}_y - V_0 + \sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}}\right)}{\left(\overline{U}_y - V_y + \sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}}\right) \left(\overline{U}_y - V_0 - \sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}}\right)} \right| \quad (4.2.8)$$

Введем обозначения:

$$U_0 = \sqrt{\frac{2mg}{\rho_1 S_M}} = \sqrt{\frac{2\rho_2 \frac{\pi d^3}{6} g}{\rho_1 \frac{\pi d^2}{4}}} = \sqrt{\frac{4dg\rho_2}{3\rho_1}};$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{2m}{\rho_1 S_M g}} = \sqrt{\frac{2\rho_2 \frac{\pi d^3}{6}}{\rho_1 \frac{\pi d^2}{4} g}} = \sqrt{\frac{4d\rho_2}{3g\rho_1}},$$

с учетом, которых, вместо (4.2.8) имеем более компактную форму записи

$$t = \frac{t_0}{2C} \ln \left| \frac{(\overline{U}_y - V_y - U_0)(\overline{U}_y - V_0 + U_0)}{(\overline{U}_y - V_y + U_0)(\overline{U}_y - V_0 - U_0)} \right| \quad (4.2.9)$$

Из уравнения (4.2.8) после преобразований найдем выражение для скорости вертикального движения частицы

$$V_y = \frac{(\overline{U}_y + U_0) \frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - (\overline{U}_y - U_0) \exp(-2C \frac{t}{t_0})}{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - \exp(-2C \frac{t}{t_0})} \quad (4.2.10)$$

Наконец, искомое расстояние, на которое переместится частица за время горизонтального перемещения t , вычисляется интегрированием

$$y = \int_0^t \left(\frac{(\overline{U}_y + U_0) \frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - (\overline{U}_y - U_0) \exp(-2C \frac{t}{t_0})}{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - \exp(-2C \frac{t}{t_0})} \right) dt \quad (4.2.11)$$

После интегрирования (4.2.11) получим

$$y = \frac{(\overline{U}_y + U_0)t_0}{2C} \ln \left| \frac{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} \exp(\frac{2C}{t_0} t) - 1}{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - 1} \right| - \frac{(\overline{U}_y - U_0)t_0}{2C} \ln \left| \frac{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - \exp(-\frac{2C}{t_0} t)}{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - 1} \right| \quad (4.2.12)$$

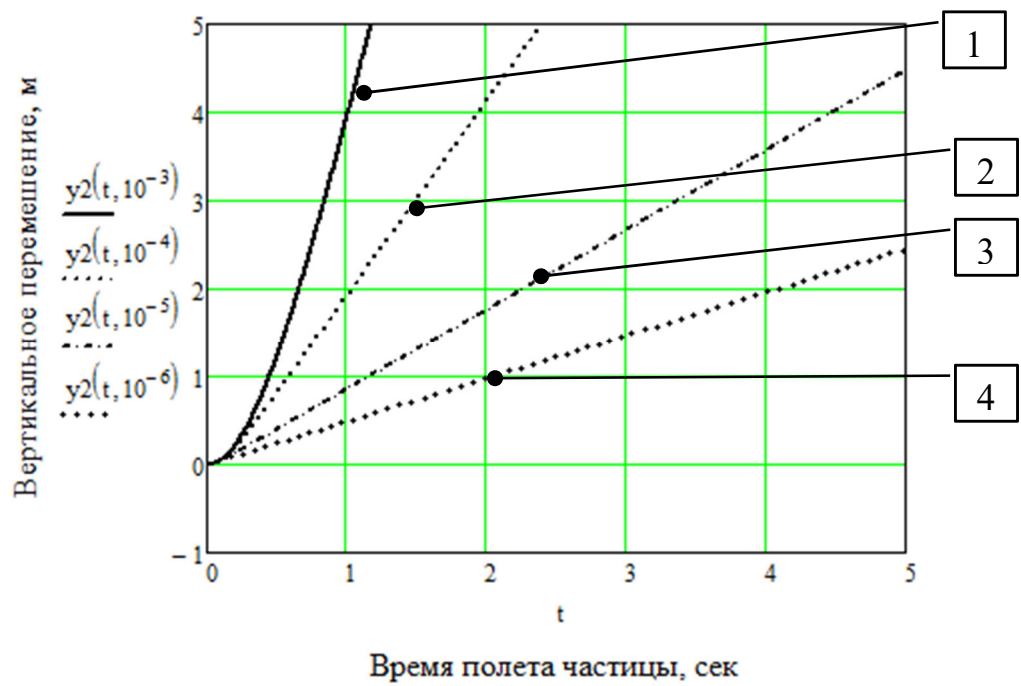
Отметим, что вычисления интеграла (4.2.11) с использованием решателя Mathcad и точной расчетной формулы (4.2.12) дают одинаковые результаты, что подтверждает правильность выполненной операции интегрирования.

На рисунке 4.2.6 представлены результаты расчетов величины горизонтального перемещения частиц, попавших в зону осаждения, как в аэродинамическую ловушку, в зависимости от их размеров. Отметим, что при скорости горизонтального движения частицы равной 5 м/с участок длиной 50 м частица пролетает за 10 сек. На графиках выполнены расчеты в диапазоне времен до 5 сек, при средней скорости вертикального воздушного потока вниз со скоростью 0,3 м/с и при условии, что начальная вертикальная скорость движения частицы равна нулю ($V_0 = 0$). Из графиков следует, что чем крупнее частица, тем за более короткое время полета она осаждается.

Например, частица диаметром 1 мм расстояние, по направлению вниз, равное 3 м преодолевает менее чем за секунду. То есть такие частицы с пляжа хвостохранилища при наличии береговой дамбы высотой 5 м - вылететь, не способны.

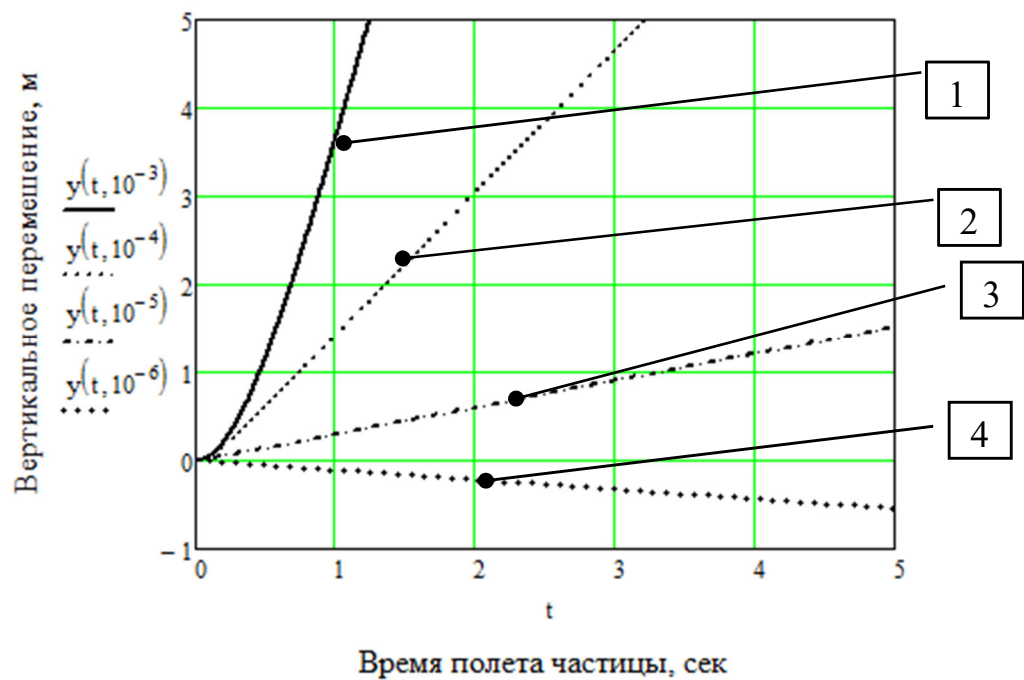
Тот же самый вывод распространяется на частицы диаметром 0,1 мм и 0,01 мм. Эти мелкие частицы останутся на глубине аэродинамической ловушки.

Что касается совсем мелких частиц диаметром 0,001мм (1 мкм), то здесь решающую роль играет скорость и направление вертикальной составляющей потока. Если вертикальная скорость потока направлена вниз, то даже мелкие частицы попадают в ловушку. Однако если вертикальная скорость потока направлена вверх, например, равна (-0,3 м/с), то, как показано на рисунке 4.2.7, картина для мелких частиц качественно меняется, так они устремляются вверх и могут преодолеть заградительную дамбу и далее вылететь за пределы пляжа. Что касается крупных частиц, то на траекторию их движения вертикальная скорость восходящего воздушного потока в аэродинамической ловушке влияния не оказывает.



1) $d=10^{-3}\text{м}$; 2) $d=10^{-4}\text{м}$; 3) $d=10^{-5}\text{м}$; 4) $d=10^{-6}\text{м}$;
 $\rho_1=1,18 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2=3300 \text{ кг/м}^3$; $C=1,1$; $\overline{U}_y=0,3 \text{ м/с}$; $V_0=0$.

Рисунок 4.2.6 – Величина вертикального перемещения частиц в воздушном потоке при вертикальной скорости потока вниз

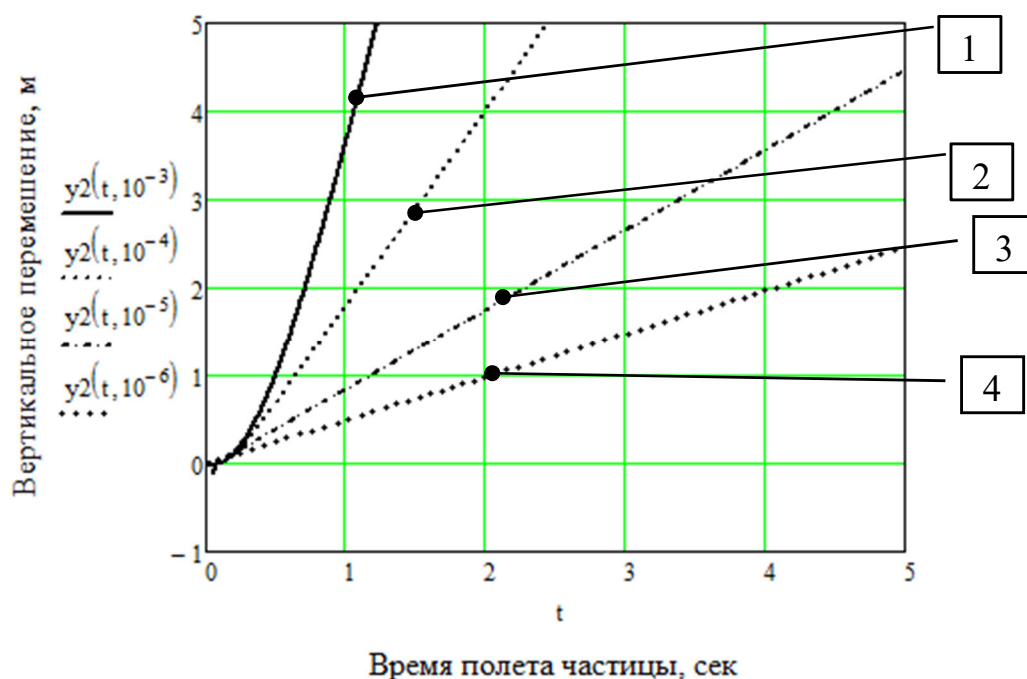


1) $d=10^{-3}\text{м}$; 2) $d=10^{-4}\text{м}$; 3) $d=10^{-5}\text{м}$; 4) $d=10^{-6}\text{м}$;

$$\rho_1=1,18 \text{ кг/м}^3; \rho_2=3300 \text{ кг/м}^3; C=1,1; \overline{U}_y=-0,3 \text{ м/с}; V_0=0.$$

Рисунок 4.2.7 – Величина вертикального перемещения частиц в воздушном потоке при вертикальной скорости потока вверх

Возможна также такая ситуация, когда вектор скорости частицы на стартовом участке аэродинамической ловушки имеет вертикальную составляющую, направленную вверх, т.е. $V_0 < 0$. В этом случае, в принципе, пылевая частица имеет возможность по инерции преодолеть заградительную дамбу. На рисунке 4.2.8 представлены расчеты, когда стартовая скорость частиц на подлете к началу аэродинамической ловушки равна скорости восходящего потока на участке разгона, то есть на левой, относительно рисунка 4.1.4, стороне пляже. Эпюра вертикальных скоростей по обеим сторонам пляжа в различных сечениях представлена на рисунке 4.2.2. Рассмотрим крайний случай, когда на участке разгона частица набрала максимальную вертикальную скорость $V_0 = -0.5 \text{ м/с}$. Различия между рисунками (4.2.6) и (4.2.8) весьма незначительное. Следовательно, можно утверждать, что нисходящий участок пляжа на выходе из хвостохранилища действительно выполняет функцию аэродинамической ловушки, несмотря на то, что на восходящем участке частицы получают восходящую скорость вертикально вверх.

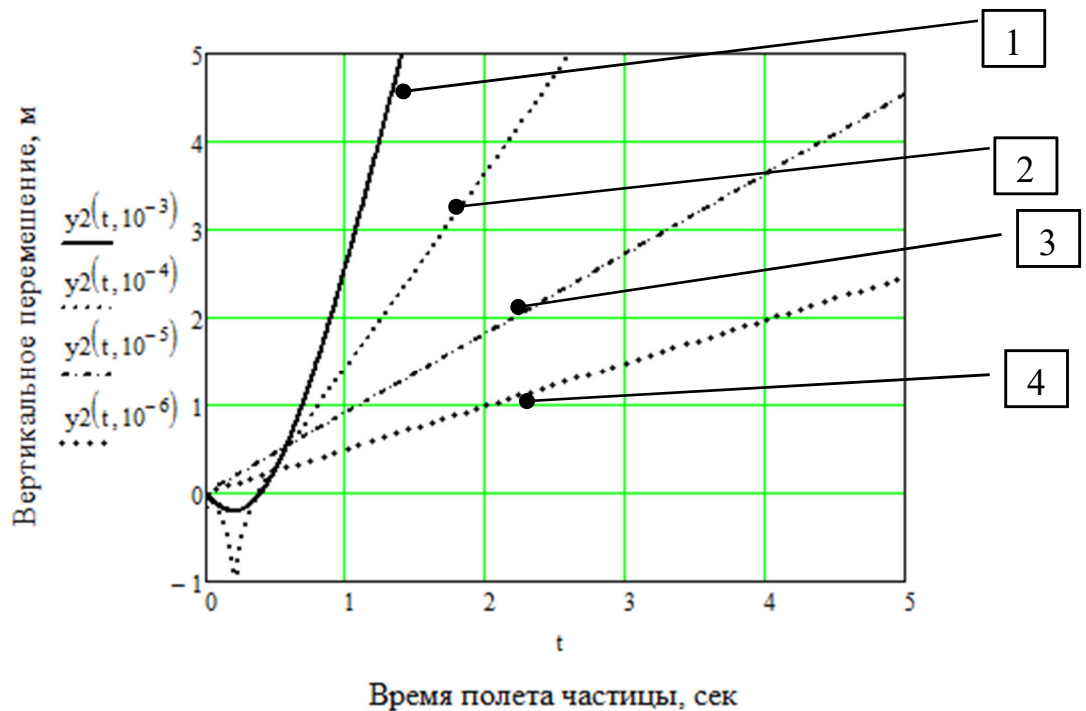


$$1) \quad d=10^{-3}\text{м}; 2) \quad d=10^{-4}\text{м}; 3) \quad d=10^{-5}\text{м}; 4) \quad d=10^{-6}\text{м};$$

$$\rho_1=1,18 \text{ кг/м}^3; \rho_2=3300 \text{ кг/м}^3; C=1,1; \overline{U}_y=-0,3 \text{ м/с}; V_0=-0.5 \text{ м/с}$$

Рисунок 4.2.8 – Величина вертикального перемещения частиц в воздушном потоке при вертикальной скорости потока вверх

Рассмотрим еще один крайний случай, когда начальная скорость восходящего потока предельно высокая и составляет $V_0 = -2,0$ м/с. Как свидетельствуют расчеты, даже в этом случае аэродинамическая ловушка выполняет свое предназначение и улавливает частицы пыли перед ограждающей дамбой. В частности даже мелкие частицы микронного размера (позиция 4 на рисунке 4.2.9) перемещаются вниз, глубина около 2 м через 5 сек горизонтального перемещения.



$$2) \quad d=10^{-3}\text{м}; 2) \quad d=10^{-4}\text{м}; 3) \quad d=10^{-5}\text{м}; 4) \quad d=10^{-6}\text{м};$$

$$\rho_1=1,18 \text{ кг/м}^3; \rho_2=3300 \text{ кг/м}^3; C=1,1; \overline{U}_y=-0,3 \text{ м/с}; V_0=-2,0 \text{ м/с}$$

Рисунок 4.2.9 – Величина вертикального перемещения частиц в воздушном потоке при вертикальной скорости потока вверх

Таким образом, можно утверждать, что участок зоны осаждения длиной 50 м, на котором имеет место уклон сухого пляжа в сторону берега,

по крайней мере, на 3-4 м способен выполнять функцию аэродинамической ловушки и поэтому рекомендуется к практическому использованию. В сочетании с закреплением сухой поверхности естественным или искусственным вяжущим эффект пылеподавления очевидно усиливается.

4.3 Опытное испытание вяжущего состава для нанесения на хвостохранилище

Испытания способа пылеподавления на сухих пляжах хвостохранилища на Стойленском ГОКе проводилось в соответствии с Политикой комбината в области экологии и выполнением экологических программ, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В период летнего времени 2013 года были проведены испытания (Приложение 1), с нанесением разработанного нами вяжущего плавучего состава (далее опытный состав) на основе целлюлозы и глины со следующим содержанием компонент, по массе:

- келовейская глина 85-90%;
- измельченная макулатура 10-15%.

Даная смесь предварительно измельчалась в помольно-смешивающем комплексе модели «ТОР - ПОТОК – 4500». Гранулометрический состав продуктов помола не превышает 0,020 мм. После измельчения в смесь добавляют воду и перемешивают, доводя состав до текучего состояния. Объемное соотношение воды и смеси зависит от метода нанесения на пылящую поверхность. Для метода распыления вяжущим составом объемное соотношение воды к смеси находится в пропорции: 2:1.

Эксперименты проводились на площади 1,0 га в районе плотины защиты отвалов ЦХХ в ОАО "Стойленский ГОК". Распыление вяжущего раствора на пылящую площадь хвостохранилища производилось с воздуха самолетом АН-2.

По программе проведения испытаний выполнены работы по обработке сухих пляжей в районе плотины защиты отвалов. После согласования мест и участков для обработки проведен мониторинг, включающий замеры прочности покрытия после нанесения состава.

В процессе выполнения опытных работ приготовлен рабочий раствор, выполнена заправка самолета необходимым количеством раствора и затем проведена обработка реагентом выбранных участков. В последующем выполнены замеры прочности верхнего слоя с вяжущим покрытием после нанесения раствора.

Измерение прочности производилось по Методике определения ударной прочности. С этой целью на покрытие с различных высот сбрасывали груз - шарик массой 162,5г. В экспериментах фактически находили высоту сбрасывания груза, при которой в месте удара происходит разрушение сплошной корки и при этом обнажается поверхность песка. Показателем ударной прочности является кинетическая энергия удара, при которой происходит разрушение

$$E_k = mgh, \text{ Дж.}$$

Толщину корки измеряли штангенциркулем.

В таблице 4.3.1 представлены результаты замеров:

Таблица 4.3.1 – замеров толщины породной корки и ударной прочности

№ п/п	Толщина корки, мм	Предельная энергия удара, Дж
1	3,1	1,5
2	4,2	1,9
3	3,5	1,7
...		
19	4,5	2,2

В результате обработки статистики получены следующие результаты с доверительной вероятностью 0,95:

1. Толщина образовавшейся корки на всей поверхности в среднем составляет $(4,1 \pm 1)$ мм.

2. Ударная прочность поверхности сухой корки составляет $(1,6 \pm 0,15) \cdot \text{Дж}$.

3. Ударная прочность поверхности увлажненной корки – в среднем $(1,8 \pm 0,15) \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

Для сопоставления полученного результата с устойчивостью слоя под действием ветровых нагрузок нами проведены в лабораторных условиях испытания, в которых на поверхность корки направляли струю воздуха от компрессора. Установили корреляцию, по которой при ударной прочности корки 1 Дж она выдерживает без разрушения воздушный поток со скоростью 20 м/с в течение 3 часов. Однако здесь следует иметь в виду, что даже небольшая парусность или неровность поверхности может привести к отделению корки от поверхности и взметыванию воздушным потоком.

По результатам опытных испытаний установлено, что упрочненная поверхность обработанной части хвостохранилища сохраняет свои свойства с течением времени, по крайней мере, в течение месяца. Устойчивость корки к умеренному ветру сохраняется также после дождей.

Следует отметить, что применение авиации для распыления вяжущего состава имеет преимущество, связанное с возможностью покрытия любым вяжущим составом площади хвостохранилища, сильно удаленной от берега. Это особенно важно, когда приходится обрабатывать широкие сухие пляжи, что бывает при низком уровне зеркала воды в пруду хвостохранилища.

Что касается целесообразности применения авиации, применительно к разработанному нами технологическому варианту (см. рис. 3.2.4 и 3.2.6), то в этом нет большой необходимости, поскольку ширина намывных пляжей не превышает 100 м. В разработанном нами технологическом варианте распыление вяжущего может эффективно осуществляться с помощью передвижных транспортных средств, имеющих в эксплуатации на горном

предприятия или в городском хозяйстве. К ним относятся, например, поливные машины, специальная техника на базе пожарных машин и другие.

При распылении вяжущего состава с применением доступной поливочной техники необходимо решить задачу доставки вяжущего состава на площадь пляжа. Прокачка вяжущего состава через водяной насос недопустима по требованиям эксплуатации насоса. Поэтому следует использовать принцип вытеснения состава через дополнительные емкости, установленные последовательно перед напорным водопроводом.

Возможно также использование эжекционных установок, работающих по принципу отсоса в рабочую струю вяжущего, подготовленного в емкости. На рисунке 4.3.1 представлена эжекционная установка, спроектированная нами и изготовленная в мастерских Стойленского ГОКа. Эжектор содержит конические диффузоры 1, заглушку 2, коаксиальную трубу 3, магистраль для подачи воды 4, камеру смешения 5, канал для подачи вяжущего 6, сопло 7, камеру разгона 8.

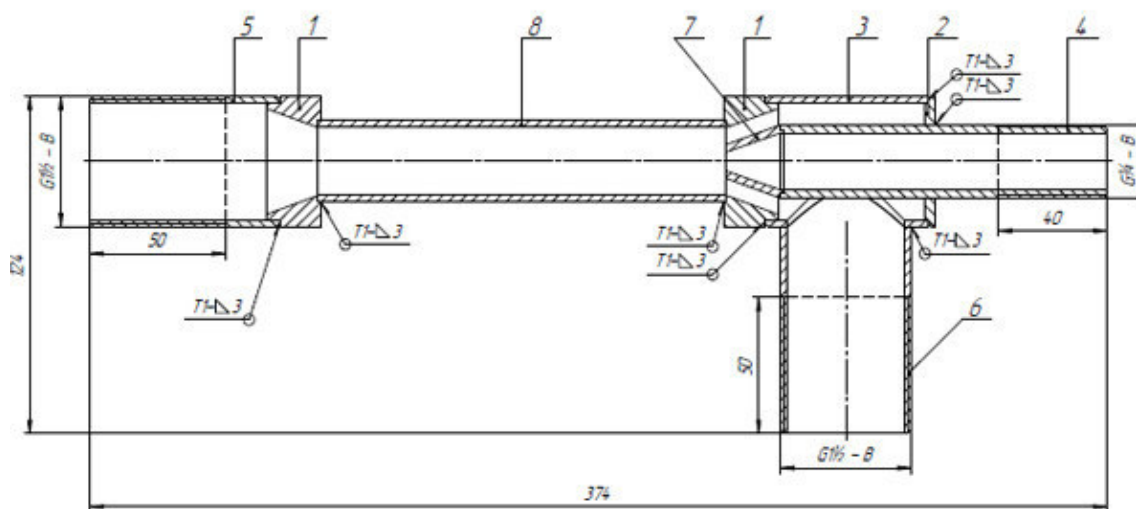


Рисунок 4.3.1 – Эжектор для отсоса вяжущего из емкости

Данная конструкция эжектора испытана летом 2014 года применительно к привязке к пожарному автомобилю, арендованному из филиала «ВГСО Юга и Центра» ФГУП «ВГСЧ». Струя воды из напорного рукава под давлением 40 бар, наклоненная под углом 45° достигает расстояния 65 м и смачивает всю поверхность. Использование эжектора, показанного на рисунке 4.2.1, позволяет осуществить доставку вяжущего на расстояние до 10 м. Как показали испытания, имеет место торможение истекающей струи при ее смешивании с глинистым раствором. Коэффициент эжекции по массе составляет 0,2. Таким образом, при расходе воды 5 л/с емкость с водой 20 м^3 освобождается за один час, при этом на пляж хвостохранилища попадет 2 м^3 вяжущего, которое в свою очередь покрывает слой 500 м^2 толщиной 4 мм. Таким образом, за один технологический цикл при дальности распыления 10 м длина участка вдоль по берегу составила 50 м.

В течение одной рабочей смены такая технология в течение четырех циклов напыления пляжа вяжущим обеспечивает покрытие берега длиной 200 м.

Апробированный метод напыления с помощью эжектора отличается простотой практической реализации и рекомендуется к использованию. В тоже время следует иметь в виду, что согласно разработанному нами технологическому варианту заполнения намывного хвостохранилища, описанному в разделе 3.3, береговая часть пляжа выполняет функцию гидравлической "ловушки", собирающей липкие илистые частицы, не выпуская их в глубину пруда. Необходимость в использовании вяжущего для береговой зоны возникает в случае недостатка в этой зоне илистого материала, что может иметь место по различным причинам. Вполне возможен случай, когда необходимость в использовании дополнительного количества вяжущих и скрепляющих веществ отпадает.

4.4 Технико-экономическая оценка полученных результатов

Как уже отмечалось, пыление хвостохранилища создает экологическую нагрузку на окружающую среду, приводит к ухудшению качества окружающих земель и сельскохозяйственных угодий.

Ущерб от воздействия хвостового хозяйства на окружающую среду является комплексной величиной и представляет собой потери и затраты от техногенного воздействия объекта на компоненты природной среды, социальные условия жизни и здоровья населения.

Поскольку с 1991 года на территории РФ введены платежи за загрязнение окружающей среды, то плата за «выбросы» в атмосферный воздух, «сбросы» в поверхностные водные объекты загрязняющих веществ и размещение отходов может рассматриваться как одна из форм компенсации ущерба.

В современных условиях плата за загрязнение окружающей природной среды производится на основании Федерального закона РФ от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Постановления правительства РФ от 27 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия», постановление от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления»

Расчет за пыление хвостохранилища ведется согласно Приказа от 5 апреля 2007 г. № 204 "Об утверждении формы расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду и порядка заполнения и представления формы расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду" (в ред. Приказа Ростехнадзора от 27.03.2008 № 182), откуда плата за выбрасываемую неорганическую пыль составляет 21 руб./т ($70-20\% \text{ SiO}_2$) и 13,70 руб./т (до $20\% \text{ SiO}_2$), соответственно.

В Центральном-Черноземном районе установлены следующие нормативные значения, используемые в расчетах:

- коэффициент экологической ситуации - 1,5;
- коэффициент экологической значимости - 1,5;
- дополнительный коэффициент при выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов - 1,2;
- коэффициент к нормативу платы, применяемый в соответствии с федеральным законом о федеральном бюджете на текущий финансовый год - 2,33.

Рассмотрим вариант расчета, когда общий объем образующейся пыли равен 1206,8 т/год (70-20% SiO₂) и 99,3 т/год (до 20% SiO₂).

Следовательно, расчетная годовая плата предприятия за выбросы пыли с учетом приведенных коэффициентов составляет:

$$(1206,8 \text{ т/год} * 21 + 99,3 \text{ т/год} * 13,7) * 2,33 * 1,5 * 1,2 \cong 112 \text{ тыс. руб./год}$$

Основная статья затрат приходится на переселение людей из санитарно-защитной зоны, которая в настоящее время составляет 300 м. Размер зоны учитывает содержания пыли с концентрацией максимально-разовой не более 0,3 мг/м³. Сумма годовых затрат на переселение составляет порядка 10 млн. руб. таким образом, затраты на переселение на два порядка превосходят платы за выбросы неорганической пыли. Суммарные затраты по указанным позициям составляют 10112 тыс. руб.

Отметим, что современная тенденция к величине плат за вредные выбросы такова, что они постепенно увеличиваются, что, впрочем, вряд ли способно компенсировать все экологические убытки от загрязнения окружающей среды, стоимость которых не поддается объективному расчету.

Тем не менее, при расчете экономической эффективности главным ориентиром для акционерного общества являются экологические платы, и соответственно технологические мероприятия по состоянию окружающей

среды должны ориентироваться на сокращение выбросов вредных веществ и соответствующее сокращение материальных затрат.

В предлагаемом нами технологическом варианте дополнительные затраты обусловлены необходимостью удлинения распределительных пульпопроводов и в случае необходимости, нанесением вяжущих веществ на поверхность пылящих пляжей. Удлинение пульпопроводов приводит к увеличению материальных затрат на приобретение дополнительного количества труб, а также на сооружение опор, на которых эти пульпопроводы будут устанавливаться. Так, например, при удлинении распределительного пульпопровода на 50 м в направлении от береговой дамбы в сторону хвостохранилища необходимо установить четыре поддерживающие опоры со следующими расстояниями между ними:

$$7\text{м} + 12\text{м} + 12\text{м} + 12\text{м} + 7\text{м} = 50\text{ м}$$

Приведенные значения расстояний соответствуют рекомендациям интернет-источника [http://www.ktto.com.ua/calculation/opory_trub].

Выполним оценочный расчет применительно к условиям Стойленского ГОКа, имеющего пылящего пляжа хвостохранилища ПЗО (плотина защиты отвалов) длиной 2020 м. Вдоль берега установлены 58 шт пульповыпусков на расстоянии 35 м друг от друга. В соответствии с предлагаемым технологическим вариантом каждый пульповыпуск следует удлинить на 50 м., следовательно, потребуется дополнительное количество труб длиной 2850 м. Потребуется также приобретение опор в количестве 232 шт.

Стоимость одного погонного метра стальной трубы диаметром 325 мм с толщиной стенки 6 мм составляет 1917 руб. Тогда затраты на приобретение всего необходимого количества составляют

$$1917 \text{ руб./п.м.} \cdot 2850 \text{ м} = 5463 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость одной опоры составляет 8200 руб. Тогда затраты на приобретение всего количества опор составляют:

$$8200 \text{ руб} \cdot 232 = 1902 \text{ тыс. руб.}$$

При учете затрат на монтажные работы, бригадой 5 человек, в течение двух месяцев, удлинение пульпопроводов вместе с установкой опор составит:

$$28500 \cdot 5 \cdot 2 = 285\,000 \text{ руб./месяц}$$

Затраты на производство и нанесение дополнительного количества вяжущего на основе келовейской глины и измельченной макулатуры – не более 200 тыс. руб. в год.

Таким образом суммарные затраты в первый год реализации варианта составят:

$$5463 + 1902 + 285 + 200 = 7\,850 \text{ тыс. руб.}$$

Экономическая отдача в первом году за счет сокращения плат за выбросы пыли на 80% составит:

$$10112 \cdot 0,8 - 7850 = 239,6 \text{ тыс. руб.}$$

За второй и последующие годы ежегодная экономия будет больше, так не надо удлинять пульповоды и исключается необходимость в дополнительном вяжущем веществе:

$$10112 \cdot 0,8 = 8089,6 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет ожидаемого экономического эффекта выполнен по минимуму ожидаемых показателей. Дополнительными факторами экономической эффективности являются следующие:

1. Повышается устойчивость заградительной дамбы, которая в предложенном технологическом варианте испытывает меньшие по величине сдвиговые и нормальные напряжения, направленные на опрокидывание. Причиной повышенной устойчивости является смещение центра тяжести прибрежной части пляжа от берега в глубину пруда.
2. Повышение длительности функционирования заградительной дамбы перед очередным увеличением высоты, что требует больших трудозатрат при работе грузового транспорта, бульдозеров и экскаваторов. По существу за счет смещения центра тяжести намывного пляжа в глубину пруда увеличивается почти в 3 раза объем загрузки хвостами с одного положения магистрального пульповода. Однако при этом должна быть

предусмотрена возможность подачи пульпы по распределительному трубопроводу под острым углом, образованным прямоугольником с высотой 5 м и основанием 50 м.

Таким образом, предлагаемый технологический вариант пылеподавления представляется экономически целесообразным и может быть рекомендован к практической реализации (Приложение 2).

4.5 Выводы

4.5.1 Выполнено компьютерное моделирование воздушных потоков в прибрежной части намывного хвостохранилища и выполнен сравнительный анализ базового технологического варианта, с подачей пульпы на границе с оградительной дамбой, и предлагаемого – подачей на удалении 50 м от дамбы. Установлено, что в предлагаемом варианте формирования поверхности сухого пляжа в прибрежной зоне формирует вертикальный воздушный поток, направленный вниз, выполняя функцию аэродинамической ловушки для частиц пыли.

4.5.2 Выполнено также моделирование воздушных потоков с применением воздушных экранов на поверхности береговой зоны. Установлено, что наличие экранов практически не изменяет эпюру скоростей потока, в прибрежной части, при реализации предложенного технологического варианта.

4.5.3 Описана математическая модель движения частиц пыли в воздушном потоке на выходе из пляжа хвостохранилища, в зависимости от эпюры горизонтальной и вертикальной скорости воздушного потока. Получены аналитические зависимости описывающие скорость частиц различной массы и размеров, с учетом силы веса и силы сопротивления воздуха. Установлено, что технологически обоснованная аэродинамическая ловушка в прибрежной части пляжа способна осаждать на своей поверхности частицы пыли, содержащиеся в горизонтальном воздушном потоке на выходе из хвостохранилища.

4.5.4 Проведены испытания с нанесением опытного состава вяжущего на основе целлюлозы и глины, которые подтвердили способность закрепления поверхности песчаного пляжа и исключения его пыления. Апробирован способ доставки вяжущего на поверхность сухого пляжа с помощью авиационной техники, что рекомендуется для широких площадей пыления. Предложен и апробирован способ доставки вяжущего на поверхность сухого пляжа с помощью поливальной техники и эжектора, захватывающего вяжущий состав из емкости и направляющие его в струю воды на поверхность пляжа в прибрежной зоне.

4.5.5 Метод напыления поверхности пляжа с помощью эжектора рекомендуется к использованию в случае недостатка илистого материала, концентрируемого в прибрежной части в соответствии с предложенным технологическим вариантом.

4.5.6 Выполнен оценочный расчет технико-экономической эффективности предложенного технического решения, который показал, что основные затраты при реализации способа связаны с удлинением распределительных пульпопроводов и установке их на удерживающие опоры. Экономическая отдача складывается из сокращения экологических плат за выбросы пыли и затрат на переселение населения из зоны повышенной концентрации пыли. Дополнительный эффект заключается в повышении устойчивости заградительных дамб и увеличении периода их наращивания по высоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение технической задачи формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам, что имеет значение для снижения загрязнений воздушного бассейна и территорий горнодобывающего региона.

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

1. Обоснована возможность применения комплексных связующих веществ для закрепления поверхности сухих пляжей в массовой пропорции – 1 часть бумажных отходов и 7...10 частей глины, распределяемых в хвостовой пульпе и аккумулируемых при намыве на площади наклонных сухих пляжей.

2. Разработано технологическое мероприятие для нанесения на поверхность пылящего пляжа комплексных связующих веществ с использованием напорной струи воды и инжектора, обеспечивающих разброс связующих на расстояние 10...15 м от заградительной дамбы.

3. Обоснован метод применения минеральных связующих составов в виде карбонатов кальция, магния и глинистых пород, содержащихся в примесях исходной железной руды и хвостовой пульпы в количестве порядка 5 %, при их аккумуляции в процессе намыва вдоль уклонной приграничной поверхности пляжа.

4. Выполнено компьютерное моделирование перемещения воздушных потоков на выходе из пляжа хвостохранилища в зависимости от угла уклона в пределах 3 – 6 град. поверхности пляжа, что позволило установить наличие и величину вертикальной составляющей скорости части исходящего воздушного потока, направленной вниз к поверхности приграничной зоны пляжа перед заградительной дамбой.

5. Описаны аналитическая модель движения частиц пыли в воздушном потоке на выходе из хвостохранилища с учетом вертикальной составляющей скорости ветра и условия осаждения пыли в приграничной части пляжа в зависимости от горизонтальной скорости исходящего ветрового потока, массы и размеров частиц. Установлено, что частицы хвостовой пыли диаметром 20 мкм и более на нисходящем участке движения воздушного потока оседают на приграничной поверхности наклонного пляжа перед заградительной дамбой.

6. Разработаны Методические рекомендации по проектированию намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам, предусматривающего удлинение на 50 м распределительных пульповодов в глубину пруда-отстойника с возможностью формирования уклонных пляжей для накопления в приконтурной зоне минеральных связующих веществ. Рекомендации приняты к использованию на Стойленском горно-обогатительном комбинате.

7. Выполнен анализ факторов экологической и экономической эффективности, подтверждающий целесообразность практического использования на горно-обогатительных комбинатах разработанной технологической схемы заполнения намывного хвостохранилища.

Литература

1. Адушкин В.В. Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду. –Горный журнал, №4, 1996.
2. Аксенов С.Г., Пятков В.И., Бондаренко В.Я., Иванов А.А., Филоненко А.С., Ранева Л.М. Учебное пособие о хвостовых хозяйствах, НОУ «Гидротехник», 2010 г. – 90 стр. (издание 4).
3. Аксенов С.Г. Основные принципиальные положения конструирования ограждающих сооружений хвосто- и шламохранилищ//Белгород: ГУПВИОГЕМ. 1997. -№ 1. - С. 144-150.
4. Аксенов С.Г., Жабовский В.П. Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы//Белгород: ГУПВИОГЕМ. 1997. - № 1. - С. 127-132.
5. Андерсон С.Р., Халлет Б. Общая модель переноса частиц ветром - Вашингтон, 1981. 190 с.
6. Бересневич П.В. «Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ» М., Недра, 1993.-`128с.
7. Бруев В.П. Михайловский ГОК наращивает темпы производства. - Горная промышленность. - 2003. - № 5.
8. Борисов В.Г. Исследование закрепления поверхности хвостохранилищ полимерами.// Вентиляция и очистка воздуха. – М., 1972. – С. 150-158.
9. Бютнер Э.К. Динамика поверхностного слоя воздуха. Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 158 с.
10. Винников В.А., Каркашадзе Г.Г. Гидромеханика. Учебник для вузов. Изд.: М.: Московский государственный горный университет. 2003 - 304 с.
11. Гальперин А.М., Фёстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. М., МГГУ, 1997. 534с.

12. Гальперин А.М., Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов: Учебное пособие для вузов: В 2 т. М.: Изд. Московского государственного горного университета, 2006.
13. Гальперин А.М. Щербакова Е.П. Экологические аспекты преобразования горнотехнических ландшафтов. - М., Горный журнал, 2004, № 12, с. 101-103.
14. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Кириченко Ю.В. Инженерно-геологическое и геотехническое обеспечение возведения, консервации и рекультивации гидроотвалов и хвостохранилищ (анализ 30-летнего опыта)// Геоэкология. 2000. № 4. С. 307-315.
15. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Круподеров В.С., Киянец А.В. Гидрогеомеханический мониторинг и освоение техногенных массивов на горных предприятиях. - М.: МГГУ, ГИАБ, 2012, отдельный выпуск, С. 44-57.
16. Гальперин А.М., Ермолов В.А. Геологическое обеспечение управления качеством сырья при освоении техногенных массивов на горных предприятиях. с.77-97, 2011г.
http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/MiningWeek/Galperin_ng_2011.pdf
17. Глазунов Г. П., Гендуков В.М. О структуре почво-воздушного потока при ветровой эрозии. Основы математического моделирования явления./ Вестник московского университета Серия №17. Почвоведение 1999- № 1. с. 32-37.
18. Горелов В. Д. Расчет величины запыления земель, прилегающих к отвальному массиву // Горный журнал. - М., 1990, № 7. — с. 52-54.
19. Горлов В.Д., Горлов Ю.В. Оценка социально-экологических издержек от запыленных сельхозугодий, прилегающих к отвальному массиву// Горный журнал. - М., 1999, №7. - с. 99-101.
20. Григорьянц Р.Е., Горяев М.И. Новый способ закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ с применением алкилсиликонатов натрия

- Труды науч.-исслед. и проект, ин-та по обогащению руд цветных металлов «Казмеханобр», 1974, сб. 13, с. 79-82.
21. Гулан Е.А. Автореферат дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук на тему "Оценка воздействий хвостохранилищ на окружающую среду криолитозоны: (на примере Норильского промышленного района)", специальность 25.00.36 – Геоэкология.- М. 2005.
22. Демин А. М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. -М. Недра. 1973. 232.
23. Долгилевич М.И. Пыльные бури и агромелиоративные мероприятия / Научные труды ВЛСХНИЛ - М. Колос 1978. - 159 с.
24. Доровских Н.А., Литвинцева О.В., Разработка экологически безопасных методов закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ "Маркшейдерия и недропользование" № 5 - 2010г.
- 25.. Жиленков В.Н. Новые эффективные средства пылеподавления на отвалах промышленных отходов // Экология промышленного производства 2002. № 3 с. 23-29.
26. Загузов И.С. Основы аэрогидромеханики. Часть II. Учебное пособие. Самара: «Универс-групп». 2005. -140 с.
27. Защита окружающей среды от техногенных воздействий под ред. Невской Г. В. М.: МГОУ, 1993, 180с.
28. Кузьменко П.К. , Бересневич П.В. , Неженцева Н.Г. Предотвращение пыления поверхностей хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – М.: Черметинформация, 1985. – вып. 18.
29. Ермолов В.А. Щербакова Е.П. Геолого-экологическое обеспечение освоения техногенных массивов. Тез. II Межд. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». 2003, с.56-58.
30. Ильина Т. Н., Михайлова С.Д. О закреплении пылящих поверхностей техногенных материалов: [Хвостохранилища ГОКов]; Вестник БГТУ им.

- В. У. Шухова. :Белгород. 2003 г.. № 6, ч. 3. - С. 39 – 42.
- 31.Ищук И.Г., Поздняков Г.А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий: Справочник М.: Недра, 1991.- 253 с.
- 32.Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение.М.: Изд-во МГУ, 1993. - 184с.
- 33.Каркашадзе Г.Г. Моделирование физических процессов горного производства. Часть 1. - Учебное пособие для студентов направления подготовки 131201 «Физические процессы горного или нефтегазового производства» ФГОС ВПО. М.: МГГУ, 2013. - 98 с.
- 34.Каркашадзе Г.Г., Немировский А.В. Моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища. Материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 18022 ноября 2013.-М. ИПКОН РАН, 2013. С 404-406.
- 35.Куликова Е.Ю. Теоретические основы защиты окружающей среды в горном деле: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: изд-во «Горная книга», 2005. -611 с.
- 36.Кузьменко П.А., Бересневич П.В., Неженцева Н.Г. и др. предотвращение пыления поверхностей хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов //Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». М., 1985. Вып. 18.
37. Лапотников Д. А. Шкала Бофорта. Статья в Энциклопедическом Фонде. <http://www.russika.ru/ef.php?s=4596>
38. Лавриненко И.К., Данилов М.А., Антимонова Н.Г. О новых возможностях борьбы с пылением хвостохранилищ, намываемых картовым методом //Складирование и утилизация отходов переработки руд черных металлов: Сб. статей / Научно-исследовательский и проектный институт по обогащению и агломерации руд черных металлов.- М.:Недра, 1991.

39. Кононенко Е.А., Щербакова Е.П. Экологически адекватная рекультивация средствами гидромеханизации. // Тез. докл. н.-т. конф. Экологические проблемы горного производства.- М., МГИ, 1993, с. 82-83.
40. Лобода А.И., Ребристый Б.Н., Тыщук В.Ю. и др. Борьба с пылью на открытых горных работах /. Киев: Техника, 1989. - 152 с.
41. Лычагин Е.В., Сергеев С.В., Сеница И.В. . Исследование параметров пыления отходов обогащения железных руд и разработка метода их стабилизации // Вестник удмуртского университета. Сер. 6, Биология. Науки о земле, 2009. – № 1 – с.127-136.
42. Лычагин Е.В., Сергеев С.В., Сеница И.В. Хранилище отходов рудо-обогащения как источник воздействия на окружающую среду. // Материалы Всероссийской научно-технической Интернет-конференции «Рудничная аэрология и безопасность». - Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. - С. 74-75.
43. Лычагин Е.В., Сеница И.В. «Совершенствование методов закрепления пылящих поверхностей» // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М: МГГУ, 2007. - №8. - С. 136-140.
44. Мелентьев В.А., Калпашников Н.П., Волнин Б.А. Намывные гидротехнические сооружения. - М.: Энергия, 1973. 215с.
45. Месяц С.П., Волкова Е.Ю. Технология консервации промышленных отходов. С.106-116.
http://www.giab-online.ru/files/Data/2009/4/Mesyats_4_2009.pdf
46. Михайлов В.А. и др. Борьба с пылью в рудных карьерах. М.: Недра, 1981, с.188-190.
47. Михайлов В.А., Борисов В.Г. Расчет пленок из битумной эмульсии на ветровую нагрузку, - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1975,-№1, с. 51-57.
48. «Нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты,

размещение отходов производства и потребления», утв. Постановлением Правительства РФ от 12.06.2003 г. № 344.

49. Мосейкин В.В. Геолого-экологическая оценка намывных техногенных массивов хранилищ горнопромышленных отходов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. М., 2000. - 32 с.
50. Мочалов ВЛ, Мосин С.В. Анализ существующих способов и средств пылеподавления на хвостохранилищах железорудных горно-обогатительных комбинатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2000, №5.
51. Немировский А.В. Опытные испытания вяжущего состава для нанесения на хвостохранилище при ветровых нагрузках. Материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 18022 ноября 2013.-М.. ИПКОН РАН, 2013. С. 407-408.
52. Немировский А.В. Разработка способа предотвращения пыления хвостохранилища горного предприятия с использованием глинокомполитных адгезионных составов. Международный научно-исследовательский журнал. 2013, №9 (16), Часть 1, с. 34-38
53. Немировский А.В. Проблемы осаждения пыли при функционировании хвостохранилища Стойленского ГОКа Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014, №5 с. 387-392
54. Немировский А.В. Разработка способа предотвращения пыления наливного хвостохранилища горного предприятия с использованием глинокомполитных адгезионных хвостов. Материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 18022 ноября 2013.-М.. ИПКОН РАН, 2013. С.401-403.
55. С.А. ОГАЙ, А.С. ОГАЙ, В.Г. НЕПЕЙВОДА. Экологические проблемы перевалки сыпучих грузов в морских портах/ «Транспорт российской федерации». № 6, 2006 – с. 76-80
56. Отчет об инженерных изысканиях «Хвостовое хозяйство ОАО «Стойленский ГОК. Реконструкция в целях увеличения производственных

- мощностей. Гидрометеорологическая характеристика района Стойленского горно-обогатительного комбината», ГУ Белгородский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Белгород, 2008.
57. Патент РФ №2148720 на "Состав для закрепления пылящих поверхностей". Перепелицын А.И.; Мочалов В.И.; Шмигирилов В.И. Патентообладатель: ОАО "Михайловский ГОК". Приоритет: 25.08.1998
58. Патент № 2029775 на "Обеспыливающий состав". Малярчук В. Ф.; Тесленко Л. И.; Веретенников А. И. и др. Патентообладатель: Кооператив "Природа". Приоритет: 01.07.1991
59. Патент РФ № 2303700 на "Способ закрепления пылящих поверхностей хранилищ отходов обогащения железных руд". Сергеев С. В., Синица И.В., Лычагин Е. В. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный университет". Приоритет: 13.03.2006.
60. Патент РФ № 2175065 на "Устройство для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ и отвалов горных пород". Мязин В.П.; Бабелло В.А.; Офицеров В.Ф.; Ходкевич Д.В. Патентообладатель: Читинский государственный технический. Приоритет: 26.04.1999.
61. Патент РФ №2272147 на "Способ пылеподавления на пляжах хвостохранилища и устройство для его осуществления". Бруев В. П., Минеев В. И., Спиридонов Ю. С. и др. Патентовладелец ОАО "Михайловский ГОК". Приоритет: 21.09.2004
62. Патент № 2151301 на "Способ закрепления пылящих поверхностей". Ушаков В.В.; Браунер Е.Н. Патентообладатель Читинский государственный технический университет. Приоритет 26.05.1998.
63. Патент РФ №2084636 на "Способ закрепления пылящих поверхностей". Жиленков В.Н.; Билев А.Е. Патентообладатель Всероссийский государственный научно-исследовательский институт гидротехники им.Б.Е.Веденеева. Приоритет 13.07.1992.

64. Патент РФ № 2255178 на "Способ образования защитного экрана".
Литвиненко В.С. , Пашкевич М.А. , Петрова Т.А. . Приоритет 27 июня 2005.
65. Патент РФ №2162151 на " Способ возведения хвостохранилища". Макеев А.Ю.(патентообладатель); Зотеев В.Г.; Камкин И.Р.; Велим В.С.; Зеленский Б.А.; Яценко В.Н.; Бондаренко В.П.; Назаров А.В. Приоритет 26.04.2000
66. Авт. свид. СССР №1503694 на изобретение "Способ биологического закрепления поверхности хвотохранилища". Заявитель - Донецкий ботанический сад АН ССР. Авторы:Мазур А.Е., Кучеровский В.В. и Доцеко А.Н. Приоритет 03.03.1987.
67. Патиченко А.П., Климашевский А.Л., Нечаева Е.Б. «Исследование растекаемости сгущенных хвостов Стойленского ГОКа», Сб. трудов ФГУП ВИОГЕМ, Белгород, 2007.
68. Пашкевич Н.В. и др. Эколого-экономическая оценка воздействия техногенных массивов на окружающую их среду. ГИАБ, № 7, 1999, М., изд. МГТУ.
69. Пашкевич М.А. Негативное воздействие техногенных массивов на природную среду: Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд. МГГУ, 2001. С. 154-156.
70. Пашкевич М.А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду. – СПб.: СППГИ (ТУ), 2000. – 230 с.
71. Певзнер М.Е., Костовецкий В.П., Экология горного производства, - Москва, «Недра», 1990. 457с.
72. Понурова И. К. Автореферат дисс. "Защита природной среды на основе рациональной технологии консервации отходов обогащения на Михайловском ГОКе. Код специальности ВАК: 25.00.36 Специальность: Геоэкология. Санкт-Петербург, 2006.
73. Олейников А.Г. Поплавский В.Г. Физико-химическое закрепление хвостохранилищ/ , Обзорная информация. М.: Центральный научно-

- исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исследования цветной металлургии, 1976.-26 с.
74. Патиченко А.П., Климашевский А.Л., Нечаева Е.Б. «Исследование растекаемости сгущенных хвостов Стойленского ГОКа», Сб. трудов ФГУП ВИОГЕМ, Белгород, 2007
75. Павлич М., Радченко В. Г., Гинзбург М. Б. Противофильтрационные устройства и крепление откосов грунтовых плотин // Проектирование и строительство больших плотин, вып. 4. М.: Энергоиздат, 1982. -106 с.
76. Проект «Развитие хвостового хозяйства Стойленского ГОКа на период до 2015 г. и на перспективу до 2030 г», шифр П 1828, ОАО «Центрогипроруда», 2003.
77. Пучков Л.А., Воробьев А.Е. Человек и биосфера: вхождение в техносферу: Учебник для ВУЗов. М.: Издательство МГГУ, 2000. - 342 с.
78. Саранчук В.И., Журавлев В.П. и др. Химические вещества для борьбы с пылью.- Киев.: Наукова думка, 1987.
79. Сергеев С.В., Синица И.В. Негативное воздействие хранилищ отходов обогащения на окружающую среду и способы пылеподавления. // Известия Тульского государственного университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений», Вып. 4, Тула: Изд-во ТулГУ, 2006, с.159-163.
80. Сергеев С.В., Синица И.В., Бурлуцкая И.П. «Геоэкологическая оценка функционирования хранилищ отходов обогащения железных руд» // Проблемы региональной экологии. - М., 2007. - №6. - С. 52-56.
81. Сергеев С.В., Синица И.В., Закрепление пылящих поверхностей хранилищ отходов рудообогащения // Материалы Межрегиональной научно-практической конференции «География и регион: актуальные вопросы исследований». - Чебоксары: Изд-во Чуваш, ун-та, 2005. - С. 484-486.
82. Сидakov Л.Г. Природоохранные технологии управления состоянием хвостохранилищ: Автореф. дис... канд. техн. наук. / Северо-Кавказского горно-металлургического института. - Владикавказ, 2004. - 24 с.

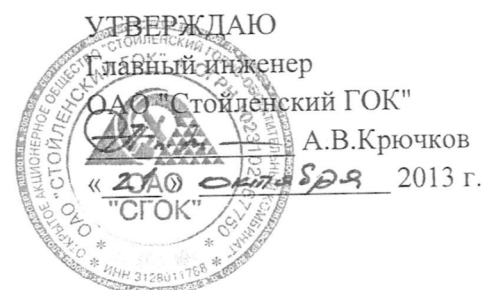
- 83.Синица И.В. Хвостохранилище железорудных месторождений, как источник негативного экологического воздействия // сборник научных докладов научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях». — Московский государственный строительный университет- М: МГСУ, 2006. - С. 117-118.
- 84.Синица И.В. Предотвращение пылеобразования с поверхностей хранилищ обогащения железных руд Лебединского ГОКа // сборник трудов VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о земле». -М.: РИТРУ, 2007.
- 85.Синица И.В. Способ закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ, оценка эффективности // Материалы II Международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в европейской России и сопредельных странах». - Белгород: Изд-во БелГУ, 2006.-С. 348-350.
- 86.Синица И.В. Технология пылеподавления на пылящих участках хвостохранилищ и повышение её эффективности в результате применения пластифицирующей добавки //Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. - С. 159-161.
- 87.Синица И. В. Автореферат дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук на тему "Разработка и исследование параметров способа закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ", специальность 25.00.36 — Геоэкология. Тула, 2008.
- 88.Способ консервации и изоляции техногенных месторождений. // Восьмой Московский международный салон инноваций и инвестиций. — 2008. - URL: <http://salon.extech.ru/salon8/db/proj.php?kodproekta=2864> (дата обращения 12.02.2014).
- 89.Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности. Под ред. А.С.Кузьмича.- М.: Недра, 1982 240 с.

90. Татасов В.М., Лапшин В.М. Исследования пылезащитных покровов в шламохранилищах. - М., 1993.
91. Таужнянская З.А. Стабилизация и рекультивация хвостохранилищ за рубежом. // Цветная металлургия. 1975, №11, С. 19-22.
92. Турчанинов И.А. Проблемы закрепления пылящей поверхности действующих хвостохранилищ Заполярья /Инженерная геология , 1981. №5, - С .107-110.
93. Татасов В.М., Лапшин В.М. Исследования пылезащитных покровов в шламохранилищах. - М., 1993.
94. Тыщук В. Ю. , Деньгуб В. И. Развитие научных основ защиты воздуха рабочих зон карьеров от загрязнения пылью, выделяющейся со стационарных поверхностей. ГП «Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2012 (72). Частина 1. С. 178-182.
95. Типовая инструкция по организации системы контроля промышленных выбросов в атмосферу в отраслях промышленности. Госкомгидромет СССР, 10.06.86.
96. Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М. , Калашников А.Т. Экология и охрана природы при открытых горных работах/ М.: Изд-во Моск. гос. горн, ун-та, 1994. – 418с.
97. Утверждаемая часть рабочего проекта «ОАО «Стойленский ГОК». Хвостовое хозяйство. Узел сгущения, оборотного водоснабжения и транспортировки хвостов», шифр 1806, ОАО «Гидроузел», Белгород, 2008.
98. Чайкина Г.М., Объедкова В.А., Гаранина И.А., Прибылев В.И. Экосистемы техногенных месторождений//Горный информационно-аналитический бюллетень. № 1. 2005. С. 105-108.
99. Черкащенко Н.А., Зотеев В.Г. Экология хвостохранилищ большой емкости.//Белгород: ГУПВИОГЕМ. 1997. - №1-С. 48-53.
100. Чулаков П.Ч. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров. – М.: Недра, 1973. – 160 с.

101. Щербакова Е. П. Инженерно-геологическое и геоморфологическое обоснование техногенного рельефа намывных территорий гидроотвалов // Изв. вузов. Геология и разведка. - 1998. - № 6.
102. Dean K.C. Havens R. Methods and costs for stabilizing tailings ponds - Mining Congr. J., 1973. vol. 59 №12. с. 41-46.
103. Smart Fog Dust Suppression Systems // Smart Fog #1 Manufacturer of Intelligent Non-Wetting Industrial Humidifier: сайт. – URL: <http://www.smartfog.com/dust-suppression-systems.html> (дата обращения 12.01.2014).
104. Fog Cannon Dust Suppression Systems // Wet earth Irrigation, water tanks & dust control: сайт. – URL: <http://www.wetearth.com.au/Fog-Cannon-Airborne-Dust-Control> (дата обращения 12.01.2014).
105. Мосейкин В.В., Абсатаров С.Х. Минеральный состав железистых кварцитов Лебединского месторождения и его взаимосвязь с процессами разрушения пород. ГИАБ. №2, 2008 С.97 -103
106. Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach. Год выпуска: 2009. Автор: Pryor, Roger W.: Engineering / FEM. Издательство: Jones and Bartlett Publishers, LLC\$.
107. Физико-химическое закрепление пылящих поверхностей хвостохранилищ горного департамента.
<http://www.arcelormittal.com.ua/index.php?id=12&pr=347>

РФ

Открытое акционерное общество
«Стойленский горно-обогатительный комбинат»



АКТ

испытаний вяжущего состава для нанесения на хвостохранилище с целью пылеподавления при ветровых нагрузках

Мы, нижеподписавшиеся, составили настоящий акт о том, что, комиссией в составе:

председатель: - начальник ЦХХ Климашевский А.Л.
- начальник ТО Семенов В.В.
- начальник ООС Немировский В.Ф.

члены - начальник ОТКиЛА Ноль В.Р.

комиссии: - главный гидротехник ЦХХ Ивакин Р.Б.
- ведущий инженер ОПЭП, аспирант МГГУ Немировский А.В.

В период с апреля по май 2013 года в районе головной плотины и с июня по июль 2013 года – район плотины защиты отвалов ЦХХ в ОАО "Стойленский ГОК" были проведены испытания способов пылеподавления нанесением:

- 2% раствора DUSTBIND на площади 39,05 га;
- вяжущего плавучего состава на основе целлюлозы и глины (далее по тексту – состав МГГУ), на площади 1,0 га, в соответствии с исполнительной схемой, Приложение 10 (далее по тексту – состав МГГУ), предложенного Немировским А.В. - аспирантом кафедры "Физика горных пород и процессов", Московского государственного горного университета.

Распыление вяжущих растворов на пылящую площадь хвостохранилища производилось с воздуха самолетом АН-2.

Испытания способа проводились в соответствии с Политикой открытого акционерного общества «Стойленский горно-обогатительный комбинат» в области экологии и качества утвержденной генеральным директором и выполнением экологических программ, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду отделом охраны окружающей среды (ООС) и цехом хвостового хозяйства (ЦХХ).

Программа проведения испытаний

В соответствии с договором № 831/103199 от 26.02.2013 г. производилась трехразовая обработка (по 200 вылетов каждая) сухих пляжей вяжущим раствором DUSTBIND в районе головной плотины хвостохранилища площадью 20,05 га. (Приложение 9. Исполнительная схема обработки реагентом пляжа Головной плотины).

По договору № 831/108264 от 13.06.2013 г. производилась двухразовая обработка (по 200 вылетов каждая) сухих пляжей вяжущим раствором DUSTBIND в районе плотины защиты отвалов площадью 19 га и 1 га вяжущим составом на основе целлюлозы и глины. (Приложение 10. Исполнительная схема пляжа Плотины защиты отвалов. Второй этап авиационной обработки хвостохранилища).

Работы по обработке сухих пляжей в районе головной плотины хвостохранилища и в районе плотины защиты отвалов были разбиты на этапы:

Этап №1. Проведение подготовительных работ:

- Выбор и согласование мест и участков для обработки;
- Обеспечение поставки реагента DUSTBIND® на территорию ЦХХ ОАО "Стойленский ГОК";
- Обеспечение поставки состава МГГУ на территорию ЦХХ ОАО "Стойленский ГОК";
- Доставка самолета АН-2 на территорию ЦХХ ОАО "Стойленский ГОК".

Этап №2. Проведение мониторинга без реагентной обработки.

- Анализ результатов проведенных исследований и выдача рекомендаций по дальнейшей обработке.

Этап №3. Выполнение работ по опытно-промышленным испытаниям.

- Приготовление рабочих растворов;
- Заправка самолета необходимым количеством рабочего раствора;
- Проведение обработки реагентом, выбранных для испытаний участков;
- Замеры запылённости в СЗЗ после выполнения работ;
- Обработка результатов промышленных испытаний и составление отчета.

Подготовительный этап.

Перед непосредственным выполнением работ по опытно-промышленным испытаниям закрепляющего раствора реагента DUSTBIND® для предотвращения пыления были выполнены первоначальные этапы, задачей которых являлось обеспечение материально-технической базы для проведения испытаний, набор лабораторных статистических данных, разметка участков.

Для осуществления мероприятий, предусмотренных программой, были выполнены следующие работы:

- Лабораторией ОТКиЛА установлено, что пыление хвостохранилища при скорости ветра от 4 м/с и выше возникает в районе головной плотины и в районе плотины защиты отвалов. При этом имеются случаи, когда происходит превышение установленных норм предельно-допустимых концентраций;
- Компанией ООО «Агро-авиа» была осуществлена поставка реагента DUSTBIND® в количестве 20000 кг;
- Силами ЦХХ осуществлены приём и размещение реагента;

- Аспирантом МГГУ заготовлены целлюлоза и глина, составляющие компоненты для вяжущего плавучего состава МГГУ;
- ЦХХ определены и размечены участки головной плотины и плотины защиты отвалов для обработки закрепляющими растворами.

Проведение основных работ.

В соответствии с Договором по снижению пыления на хвостохранилище ОАО «Стойленский ГОК» был выполнен следующий объем работ:

- Приготовление 2% рабочего раствора реагента DUSTBIND® и 1% состава МГГУ;
- Нанесение растворов на поверхность выбранных для испытаний участков с расходом 1 л/м²;
- Анализ замеров запылённости воздуха в зонах проведения испытаний (Приложение 5-8):

Приготовление рабочих растворов.

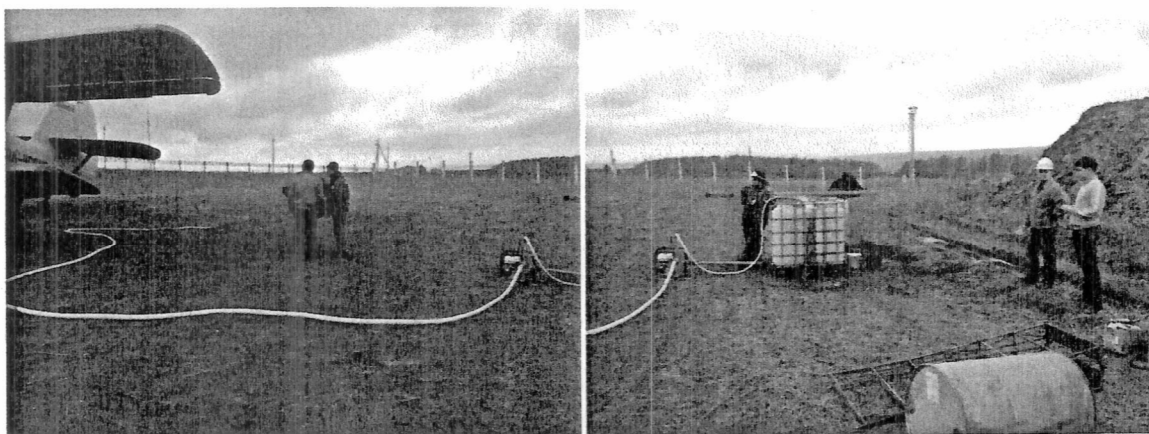
Контейнеры с реагентом DUSTBIND® были размещены на территории хвостохранилища, где и осуществлялось приготовление растворов по следующей схеме:

- В контейнер емкостью 1 м³ выливалось 20 кг реагента DUSTBIND®, заливается вода до заполнения и тщательно перемешивается;
- Самолет находился в непосредственной близости к контейнерам;
- Через штатное сливное отверстие, с помощью шлангов, реагент DUSTBIND® заливался в необходимом количестве в бак самолета (*фото №1*); контроль расхода реагента при этом осуществлялся по шкале уровня на стенке контейнера.

Приготовление состава МГГУ осуществлялось следующим способом:

- Предварительно измельченный и усредненный состав целлюлозы и глины добавляется в емкость с водой и тщательно перемешивается до однородного состава;
- Объем емкости 1 м³;
- Заливается в самолет аналогичным способом.

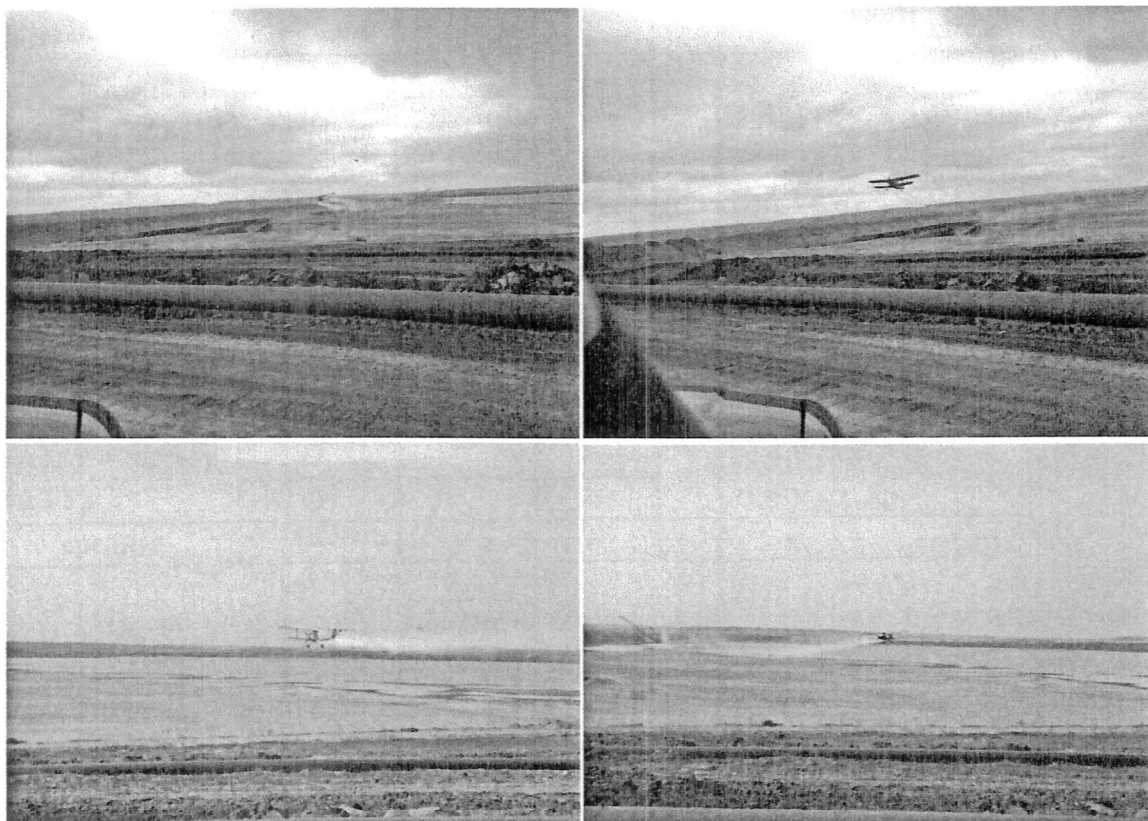
Фотография 1



Обработка пляжей хвостохранилища

Нанесение растворов с воздуха начиналось с дальней части обрабатываемых пляжей, полосами, площадь каждой из них 100 м². Вылеты осуществлялись только в установившуюся сухую погоду, т.к. это являлось основополагающим фактором пыления при проведении работ.

Фотография 2



Проведение испытаний

За период эксплуатационных испытаний с апреля по июль месяц 2013 года, проведены следующие измерения параметров пылящих поверхностей.

1. Определение толщины образовавшейся корки, с учетом ее колебания ± 2 мм:

- DUSTBIND – 2 мм;
- Раствор МГГУ – 4 мм.

2. Определение предела контактной прочности при продавливании поверхности сухой вяжущей корки. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний контактной прочности при продавливании поверхности сухой вяжущей корки

Место отбора	№ опыта	Нагрузка, кг	Площадь контакта, см ²	Контактная прочность на продавливание, кг/см ²
Головная плотина (DUSTBIND)	1	1,0	1,0	1,0
	2	0,9		0,9
	3	1,0		1,0
среднее				0,97
Плотина защиты отвалов (DUSTBIND)	1	0,9	1,0	0,9
	2	0,7		0,7
	3	0,9		0,9
среднее				0,83
Плотина защиты отвалов (Раствор МГГУ)	1	1,0	1,0	1,0
	2	0,8		0,8
	3	0,9		0,9
среднее	-	-	-	0,9

3. Полив проб водой, с помощью дождевальной установки, с удельным расходом 4л/м² определение контактной прочности на продавливание влажной поверхности.

Полив вышеперечисленных проб водой, с расходом 4л/м² и определение контактной прочности на продавливание поверхности. Результаты опытов 2 этапа представлены в таблице №2

Таблица 2 – Результаты определения контактной прочности на продавливание влажной поверхности

Концентрация реагента	№ опыта	Нагрузка, кг	Площадь испытания, см ²	Прочность на продавливание, кг/см ²
Головная плотина (DUSTBIND)	1	1,7	1,0	1,7
	2	1,7		1,7
	3	1,7		1,7
среднее	-	-	-	1,7
Плотина защиты отвалов (DUSTBIND)	1	>2	1,0	>2
	2	>2		>2
	3	>2		>2
среднее	-	0	-	2
Плотина защиты отвалов (Раствор МГГУ)	1	1,7	1,0	1,7
	2	1,6		1,6
	3	1,7		1,7
среднее	-	-	-	1,66

4. Замеры запыленности на обрабатываемых участках до нанесения вяжущих растворов за прошлый год (Приложение № 7, 8).

Анализируя данные за 2012 год запыленность в районе головной плотины и плотины защиты отвалов, можно видеть резкие выпадения за пределы ПДК до десятков раз с направлением ветра восток, северо-восток.

5. Замеры на запыленность на обрабатываемых участках после нанесения новых типов вяжущих растворов (Приложение № 3, 4).

Выводы

Видна тенденция в улучшении состояния окружающей среды, на это указывают пробы воздуха, взятые в районе головной плотины и плотины защиты отвалов, находящиеся в пределах ПДК и в направлениях ветра восток, северо-восток.

По результатам экспериментальных работ (Таблица 1 и 2), выполненных с целью выявления эффективности предложенных способов закрепления поверхности хвостохранилища, можно сказать, что при определении контактной прочности на продавливание сухой (состояния двух растворов идентичны) и влажной поверхности:

- DUSTBIND: нагрузка равна 1,85 кг / прочность 1,85 кг/см² в среднем
- состав МГГУ: нагрузка равна 1,66 кг / прочность 1,66 кг/см² в среднем

Состав DUSTBIND увеличил свою прочность по сравнению с сухим состоянием на 105 %, но не восстановилась структура образовавшейся корки, что приводит к ветровой эрозии исследуемой поверхности.

Состав МГГУ также увеличил свою прочность на 84,4 %, но при этом получаем значительные преимущества, за счет проявления максимальной адгезионной активности келловейской глины в результате повышения ее влажности происходит восстановление трещин поверхности образованной корки. При установлении сухой погоды (15 - 30°C), пленка вновь восстанавливает свои прочностные свойства.

С точки зрения экономической составляющей на 1 м² видно, что расход состава МГГУ по сравнению с DUSTBIND ниже на 50%, а стоимость состава МГГУ практически равна нулю т.к. для его приготовления используются отходы производства и потребления.

	DUSTBIND	Состав МГГУ
Расход состава на 1 м ²	1 литр	1 литр
Стоимость состава	8 руб/м ²	-
Количество основного вещества на 1 м ²	20 г	10 г
Процент в растворе	2%	1%

Начальник техотдела

Начальник ОТКиЛА

Начальник отдела ООС

Начальник цеха хвостового хозяйства

Зам. начальника цеха хвостового хозяйства

Ведущий инженер ОПЭП, аспирант МГГУ

В.В. Семенов

В.Р. Ноль

В.Ф. Немировский

А.Л. Климашевский

Р.Б. Ивакин

А.В. Немировский

ОАО "Стойленский ГОК"	
Исход. № 26/2.	26-8222
25.09.2010 г.	Основн. лист
	Прилож. 1 лист

Ректору
Московского государственного
горного университета
А.В. Корчаку

Просим зачислить в заочную аспирантуру МГГУ сотрудника ОАО «Стойленский ГОК» Немировского Андрея Владимировича.

Просим определить в качестве темы научных исследований проблему, актуальную для нашего предприятия – «Обоснование эффективных технологических мероприятий, обеспечивающих сокращение выделения пыли при эксплуатации хвостохранилища».

Просим разрешить выполнение работ в коллективе кафедры физики горных пород под руководством проф. Каркашадзе Г.Г.

Генеральный директор

 А.Ю. Горшков

УТВЕРЖДАЮ
И.о. генерального директора
ОАО «Стойленский ГОК»
С.А. Напольских
« 29 » 2014 г.



ПРОТОКОЛ

Технического совета ОАО «Стойленский ГОК»

Тема: Проведение презентации Немировского А.В. по внедрению новой технологической схемы формирования намывного хвостохранилища.

г. Старый Оскол

29.08.2014г

В заседании принимали участие:

Председатель – Напольских С.А. - зам. генерального директора по производству и технологии;
Крючков А.В. – главный инженер;
Нартов М.В. – директор по развитию технологий и операционной эффективности;
Андриевский А.О. – начальник технического управления;
Климашевский А.Л. – начальник цеха хвостового хозяйства;
Немировский В.Ф. – начальник отдела охраны окружающей среды;
Беленко М.В. – начальник аналитического отдела;
Немировский А.В. – ведущий инженер отдела повышения эффективности производства.

Рассмотрены вопросы:

1. Рассмотрение результатов научных исследований и технической разработки Немировского А.В. в части способа формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам.

Приняты решения:

1. Одобрить результаты научных исследований и технической разработки Немировского А.В. в части способа формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам.
2. Считать целесообразным использовать результаты технической разработки способа формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам, в перспективных планах развития хвостохранилища Стойленского ГОКа на период 2015 и последующие годы.

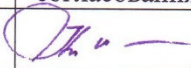
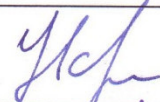
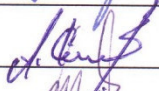
Начальник технического управления

А.О. Андриевский



Лист согласования к протоколу от 29.08.2014 г. технического совета ОАО «Стойленский ГОК» по теме: «Проведение презентации Немировского А.В. по внедрению новой технологической схемы формирования намывного хвостохранилища»

СОГЛАСОВАНО

№ п.п.	Должность	Результат согласования	Инициалы, фамилия
1	Главный инженер		А.В. Крючков
2	Директор по развитию технологий и операционной эффективности		М.В. Нартов
3	Начальник ЦХХ		А.Л. Климашевский
4	Начальник ООС		В.Ф. Немировский
5	Начальник АО		М.В. Беленко

Достоверность данных подтверждаю

Начальник технического управления

А.О. Андриевский



Комментарии: