

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное учреждение
высшего образования

**Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»**

На правах рукописи

ФОМЕНКО НИКОЛАЙ ГАВРИЛОВИЧ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
И ТЕХНОЛОГИИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ГИДРООТВАЛАХ
ПРИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ**

Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Кутепов Юрий Иванович

Москва 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА И АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ГИДРООТВАЛАХ.....	9
1.1 Развитие открытых горных работ и внешнее отвалообразования на разрезах Кузбасса.....	9
1.1.1 Использование гидромеханизации на разрезах Кузбасса	19
1.1.2 Отсыпка отвалов на гидроотвалах.....	22
1.2 Анализ изученности вопросов обоснования параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности отвальных работ.....	27
ГЛАВА 2 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПТС «ГИДРООТВАЛ+ОТВАЛ» РАЗРЕЗА «ТАЛДИНСКИЙ».....	37
2.1 Характеристика ПТС и ее элементов.....	37
2.1.1 Общая характеристика отвальных сооружений.....	37
2.1.2 Характеристика ПТС и особенности их инженерно-геологического изучения.....	39
2.2 Характеристика гидроотвала на реке Еланный Нарык.....	41
2.3 Инженерно-геологическое строение намывного массива, плотин и естественного основания гидроотвала на реке Еланный Нарык.....	45
2.3.1 Строение и физико-механические свойства плотин и оснований.....	45
2.3.2 Инженерно-геологическое строение намывного массива.....	48
2.4 Поровое давление в намывных отложениях и естественных породах основания, сформировавшееся при эксплуатации гидроотвала.....	52
2.5 Прогноз изменения физико-механических свойств техногенных и естественных пород при нагружении.....	62
2.6 Формирование состава и свойств пород «сухих» отвалов.....	68
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ «СУХИХ» ОТВАЛОВ НА ГИДРООТВАЛАХ.....	76
3.1 Анализ основных положений обоснования параметров отвалообразования на гидроотвалах.....	76
3.2 Процессы, сопровождающие формирование ПТС «отвал+гидроотвал».....	78
3.3 Прогноз изменения строения и формы намывного массива при отсыпке на его поверхности отвала в режиме контролируемых деформаций откосов первого яруса.....	88
3.4 Прогноз напряженно-деформированного состояния намывных пород при нагружении «сухими» отвалами.....	97
3.5 Оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал».....	109

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ГИДРООТВАЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОСАМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 320 ТОНН.....	123
4.1 Общие принципы обоснования технологии отвальных работ на территориях гидроотвалов.....	123
4.2 Порядок развития отвальных работ на гидроотвале на реке Еланый Нарык.....	128
4.3 Обоснование возможности использования при отвалообразовании на гидроотвале автосамосвалов повышенной грузоподъемности.....	131
4.4 Мониторинг безопасности ведения отвальных работ на гидроотвале.....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	157
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. При открытой разработке угольных месторождений в Кузбассе с начала 50-х годов прошлого столетия применяется гидромеханизация, выполняющая вскрышные работы в покровных неоген-четвертичных отложениях. Гидравлическим способом за 60-лет удалено и размещено в 57-ми гидроотвалах более 1 млрд. м³ дисперсных пород. Общая площадь занятых гидротехническими сооружениями территорий в регионе достигла 7000 га, поэтому на фоне ужесточения требований охраны окружающей среды встает вопрос об их возврате после завершения эксплуатации в сферу хозяйственного использования. Однако гидроотвалы сложены «слабыми» породами и характеризуются низкой несущей способностью, что делает их недоступными для выполнения рекультивации. Поэтому одним из наиболее эффективных путей решения данного вопроса является отсыпка на их поверхностях насыпей из прочных пород. Преимущества размещения отвалов на гидроотвалах очевидны и заключаются в сокращении площадей земельного отвода разрезов, а также расходов на рекультивацию нарушенных земель и транспортировку вскрышных пород до отвалов.

Намывные массивы гидроотвалов региона имеет значительную высоту (более 30 м), пылевато-глинистый состав, сформированы при достаточно высокой интенсивности, характеризуется неуплотнённым состоянием и низкими прочностными свойствами пород. При взаимодействии с отвальными насыпями они будут подвержены развитию процессов формоизменения, консолидации и упрочнения пород. Обоснование возможности отсыпки отвалов на гидроотвалах требует выполнения специальных исследований в рамках динамической природно-технической системы ПТС «отвал+гидроотвал», а также разработки методологии обоснования ее конструкции и технологии формирования.

В 2014 году на поле разреза «Талдинский» завершились гидровскрышные работы и прекращен намыв в гидроотвал на реке Еланный Нарык. Его поверхность с учетом создавшегося на предприятии определенного дефицита

земель для размещения вскрышных пород превратилась в перспективную площадь для размещения отвалов. Гидроотвал на момент вывода из эксплуатации имел высотой более 50 метров и занимал площадь около 127 га. С учетом имеющегося опыта отвалообразования на гидроотвалах Кузбасса на его поверхности можно отсыпать около 90 млн. м³ пород вскрыши. При годовой потребности в размещении вскрышных пород на данном участке предприятия в 9-15 млн. м³ для этого потребуется всего 6-10 лет. Следует отметить, что проектом развития горных работ планируется использовать на вскрышных работах автосамосвалы грузоподъемностью 320 тонн. В отечественной практике подобных условий отсыпки отвалов на намывных основаниях не было, поэтому решение научной задачи инженерно-геологического обоснования параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ является весьма актуальной.

Цель работы – обоснование конструкции и технологии формирования динамической природно-технической системы (ПТС) «отвал+гидроотвал» с учетом интенсивности формирования отвальных насыпей на намывном основании и использования автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

Идея работы – безопасность и технико-экономическая эффективность формирования ПТС «отвал+гидроотвал» обеспечивается на основе разработанной методологии инженерно-геологического обеспечения, базирующейся на установленных при изучении взаимодействий насыпных и намывных массивов закономерностях процессов формоизменения, консолидации и упрочнения намывных пород.

Основные задачи исследований:

1. Анализ внешнего отвалообразования на угольных разрезах и методологии инженерно-геологического обоснования ПТС «отвал+ гидроотвал».
2. Изучение закономерностей процессов формоизменения, консолидации и упрочнения намывных пород при взаимодействии насыпных и намывных массивов.

3. Разработка методологического подхода обоснования конструкции ПТС «отвал+гидроотвал» с учетом интенсивности формирования и использования автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

4. Обоснование параметров и технологии формирования ПТС «отвал+гидроотвал» с учетом безопасных условий работы на отвалах автосамосвалов повышенной грузоподъемности.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Предложено изменение инженерно-геологических условий природно-техногенной системы «отвал+гидроотвал» рассматривать с учетом взаимодействия насыпного и намывного массивов при развитии процессов формоизменения, уплотнения и упрочнения намывных пород.

2. Деформационное поведение взаимодействующих элементов природно-техногенной системы «отвал+гидроотвал» оценивается на базе метода конечных элементов путем последовательного решения задач об изменении размеров и формы намывного массива при отсыпке первого отвального яруса и дальнейшего уплотнения намывных пород под действием возрастающей с определенной интенсивностью нагрузки от многоярусного отвала.

3. Сформирован методологический подход к обоснованию параметров отвалообразования на гидроотвалах с применением автосамосвалов повышенной грузоподъемности, базирующийся на численном моделировании нагруженных откосов в плоской и объемной постановках, установленных закономерностях деформационных процессов при отсыпке отвалов на гидроотвале и обязательном применении мониторинга безопасности при отсыпке отвала.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждаются представительным объемом исследований состояния и свойств техногенных и естественных пород, изучением морфологии и механизма гравитационных процессов взаимодействия элементов ПТС, применением методик численного моделирования процессов формоизменения и уплотнения намывных массивов при отсыпке на них насыпей, хорошей схо-

димостью результатов моделирования и натурных исследований на гидроотвалах Кузбасса.

Методы исследований: - лабораторные и натурные методы изучения состава, состояния и свойств техногенных и естественных пород; - маркшейдерско-геодезические измерения и гидрогеологические наблюдения на отвалах и гидроотвалах; - расчеты устойчивости откосов и консолидации пород ПТС «отвал+гидроотвал»; - численное моделирование НДС намывных, насыпных и естественных пород методом конечных элементов.

Научная новизна работы:

- установлены закономерности изменения строения, состояния и свойств намывных пород на различных этапах формирования динамической ПТС «отвал+гидроотвал»;
- выявлены и охарактеризованы основные процессы, развивающиеся при взаимодействии намывных и насыпных техногенных массивов;
- обоснована методология моделирования процессов перестроения намывных массивов и напряженно-деформационного состояния (НДС) пород при формировании ПТС «отвал+гидроотвал».

Практическая значимость работы:

- установлены расчетные показатели физико-механических свойств техногенных и естественных пород для оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» и обоснования их конструкции;
- разработаны рекомендации по конструкции, интенсивности формирования и обеспечению безопасности ПТС «отвал+гидроотвал» при использовании большегрузных автосамосвалов.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований были представлены на симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2013 – 2016 гг.), заседаниях кафедры геологии МГГУ (2013-2014 гг.), кафедры геологии и маркшейдерского дела Горного института НИТУ «МИСиС» (2014-2016 гг.), научно-технических советах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», III Междуна-

родной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники» (г. Самара, апрель 2016 г.).

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору Ю.И. Кутепову, заведующему кафедрой геологии и маркшейдерского дела МИСиС профессору В.В. Мосейкину, профессорам кафедры А.М. Гальперину, Ю.В. Кириченко и М.В. Щекиной, д.т.н. Н.А. Кутеповой, доценту М.А. Карасеву, сотрудникам ООО НПФ «Карбон» и специалистам ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» за обсуждение отдельных положений работы и помощь при выполнении исследований.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА И АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ГИДРООТВАЛАХ

1.1 Развитие открытых горных работ и внешнее отвалообразование на разрезах Кузбасса

Открытая разработка угольных месторождений Кузбасса впервые начала применяться в 1948 году на карьере рядом с поселком Красный Брод [1]. Год спустя введен в эксплуатацию Бачатский угольный карьер. В дальнейшем открытый способ получает все большее распространение в регионе, строятся новые горные предприятия - карьеры, которые для оперативности управления соединяются в начале 60-тых годов в комбинат «Беловокарьеруголь». В последующие годы данное объединение неоднократно меняло название, административно и экономически преобразовывалось. Однако длительное время практически все крупные предприятия открытой добычи угля в Кузбассе находились в управлении единого государственной управленческой структуры ПО «Кузбассразрезуголь». В 90-х годах на фоне политической и экономической перестройки страны происходит разделение крупного государственного предприятия на ряд более мелких производственных объединений, изменяется форма их собственности. Реструктуризация угольной промышленности РФ, происходящая в конце прошлого начале нового веков, привела к массовому закрытию нерентабельных предприятий, разрабатывающих в основном угольные пласты подземным способом, и введением в эксплуатацию новых разрезов - объектов открытой разработки угля.

По состоянию на начало 2016 года добыча угля в России превысила отметку 350 млн. тонн. Всего в отрасли функционирует 215 угледобывающих организаций, осуществляющих подземную и открытую разработку угольных месторождений полезных ископаемых (МПИ). Из них открытым способом добывается около 250 млн. тонн, что составляет немного более 70% от общего объема.

Доля угледобывающих предприятий Кузбасса в общем объеме российского угля составляет около 57%. В регионе на настоящий момент времени угледобычу осуществляют 120 предприятий, объединенных в 13 крупных компаний. Кроме того здесь работают несколько отдельных более мелких угольных организаций. Всего добыча угля осуществляется 57 разрезами и 63 шахтами. В 2015 году кузбасские угольщики добыли рекордные за всю историю угледобычи в регионе 215,8 млн. тонн. Всего же за весь период эксплуатации недр в Кузбассе извлечено более 8 млрд. тонн угля. Промышленные запасы действующих угледобывающих предприятий составляют 18,9 млрд. тонн, распределяясь между шахтами и разрезами соответственно 5,67 и 13,23 млрд. тонн [2, 3]. Динамика развития угледобывающей отрасли в Кузбассе до 2013 года отражена на рисунке 1.1.

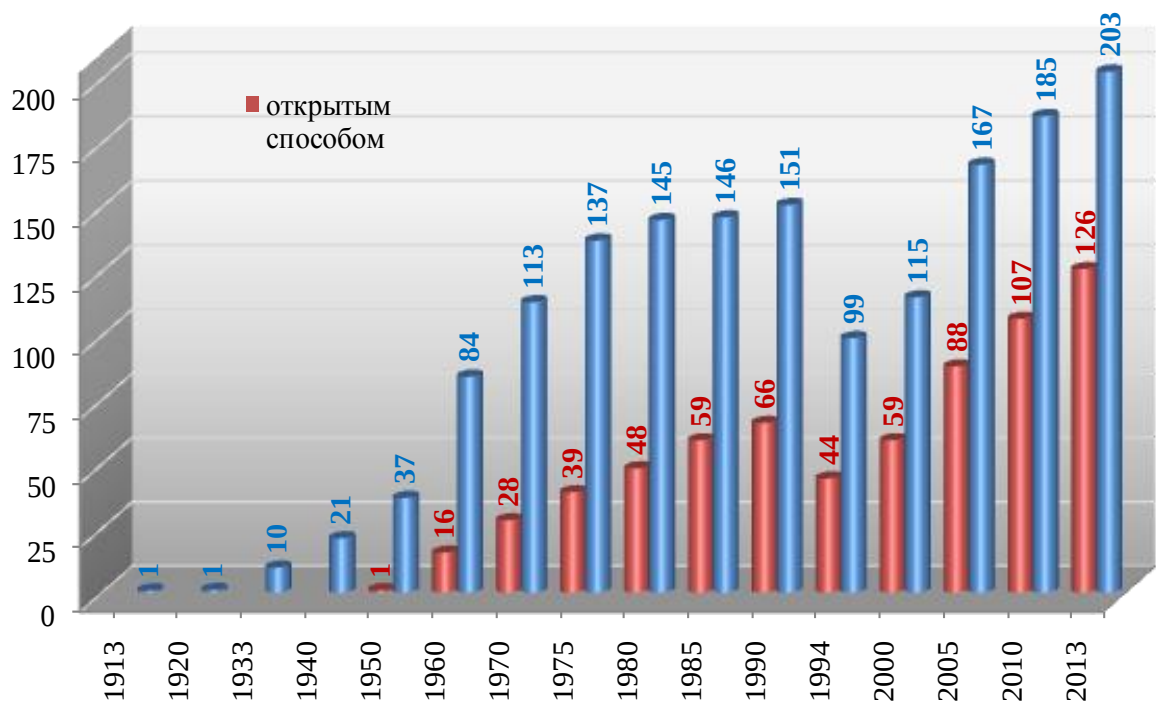


Рисунок 1.1 - Динамика добычи угля в Кузбассе (млн. тонн)

Лидером добычи угля открытым способом в Кузбассе на протяжении 50-ти лет является ОА «УК «Кузбассразрезуголь», осуществляющий разработку угольных МПИ 6-ью филиалами «Калтанским», «Талдинским», «Кедровским», «Краснобродским», «Моховским» и «Бачатским» (рисунок 1.2). Данные предприятия находятся в различных городах и районах

Кемеровской области. Их балансовые запасы превышают 2 млрд. тонн угля. Ежегодная суммарная добыча филиалов в последние годы достигает 45 млн. тонн топлива. Так, в 2015 году она составила 44,4 млн. тонн угля, из которых 29,8 млн. тонн было реализована на экспорт [4 6].



Рисунок 1.2 - Расположение филиалов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

Перспективным планом развития угольной промышленности Кузбасса к 2025 году планируется постепенно увеличить добычу угля до 260 млн. тонн за счет ввода в эксплуатацию 20 новых предприятий, большая часть которых будет использовать экономически выгодный открытый способ. Интенсификация открытой добычи угля будет осуществляться за счет применения технологического оборудования большой единичной мощности. Так, планируется применять мехлопаты с емкостью ковша 30-50 м³, автомобили грузоподъ-

емностью 220-320 т. На разрезе «Черниговец» прошел испытание сверхмощный БелАЗа грузоподъемностью 450 т [5] и в планах планируется его поставка на горные предприятия Кузбасса.

При открытой разработке угля в Кузбассе наибольшее распространение получило внешнее отвалообразование с применением бульдозерной и экскаваторной технологических схем соответственно при автомобильной и железнодорожной доставке пород до отвала. Для удаления глинистых покровных неоген-четвертичных отложений суглинков используется гидромеханизация (см. ниже). Кроме того, на разрезах «Талдинский» и «Бачатский» применяется циклично-поточная технология, включающая конвейерную доставку пород и размещение их в отвалы отвалообразователями.

Внешние отвалы на разрезах Кузбасса отсыпаются на территориях, сложенных покровными отложениями, которые сплошным чехлом перекрывают углевмещающую толщу пород пермского возраста. Их мощность в регионе изменяется от первых метров в предгорных областях до 80 м – на равнине в Центральном Кузбассе. Генезис неоген-четвертичных отложений в поймах водных артерий гидрографической сети аллювиальный, на склонах и водоразделах делювиально-пролювиальный. Повсеместно данные отложения перекрыты лессовидными суглинками эолового генезиса. Наиболее слабыми среди них являются аллювиальные суглинки и глины.

Кроме прочности пород в основании горнотехнических сооружений, зависящей от генезиса и их вещественного состава, устойчивость отвальных сооружений определяется углом наклона его основания. По данному показателю территория Кузбасса характеризуется крутыми углами рельефа (более 15 град), когда отсыпать отвалы нельзя по условиям безопасности (устойчивости) и технико-экономическим показателям, наклонными (6-15 град) и пологими (2-6 град) и горизонтальными.

Гидрогеологические условия территорий, сложенных неоген-четвертичными отложениями различного генезиса, характеризуются распространением водоносных горизонтов различной водообильностью. Так,

наиболее водообильными являются участки пойм рек, сложенные аллювиальными отложениями, наименее водообильными – водоразделы и склоны, где распространены деллювиально-пролювиальные суглинки. Естественно, что водообильность пород сказывается на их консистенции. В первом случае они характеризуются пластичным состоянием (от текучих до тугопластичных), а втором – твердой и полутвердой консистенцией.

Устойчивость отвалов определяется прочностью пород техногенного массива, которая зависит, в свою очередь, от литологии вскрышной толщи. В таблице 1.1 приведены данные практически по всем отвалам АО «УК» Кузбассразрезуголь». В ней представлены данные о процентном содержании различных литологических разностей в породах для каждого отвала компании. Анализ данных результатов позволяет сделать вывод о том что, массивы практически всех отвалов сложены в большинстве своем обломками песчаников и алевролитов. Процентное содержание обломков других литологических разностей незначительно и не превышает обычно 5%. В некоторых отвальных сооружениях, сформированных на ранних стадиях освоения угольных месторождений, в отвальной массе содержится повышенное содержание покровных глинистых пород. Если они не были убраны средствами гидромеханизации, то они поступили в отвалы в общей массе. В этом случае их содержание может достигать 30% и даже превышать данное значение.

Основными технологическими параметрами внешних отвалов являются: общая высота и высоты отдельных ярусов, углы откосов ярусов и результирующие углы откосов отвала параметры межъярусных берм. Высоты отвальных сооружений Кузбасса изменяются в достаточно широких пределах (таблица 1.1) в зависимости от их конструкции и целевого назначения. Отвальные горнотехнические сооружения бываю одноярусные и многоярусные. Одноярусные насыпи обычно формируются под углами естественного откоса $32-40^{\circ}$, в среднем составляя около 37° (таблица 1.2.) Их высоты изменяются в регионе от 15 до 90 м.

Многоярусные внешние отвалы по высоте изменяются от 30 до 190 м, характеризуются результирующими углами от 21 до 36⁰. При этом высоты отдельных ярусов многоярусных сооружений обычно в Кузбассе составляют 30 м, хотя иногда наблюдается отступление в ту и другую сторону в соответствии с проектными решениями.

Таблица 1.2 - Углы естественных откосов отвалов Кузбасса [6]

Наименование разреза	Значение угла естественного откоса, град			Количество изме- рений
	min	max	среднее	
«Прокопьевский»	35	40	37,2	8
«им. Вахрушева»	34	38	37,6	3
«Киселевский»	34	40	37,5	10
«Новосергеевский»	32	37	36,3	6
«Краснобродский»	35	39	36,4	11
«Бачатский»	35	40	37,3	15
«Черниговский»	33	39	36,9	4
«Кедровский»	34	38	37,1	6

Таблица 1.1 - Характеристика внешних отвалов разрезов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

Наименование отвала, разреза	Тип	Параметры отвалов				Основание	Характеристика пород отвала (содержание в %%)					Наличие деформаций и тип
		Проектные		Фактические			Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Уголь	Суглинок	
		Н, м	α, град	Н, м	α, град							
«Северные» - р-з «Бачатский»	Ж/Д – Эскав.	80	20-24	95	16	Суглинки аллювиальные	42-57	16-27	4	<2	<30	
«Южный» - р-з «Бачатский»	Бульдозер	130	20	65	20							
«Западный» - р-з «Бачатский»	Бульдозер	60	16-21	130	9	Лессовидные суглинки	42-57	16-27	4	4	<30	
«Восточный» - р-з «Бачатский»	Бульдозер	120	20	100-150	15-20	Суглинки	42-57	16-27	4	5,3	до 30	Оползень подпош.
«Западный» - р-з «Бачатский»	Ж/Д – Эскав.	100	16-22	100	14	Делювиально-пролювиальные суглинки	42-57	16-27	4	<2	<30	Оползень надпош-венный
«Восточный» - р-з «Калтанский»	-	150	29	75	30	Глина						
«Центральный» р-з «Калтанский»	-	65	19-23	112	30	Суглинки						
«Западный» - р-з «Калтанский»	-		19-23	50	<40	Глина						
«Внутренний» - р-з «Калтанский»	Авто.			120	<34	Алевролит						
Южный» - р-з «Таежный»	Авто. и бульдозер	90	20	60	10-15	Глины, суглинки, алевролиты, песчаники, аргиллиты	25	41	1	1	32	

Продолжение таблицы 1.1

Наименование отвала, разреза	Тип	Параметры отвалов				Основание	Характеристика пород отвала (содержание в %%)					Наличие деформаций и тип
		Проектные		Фактические			Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Уголь	Суглинок	
		Н, м	α, град	Н, м	α, град							
«Западный» - р-з «Таежный»	Авто.-бульд.	100-120	20	70	20-30	Глины, суглинки, алевролиты, песчаники, аргиллиты	27	39	1	1	30	Подподошвенный оползень
«Северный» - р-з «Таежный»	Авто.-бульд.	100	20	60	20-30	Глины, суглинки, алевролиты, песчаники, аргиллиты	25	42	1	1	30	
«Автоотвал №10» - р-з «Вахрушевский»	Бульд.	170	37	130	37	Суглинки; осадочные	54	37	3	6		
«Центральный» - р-з «Осинниковский»	Авто.	120	25	120	25	Суглинки	38	60,8		1,2		
«Западный» - р-з «Осинниковский»	Авто.	80	25	80	25	Алевролит, песчаник	32	60,8		1,2		
«Нижнетешский» - р-з «Осинниковский»	Авто.	90	15-20	60	20	Суглинки	35	59,2		1,2		
«Северный» - р-з «Кедровский»	-	60	31	65	32	Суглинки	80	17	1		2	
Автоотвал на гидроотвале №2 - р-з «Кедровский»	Авто.	40-50	31-35	30-40	31-35	Суглинки лесовидные	80	18	2			Подподошвенный оползень

Продолжение таблицы 1.1

Наименование отвала, разреза	Тип	Параметры отвалов				Основание	Характеристика пород отвала (содержание в %%)					Наличие деформаций и тип
		Проектные		Фактические			Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Уголь	Суглинок	
		Н, м	α, град	Н, м	α, град							
«Западный» р-з «Кедровский»	-	60	35-37	60	12-36	Суглинки лес-совидные	80	18	2			
«Восточный» р-з «Кедровский»	Авто.	60	31-33	60	31-33	Суглинки лес-совидные	75	15	5		5	1 надподош-венный
«Пихтовский» - р-з «Кедровский»	Ж/Д – Эскав.	75	27	80	23-34	Суглинки	60	20	15		5	1 подподош-венный
«Южный» и «За-падный» р-з «Кедровский»	Ж/Д	60	26	58	23	Суглинки лес-совидные	60	20	15		5	
«Бахтыхинский» - р-з «Красноброд-ский»	Бульдो-зерный	до 50	24-25			Песчаники, алевролиты	52	44	2	1	1	
«Змеинский» - р-з «Красноброд-ский»	Бульдо-зерный	до 85	34	64	36	Песчаники, алевролиты	46	42	6	2	4	
«Уткино» - р-з «Краснобродский»	Бульдо-зерный	до 120	27-34	63	36	Песчаники, алевролиты, аргиллиты	51	45	3	1		
«Новосергеевский - Южный» - р-з «Краснобродский»	Бульдо-зерный	90	33	37	29	Четвертичные отложения	47	50	2,5	0,3	0,2	
«Северный» - р-з «Краснобродский»	Бульдо-зерный	90	29	90	29	Песчаники, алевролиты	44	49	4	1		

Продолжение таблицы 1.1

Наименование отвала, разреза	Тип	Параметры отвалов				Основание	Характеристика пород отвала (содержание в %%)					Наличие деформаций и тип
		Проектные		Фактические			Песчаник	Алев-ролит	Аргиллит	Уголь	Суглинок	
		Н, м	α, град	Н, м	α, град							
«Южный» - р-з «Краснобродский»	Бульдозерный	212	28	190	38	Коренные породы	52	46	1	1		
«Западный» - р-з «Краснобродский»	Бульдозерный	30	38	38	38	Песчаники, алевролиты	46	51	2	1		
«Внешний» - р-з «Краснобродский»	Ж/Д – Экскаваторный	50	17	до 90	17	Глины, суглинки	52	44		1	1	
«Северный» - р-з «Краснобродский»	Ж/Д – Экскаваторный	90	27	71	27	Глины, суглинки		50	5	1	2	
«Западный» - р-з «Краснобродский»	Ж/Д – Экскаваторный	30	27	88	10	Глины, суглинки	43	50	5	1	1	
«Восточный автоотвал» - р-з «Талдинский»	Автомобильно-бульдозерный	110-120	18	54	64	Суглинки, глины	20	57	5	3	15	1 подпошвенный
«Восточный конвейерный» - р-з «Талдинский»	Бульдозерный	70	18	23-63	17	Суглинки, глины	28	66	5	1		1 подпошвенный
«Южный автоотвал» - р-з «Талдинский»	Автомобильно-бульдозерный	100-110	18	32-58	22	Суглинки, глины	20	57	5	3	15	
«Южный конвейерный» - р-з «Талдинский»		80	18									
«Гидроотвал» - р-з «Талдинский»		50	18	45	17	Суглинки, глины	1	4			95	

1.1.1 Использование гидромеханизации на разрезах Кузбасса

Гидромеханизация в Кузбассе на открытых горных работах при разработке угольных месторождений начала применяться практически сразу с момента появления данного способа в регионе. Так, первая тонна угля на разрезе «Бачатский» была добыта в 1949 году, а первые объемы гидровскрыши 31 тыс. м³ были смыты уже в 1951 году. Пятидесятые годы прошлого столетия ознаменовались бумом в развитии открытой угледобычи и использовании гидравлического способа вскрышных пород на разрезах региона. Гидромеханизация при этом начинает применяться на разрезах, располагающихся практически на всей территории Кузбасса, где мощность неоген-четвертичных отложений значительна. В 1954 году она уже используется на разрезе «Краснобродский», через год на разрезах «Моховский», «Кедровский» и «Красногорский» с годовым объемом для каждого предприятия от 0,25 до 0,45 млн. м³. 1956 год ознаменован открытием участков гидромеханизации на разрезах «Новосергеевский» и им. Вахрушева, 1958 год – на разрезе «Киселевский». Далее гидравлическая технологическая схема находит развитие на разрезах «Киселевский» (1959 год), «Листвянский» (1960 год), «Колмогоровский» (1961 год) и «Черниговский» (1966 год). Суммарный объем гидровскрыши на открытых работах постепенно год от года растет и в 1968 году достигает потолка для всего для периода использования данной технологии в регионе 27,25 млн. м³.

Развитие гидромеханизации в историческом аспекте всегда было связано как с открытием новых участков на вновь открывающихся перспективных разрезах, так и их ликвидацией на предприятиях, где гидровскрышная толща была полностью удалена. Так, она прекращается на разрезах «Красногорский» (1965 год), «Прокопьевский» (1967 год), «Листвянский» и «Краснобродский» (1970 год), «Киселевский» (1972 год), им. Вахрушева (1976 год). Это обстоятельство сказалось на сокращении общих объемов гидровскрыши по объединению до отметки 15 млн. м³.

Период с 1988 по 1997 годы отмечается тенденцией дальнейшего уменьшения объемов гидровскрыши до 8,8 млн. м³ на фоне общего сокращения добычи угля в стране. 1998 год венчает новый этап развития открытой угледобычи в Кузбассе, выражающемся в возрастании ее объемов, что естественно сказалось и на увеличении объемов гидровскрышных работ. Весьма активно гидромеханизация применяется на разрезах «Моховский», «Сартаки», «Бачатский» и др. Открывается участок гидромеханизации на разрезе «Талдинский». На разрезе «Кедровский», где гидравлическая технология прекратила существование в начале 90-х годов, рассматривается вопрос об извлечении запасов угля в объеме около 70 млн. м³ из-под гидроотвала №3. В 2000 году начинается гидромониторный смыв намывных пород и их перемещение в горную выработку участка №5. К настоящему времени значительная часть намывного массива удалена и производится добыча законсервированных запасов.

Весьма запутанная история развития гидромеханизации развивается на разрезе «Краснобродский» (Новосергеевское поле), где в конце 90-х годов прошлого столетия она прекращает свое существование в связи с отсутствием объемов пород, пригодных для гидромониторного смыва. Однако после ввода в эксплуатацию нового перспективного участка, характеризующегося наличием большого объема гидровскрыши, принимается решение о возобновлении гидромеханизации на вскрышных работах. В 2010 году данный способ вскрышных работ вновь находит свое место в цепочке технологического производства предприятия. Гидровскрышные породы перемещаются в гидроотвал на реке Прямой Ускат с небольшим годовым объемом около 1 млн. м³. Сдерживающим фактором ее развития здесь явился дефицит электроэнергии для горных работ, поэтому, когда в 2015 году расширяется парк автомобильного транспорта и вскрышные работы начинают осуществляться по автомобильно-экскаваторной технологии, надобность в гидромеханизации на разрезе отпадает, гидроотвал прекращает эксплуатироваться и его поверхность может быть использована под отвал.

В настоящее время в Кузбассе гидромеханизационный способ удаления вскрышных пород и перемещение их в гидроотвалы используется на Сартанском и Моховском полях разреза «Моховский». Кроме того, на разрезе «Кедровский» он продолжает применяться для смыва намывных пород гидроотвала №3. Проектирование отработки участка Иганинский 2, где мощность неоген-четвертичной толщи достигает 50 м, дает перспективу дальнейшего развития гидромеханизации на вскрышных работах открытой разработки Кузбасса. Осложняющим условием применения данного способа является нахождение на поле участка горных работ намывного массива гидроотвала на реке Еловка мощностью до 30 м.

Подводя итог анализу развития гидромеханизации на разрезах Кузбасса, отметим ее длительное по времени и практически повсеместное использование, позволившее смыть значительный объем более 1 млрд. м³ покровных неоген-четвертичных пород. Данные объемы в различные годы размещались в специальные горнотехнические сооружения – гидроотвалы, общее количество которых составляет 57 сооружений. Значительная их часть представляет собой гидротехнические сооружения овражно-балочного типа с одно-, двух- и трехсторонним обвалованием, два гидроотвала намыты на равнине и имеют обвалование с четырех сторон, шесть расположены в старых горных выработках и относятся к котлованному типу. Гидроотвалы формировались по единой технологии. Сначала отсыпались дамбы первичного обвалования и создавались емкости, в которые затем намывалась пульпа – смесь воды и породы. После чего производились отсыпки последующих дамб наращивания и осуществляется дальнейший намыв в формирующиеся емкости и т.д.

По количеству дамб (ярусов) гидроотвалы Кузбасса разделяются на одоярусные и многоярусные с максимальным количеством ярусов 15 на гидроотвале «Бековский. Высоты гидроотвалов изменяются в широких пределах от 4 (гидроотвал «Западный») до 77,5 м (гидроотвал «Бековский»). Наиболее высокими сооружениями, кроме упомянутого выше гидроотвала «Бековский», являются гидроотвалы «Коровихинский» (73 м), «Акташский» (61 м),

«Кедровский №3» (53 м), «Черниговский №3» (52 м), на реке Еловка (55 м), на реке Прямой Ускат (53 м), на реке Еланный Нарык (55 м).

Площадь сооружений также изменяется в широких пределах: от очень маленьких, занимающих 6 га, до крупных, площадь которых измеряется сотнями гектар и достигает в случае гидроотвала на реке Еловка 800 га. Кроме данного сооружения к крупным по площади можно отнести следующие гидроотвалы: №1 разреза «Черниговский» (640 га), «Сагарлыкский» разреза «Бачатский» (600 га), №5 разреза «Кедровский» (545 га), рана реке Черновой Уроп разреза «Сартаки» (460 га).

Емкости гидроотвалов также варьирует в широких пределах от 0,6 до 300 млн. м³ [87]. По вместимости наибольшим намывным сооружением в регионе являются гидроотвал на реке Еловка, в который размещено около 300 млн. м³. Другие большие по площади гидроотвалы имеют значительно меньшие емкости, а именно: «Сагарлыкский» - 100 млн. м³, «Бековский» - 80 млн. м³, №1 и №2 разреза «Черниговский» соответственно 60 млн. м³ и 52 млн. м³, на реке Прямой Ускат - 57,5 млн. м³.

Гидроотвалы в большинстве своем, за исключением нескольких сооружений, сформированных на ранних этапах применения гидромеханизации в регионе рассредоточенным безэстакадным способом, намывались из торцов пульповодов. При этом интенсивность намыва, в среднем составляя 1-2 м/год, имела максимальные значения до 3-6 м/год на первых этапах эксплуатации, а минимальных 0,5 – 1,0 м/год - при завершении.

1.1.2 Отсыпка отвалов на гидроотвалах

Наметившийся в 70-х годах прошлого столетия при разработке МПИ дефицит площадей земельного, в том числе, при размещении пустых пород во внешние отвалы связан с ужесточением экологических требований и рационального землепользования. Решение данной проблемы в Кузбассе осуществлялось путем увеличения высоты существующих горнотехнических сооружений и использования для этих целей малопригодных для хозяйственных нужд территорий: пойм естественных водотоков (рек и ручьев), заболо-

ченных участков, болот и прочих неудобий. Кроме того, в эти годы на некоторых разрезах прекращает существование гидромеханизация, завершается эксплуатация гидроотвалов и их поверхности освобождаются для размещения отвалов. Поэтому идея об их использовании в качестве оснований отвальных сооружений возникла сразу после прекращения намыва первого гидроотвала. Положительными моментами реализации данного предложения явилось значительное увеличение отвалоемкости территорий, сокращение площадей земельного отвода и затрат на рекультивацию, уменьшение, как правило, расходов на транспортировку пород до отвала, ускорение сроков выполнения рекультивации территорий за счет отсыпки на поверхность более прочных отвальных пород, характеризующихся большей, относительно намывных отложений, несущей способностью.

Однако первые попытки отвалообразования на гидроотвалах были осложнены несколькими обстоятельствами, которые возникли, в первую очередь, при выборе технологии отсыпки на намывной поверхности первого отвального яруса. Низкая несущая способностью намывных отложений предопределила при отсыпке на них отвальных насыпей любой высоты (с учетом нагрузки от отвального оборудования) развитие деформаций откосов, сопровождающихся выдавливанием намывных пород, которые существенно осложнили технологический процесс отвалообразования и потребовали разработки специальных мероприятий.

Во вторую очередь, оказалось, что для обоснования формирования многоярусных отвалов на гидроотвалах отсутствует методология оценки устойчивости откосов и выбора оптимальных параметров новой ПТС «отвал+гидроотвал». Это связано с тем, что при взаимодействии отвальных насыпей и намывных массивов, сложенных сильно сжимаемыми и слабопроницаемыми водонасыщенными породами, в них образуется избыточное поровое давление, снижающее эффективные напряжения в скелете намывных пород и, соответственно, сказывающее на их прочности. Поэтому выполнению расчетов устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» должно пред-

существовать прогнозирования порового давления в намывных породах и установление закономерностей изменения показателей прочности от эффективных напряжений, изменяющихся при развитии гидрогеомеханических процессов.

Обоснование параметров ПТС «отвал+гидроотвал» и технологии отвалообразования на гидроотвалах должны осуществляться на базе специальной системы обеспечения, включающие: 1) изучение инженерно-геологических условий намывных, насыпных и естественных массивов; 2) прогнозирование в массивах ПТС гидрогеомеханических и гидродинамических процессов; 3) оптимизацию параметров ПТС «отвал+гидроотвал» с учетом развивающихся в массивах процессов [7-10].

На разрезах Кузбасса при внешнем отвалообразовании используются две основные схемы отвальных работ, использующие автомобиль как средство доставки пород и бульдозер - для размещения их в отвале, а также железнодорожный транспорт и экскаваторы (как мехлопаты, так и драглайны). В первом случае отвальные и транспортные механизмы располагаются на отвале в зоне развития деформаций в течение короткого промежутка времени, выполняя разгрузку материала (автосамосвал), перемещение его под откос и планировку поверхности (бульдозер). Организация отвальных работ предполагает отсыпку пород отвальными заходками, на которые разбит весь отвальный фронт по периметру гидроотвала. При формировании заходки отвальные работы ведутся до появления критических деформаций, затем переносятся на другую заходку, где деформации еще не развивались или уже закончились.

При использовании на отвалах драглайнов, которые могут располагаться на поверхности отвала вне зоны развития оползневых деформаций, отсыпка пород обеспечивать локализацию выдавленных из-под отвалов пород в пределах гидроотвала, что достигается выбором направления развития отвального яруса от границ к центру.

Иногда при отсыпке отвалов на гидроотвалах используются мехлопаты,

линейные параметры которых не обеспечивают безопасное расположение отвального механизма на заходке относительно формируемой зоны развития деформаций. Ю.И. Кутеповым [6] разработан способ отвалообразования на гидроотвале с применением экскаваторов - мехлопат, предполагающий частичную переэкскавацию пород на ранее отсыпанной заходке для создания трассы перемещения отвального механизма. Данная технологическая схема использовалась на гидроотвале «Южный» разреза «Колмогоровский» [87].

Обеспечение безопасности отвалообразования на гидроотвалах должно осуществляться выполнением обязательного мероприятия - мониторинга безопасности, включающего различные виды наблюдений, работ и исследований. Их можно объединить в рамках трех направлений: инженерно-геологического, гидрогеологического, маркшейдерского и технологического. Обоснование состава и регламента мониторинга безопасности на каждой ПТС «отвал+гидроотвал» производится разработкой советующего «Проекта...» на основании конкретных инженерно-геологических условий и используемой технологии отвалообразования.

В Кузбассе отвалообразование на гидроотвалах начало осуществляться с начала 70-х годов прошлого столетия. Одним из первых объектов был отвал, отсыпaeмый на гидроотвале «Западный» разреза «Бачатский». Его площадь на момент завершения намыва составила около 390 га при максимальной мощности пород 6 м. В качестве технологической схемы здесь использовалась железнодорожная доставка пород и размещение их в отвал драглайнами ЭШ 10/70. В настоящее время отвал законсервирован. На момент завершения эксплуатации в 2012 году он имел высоту более 100 м. Подобная схема также применялась при отсыпке отвалов на гидроотвалах «Акташский» разреза им Вахрушева, «Новобачатский» и «Новоалександровский» разреза «Краснобродский», «Пихтовский» разреза «Кедровский» и др.

Внешнее отвалообразование с использованием автомобильного транспорта и бульдозеров впервые стало применяться на гидроотвалах «Новобачатский» разреза «Краснобродский», «Сагарлыкский» и «Свободный» разре-

за «Бачатский». При этом на одном из самых крупных по площади гидроотвале «Сагарлыкский» (600 га) с 1976 года размещено более 300 млн. м³ отвальных пород. В настоящее время данное сооружение в год принимает объемы пород около 25-30 млн. м³. По автомобильно-бульдозерной технологии за 40 летний период времени отвалообразование выполнялось на гидроотвалах разрезов «Прокопьевский», им. Вахрушева («Абинский»), «Киселевский» (№№ 1 и 4), «Новосергеевский» («Змеинка», «Шакровка», «Бахтыхта»), «Сартаки» (в выработках пластов 1и2 и 4-5), «Черниговский» (№№ 2 и 3), «Кедровский» (№№ 1,2,3) и др.

В 2014 году завершена эксплуатация гидроотвала на реке Еланный Нарык разреза «Талдинский». На его площади можно отсыпать отвал высотой более 90 метров за период в 6-10 лет, т.е. с очень высокой интенсивностью отвальных работ. В 2015 году прекратился намыв в гидроотвал на реке Прямой Ускат, его площадь планируется под внешний отвал.

Анализируя условия отвалообразования на гидроотвалах разрезов Кузбасса, отметим, что наибольшим применением на внешних отвалах пользуется автомобильно-бульдозерная технологическая схема. ПТС «отвал+гидроотвал» представляют собой многоярусные сооружения высотой до 100 м. В отвалы отсыпается обломочный материал скальных пород, представленный в основном алевритами и песчаниками с содержанием в общем объеме до 30% четвертичных суглинков и глин. При отвалообразовании используются большегрузные автосамосвалы грузоподъемностью 320 т.

1.2 Анализ изученности вопросов обоснования параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности отвальных работ

Отвалообразование при открытой разработке угольных месторождений является заключительным этапом вскрышных работ, включающим процессы складирования извлеченных из земли пустых пород на земной поверхности в пределах специально отведенных участков. Отвалообразование занимает одно из важнейших мест в технологической цепочке горного производства, поэтому вопросы разработки технологических схем отвальных работ, выбора применяемых для этих целей механизмов, обоснования параметров горно-технических сооружений на этапах от проектирования до рекультивации являются важнейшими для горной промышленности научными задачами. Их многоплановость предопределяет необходимость привлечения при их решении специалистов различных областей знаний – геотехнологов, геомехаников, инженеров геологов и др.

Изучению различных аспектов отвалообразования посвящены работы выдающихся ученых горняков: Е.Ф. Шешко [11], Н.В. Мельникова [15], В.В. Ржевского [13], П.Э. Зуркова [12], Г.Л. Фисенко [14] и их учеников – представителей научных школ различных высших учебных заведений и отраслевых научно-исследовательских институтов: МГИ – МГГУ - МИСИС, ВНИМИ, ЛГИ-СПГИ, МГМИ, ВАОГЕМ, КПИ и др. За более чем 60-летний временной промежуток произведены многочисленные исследования по следующим направлениям отвалообразования:

1. Направление 1 - Обоснование технологических схем и механизация процессов производства отвальных работ. Работы в рамках выделенного при анализе направления выполняли известные ученые СССР - Н.Н. Мельников [18,19], И.И. Русский [16,17], Н.В. Васильев [20], Г.А. Нурок [21,22,23], Д.Л. Меламут [24], А.И. Харин [25], А.Г. Лутовинов [101], И.М. Ялтанец [26], Е.А. Кононенко [27], А.Д. Шерстюков [101] и др.

2. Направление 2 - Изучение инженерно-геологических и гидрогеоло-

гических условий формирования намывных и насыпных техногенных массивов, а также гидрогеомеханическое обеспечение оптимизации параметров горнотехнических сооружений. Отметим работы известных геомехаников, маркшейдеров и геологов, таких как: Г.Л. Фисенко [14], Ю.Н. Малюшицкий [37], И.П. Иванов [33], А.М. Гальперин [28-31], А.М. Демин [34], О.Ю. Крячко [32], А.И. Ильин [36], М.Е. Певзнер [35], А.Б. Макаров А. Б. [35], В.И. Стрельцов [36], Л.П. Загоруйко [38], Ю.И. Кутепов [6, 39], В. В. Мосейкин [41], Н.А. Кутепова [40], Ю.В. Кириченко [42, 72] и др.

Заслуживает внимание разработанные в СССР для горной промышленности различные нормативно-методические документы. В частности, для разрезов угольной промышленности СССР институтом НИИОГР (г. Челябинск) с привлечение известных ученых и инженеров страны были разработаны две редакции (1968 и 1974 гг.) «Типовых технологических схем ведения горных работ на угольных разрезах» [43, 44]. Данный документ включал практически все технологические схемы отвалообразования, применяемые на открытых горных работах к времени его разработки. Так, для отсыпки отвалов на гидроотвалах в нем предложена технологическая схема драглайнового отвалообразования, предполагающего размещение механизма на поверхности отвального яруса вне призмы возможного оползания, что обеспечивается значительными линейными параметрами стрелы экскаватора.

Советский этап развития народного хозяйства СССР предполагал производить обоснование оптимальных параметров отвальных сооружений на основании на основании нормативных документов – правил, указаний и рекомендаций, разработанных институтом ВНИМИ [45-49]. Среди них одним из последних, разработанных данным отраслевым институтом, явились «Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах», утвержденные Ростехнадзором РФ в 1998 году. В данном документе рассматриваются вопросы практически все вопросы, возникающие при обеспечении устойчивости бортов, уступов и отвалов угольной промышленности.

Особым видом внешних отвальных сооружений являются гидроотвалы,

формируемые средствами гидромеханизации. Интенсивным ее применением в СССР следует считать 70-х и 80-х годах прошлого столетия. В данный период нарабатывалась различными организациями и институтами нормативно-методическая база: ВНИИГС [50, 51], ВНОГЕМ [52, 53], ВНИМИ [54]. В 1997 году в РФ принимается Федеральный Закон ФЗ-117 «О безопасности гидротехнических сооружений», регламентирующий правовые отношения между государством, органами надзора и собственниками гидротехнических сооружений. После его принятия подготовлены документы, касающиеся разработки деклараций безопасности ГТС [55], организации и проведения на них мониторинга безопасности [56] и пр.

Одной из сложнейших геомеханических и технологических задач, возникающих при отвалообразовании на разрезах и карьерах, использовавших в различное время гидромеханизацию, является обоснование параметров и технологии отвалов на гидроотвалах, эксплуатация которых завершена. Выше в разделе 1.1 рассмотрена специфика данного вопроса применительно к гидроотвалам Кузбасса. Такое пристальное внимание к ним объясняется, во-первых, большим количеством сооружений, пригодных для размещения внешних отвалов. Во-вторых, большая часть гидроотвалов располагается в непосредственной близости от горных выработок разрезов, где производятся вскрышные работы, поэтому отсыпка отвальных насыпей здесь дает существенную экономию за счет сокращения дальности транспортировки пустых пород.

Исследования гидроотвалов и обоснование параметров отвалообразования на них выполнялись различными научными и производственными организациями: ВНИМИ, ООО НПФ «КАРБОН», МГИ, УкрНИИПроект, НИИККМА и др. Ими были разработаны способы отсыпки отвалов на гидроотвалах, проведены различные инженерно-геологические исследования, обоснованы параметры и технология отвалообразования на намывной поверхности, разработаны предложения по мониторингу (контролю) устойчивости откосов ПТС «гидроотвал+отвал». Наиболее значительный вклад в

изучении взаимодействий намывного и насыпного техногенных массивов, инженерно-геологических условий формирования намывных и насыпных массивов, а также в обосновании параметров новых ПТС, внес коллектив лаборатории гидрогеологии и экологии института ВНИМИ, руководимый проф. Ю.И. Кутеповым. Ими выполнены исследования и разработаны рекомендации по параметрам и технологии отвалообразования практически на всех гидроотвалах ОАО «УК» Кузбассразрезуголь». Анализ данных работ и исследований позволил в 1985 году разработать «Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов «сухих» пород, отсыпаемых на гидроотвалах» [57]. В нем приведена методология инженерно-геологического изучения и обоснования оптимальных параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах. Результаты выполненных ВНИМИ исследований вошли в подготовленную О.Ю. Крячко монографию [32], ряд статей [58-62], докторских и кандидатских диссертаций [6, 39, 40]. Во всех перечисленных источниках основное внимание уделялось изучению инженерно-геологических условий намывных техногенных массивов, обоснованию конструкции новых ПТС «гидроотвал+отвал», устойчивости откосов, гидрогеомеханическим и геодинамическим процессам, возникающим при отвалообразовании на гидроотвалах. Данные исследования также вошли в следующий нормативно-методический документ, подготовленный лабораторией гидрогеологии и экологии ВНИМИ. Он вышел из печати в 2-х частях под названием – «Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов на слабых основаниях» (1989, 1990 г.) [63, 64]. В настоящее время исследования гидроотвалов, отвалов Кузбасса и полигонов фосфогипса [74] в аспектах обоснования их оптимальных параметров продолжаются коллективами ООО НПФ «КАРБОН» и лаборатории гидрогеологии и экологии научного центра геомеханики и проблем горного производства СППУ под руководством профессора Ю.И. Кутепова, являющиеся правопреемниками методологии ВНИМИ.

Одновременно с институтом ВНИМИ изучение гидроотвалов и хвосто-

хранилищ производилось на кафедре геологии МГИ под руководством профессора А.М. Гальперина. Исследования сотрудниками кафедры были выполнены на намывных объектах Кузбасса и КМА. Результаты данных работ легли в основу для написания ряда монографий [28-31], статей [65 – 68, 70] и диссертаций (Б.К. Лапочкин [69], С.Е. Жданов [71], Ю.В. Кириченко [42, 72], В.В. Мосейкин [41], Е.П. Щербакова [73], В.М. Павленко [75] и др.). В работах МГИ много внимания уделяется изучению процессов фильтрационной консолидации, приводятся результаты изучения намывных и насыпных техногенных массивов, рассматривается инженерно-геологическое районирование намывных территорий, обосновывается мониторинга устойчивости и пр.

В 70-тые годы прошлого столетия вопросами использования территорий гидроотвалов занимались специалисты института УкрНИИПроект (г. Киев). Исследования института, выполняемые под руководством Ю.Н. Малюшицкого [37] на центробежных моделях, посвящались обоснованию параметров отвалообразования на гидроотвале «Сагарлыкский» разреза «Бачатский» в Кузбассе. Данный метод имеет ряд существенных недостатков технического и методического плана, в частности, он не учитывает возможности уплотнения намывных пород, что при разработке рекомендаций привело к выбору технологии драглайнового отвалообразования. Реализация данных рекомендаций в условиях разреза «Бачатский» при планируемых объемах вывоза вскрыши на гидроотвал «Сагарлыкский» потребовала бы задействовать 6-8 драглайнов ЭШ 10/70, которых на предприятии физически не было.

Научным сотрудником института УкрНИИПроект Л.П. Загоруйко применительно к гидроотвалу «Новобачатский» разреза «Краснобродский» в Кузбассе обоснована схема развития отвальных работ, включающая на первом этапе разделение намывного массива отвальными насыпями на секции, а втором – развитие отвальных работ на каждой их секций в направлении от периферии к центру [38]. Реализация данной секционной схемы на практике очень сложна и не безопасна в связи с развивающимися при отсыпке насыпей

деформациями откосов, которые не учитывались при ее обосновании.

Институтом НИИКМА применительно к гидроотвалам КМА обосновано использование экскаваторов при железнодорожной доставке пород до отвала. Сотрудники института Дергилев М.А., Жариков В.С. и Бабец А.М в работах [76, 77] рассматривали данную проблему на уровне идеи, анализируя применение комбинированного способа.

Заслуживают внимание работы по обоснованию отвалообразования на гидроотвалах Кузбасса, выполненные инженерно-техническими специалистами ОАО «Кузбассразрезуголь» под руководством профессора Ю. И. Кутепова. В 2002 году А.В. Могилиным [86] выполнялись исследования по обоснованию параметров и технологии отвалообразования на разрезе «Бачатский», по результатам которых была подготовлена и защищена диссертационная работа. В ней автором выполнен анализ инженерно-геологических исследований намывных массивов различных гидроотвалов, обоснованы параметры отвалов и технология отвалообразования с применением схем бульдозерного и экскаваторного-драглайнового отвалообразования при автомобильной и железнодорожной доставке пород до отвала.

В 2005 году В.П. Жариков [87] выполнил исследования на гидроотвалах разрезов «Колмогоровский» и «Сартаки» на предмет их рекультивации и использования в качестве оснований отвальных насыпей. На гидроотвале «Южный» рассмотрены условия применения экскаваторной технологии при автомобильной и железнодорожной доставке пород до отвала. Кроме того, здесь была обоснована автомобильно-бульдозерного отвалообразования на намывных массивах большой мощности (до 80 м), сформированных в выработках пластов 1 и 2, 4 и 5.

В 2006 году А. Федосеевым [88] на основании исследований гидроотвалов разреза «Кедровский» защищается кандидатская диссертация, посвященная частичной отработки гидроотвала №3 с целью разработки законсервированных под ним запасов угля. Одним из ключевых вопросов работы являлось обоснование новой конструкции откоса гидроотвала, не подлежащего

отработки. Данную новую устойчивую конструкцию остающейся части намывного массива предлагается создать путем отсыпки на поверхности гидроотвала разделительной насыпи, обеспечивающей выдавливание намывных пород и замещение их более прочными отвальными массами

В анализе следует остановиться на диссертационной работе А.Х. Саркисяна [68], посвященной изучению намывных отложений гидроотвалов, находящихся на различных этапах существования. В ней рассматриваются особенности формирования строения, состава, состояния и свойств намывных массивов на этапах намыва, «отдыха», консервации и отсыпки на них отвалов «сухой» вскрыши, а также приводится методологии инженерно-геологического изучения гидроотвалов.

Важнейшими вопросами при обосновании оптимальных параметров отвалов на гидроотвалах является инженерно-геологическое изучение отложений отвалов и гидроотвалов. Этому посвящены исследования различных университетов и исследовательских организаций: МГИ, ВНИМИ, СПГУ, СПбГТУ, ВНИИГ, ВИОГЕМ, МГУ и др. Наиболее значительной работой в этом списке является монография А.М. Гальперина «Техногенные массивы и охрана окружающей среды», изданная в 1997 году. В ней обобщен опыт изучения намывных и насыпных техногенных массивов различного профиля в России и за рубежом. В последующие годы профессором А.М. Гальпериным с коллективом авторов подготовлена монография «Освоение техногенных массивов на горных предприятиях» (2012 г.) [78].

Также следует отметить монографию О.Ю. Крячко, посвященную управлению отвалами открытых горных работ [32]. В ней рассматриваются условия отвалообразования различных горных предприятий СССР на основании последовательного развития положения о взаимной увязки технологии отвалообразования и изучения инженерно-геологических условий.

Геомеханическому обоснованию параметров горнотехнических сооружений посвящены исследования многих авторов. Среди них представляют определенный интерес работы по обоснованию методов расчетов устойчиво-

сти откосных сооружений. В практике выполнения расчетов устойчивости откосов горнотехнических сооружений известно около 100 способов. Они различаются друг от друга использованием различных физических моделей деформационного поведения массивов пород, полнотой учета разнообразных факторов, способами построения поверхностей скольжения, точностью полученных результатов и т. д.

На угольных предприятиях СССР институтом ВНИМИ [14,49] рекомендовано использовать два основных метода расчета - алгебраическое и векторное сложение сил по заданной поверхности скольжения. Преимущество метода Г.Л. Фисенко заключается в том, что он использует фундаментальное положение теории предельного равновесия «о фиксированном угле наклона площадок скольжения к направлению максимального сжимающего напряжения» [14]. Это позволяет достаточно хорошо определять местоположение наиболее напряженной поверхности в откосе без рассмотрения большого числа вариантов, как это принято при использовании расчетов по круглоцилиндрической поверхности. Вторым рекомендованным методом расчета является метод многоугольника сил в графической постановке [14]. Развивая данный метод В.Н. Хашин [79] и А.М. Мочалов [80] разрабатывают на его основе аналитический способ расчета устойчивости отвалов на наклонном слабом основании. В последующем данный способ был усовершенствован в плане учета при определении устойчивых максимальных параметров отвалов на слабом водонасыщенном основании сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления в теле отвала и порового давления в его основании [64].

Изучение деформационного поведения «слабого» основания при отсыпке на нем отвала производилось А.М. Деминим и О.И. Шушиной [81,82] на основании использования моделирования на эквивалентных материалах, представленных смесью кварцевого песка и солидола. В процессе выполнения исследований установлено частичное выдавливание слабого слоя и уплотнение оставшихся пол отвалом пород. Следует заметить, что данное

моделирование выполнялись применительно к условиям внутренних отвалов Дальнего Востока и Южного Кузбасса, формируемым по бестранспортной схеме.

Исследование устойчивости склонов при наличии в основании «слабого» породного слоя производилось также на моделях из эквивалентных материалов во ВНИМИ А.М. Мочаловым [80]. Они позволили уточнить установленные ранее теоретические закономерности деформационного поведения системы «отвал+слабое основание», выявив положение поверхности скольжения на границах слоев: слабого и прочного.

Заслуживают внимания работы Е.Н. Завориной [83] и В.Г. Зотеева [84], посвященные ведению отвальных работ в различных инженерно-геологических условиях, в том числе на слабом основании в режиме контролируемого деформирования откосов. Они позволили установить закономерности деформаций отвала и разработать методику определения скорости продвижения фронта отвала. Кроме того, в них определены взаимосвязи отсыпки отвала и скоростью деформаций, а также обоснованы рекомендации ведения по разгрузке автосамосвалов у предохранительного вала под откос.

Подводя итог выполненному анализу имеющихся источников информации в области инженерно-геологического обоснования оптимальных параметров горнотехнических сооружений, в том числе, отвалов на гидроотвала, следует отметить:

1) отвальные горнотехнические сооружения являются изученными объектами открытого горного производства с разных сторон: - технологии и механизации отвальных работ; - оценки и прогноза инженерно-геологических условий формирования и гидрогеомеханического обоснования оптимальных технологии и параметров отвалообразования; однако в рассмотренных в анализе работах и исследованиях, совокупность горнотехнических сооружений не рассматривалась в рамках единых природно-технические системы (ПТС); кроме того накопились результаты инженерно-геологического изучения условий формирования намывных массивов при от-

сыпке высоких отвалов с высокой интенсивностью отвалообразования, которые требуют выполнения научного анализа;

2) исследования, посвященные проблемам использования территорий гидроотвалов под отвалы «сухой» вскрыши, достаточно хорошо освещалось в научно-технической литературе с позиций инженерно-геологического обоснования параметров отвалов на водонасыщенном намывном основании; однако одним из нерешенных вопросов является прогнозирование формоизменения намывного массива при отсыпке на его поверхности первого отвального яруса в режиме контролируемых геодинамических процессов; кроме того не рассмотрены вопросы влияния интенсивности формирования отвалов на их параметры и отсутствует обоснования применения автосамосвалов грузоподъемностью 320 тонн.

ГЛАВА 2 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПТС «ОТВАЛ+ГИДРООТВАЛ» РАЗРЕЗА «ТАЛДИНСКИЙ»

2.1 Характеристика ПТС и ее элементов

2.1.1 Общая характеристика отвальных сооружений

«Отвалами называют инженерные сооружения, возводимые в процессе добычи и переработки полезного ископаемого планомерным складированием вскрышных пород или отходов обоганительного производства» [6]. Их проектирование, строительство и рекультивация поверхностей на этапах ликвидации должно базироваться, в первую очередь, на экономических и природоохранных принципах, «смысл которых сводится к обеспечению максимальной технико-экономической эффективности отвальных работ при минимальном нарушении естественной экологической обстановки» [6]. Данное требование обеспечивается на основании выбора с учетом конкретных горно-геологических условий оптимальных «местоположения, конструкции и технологии формирования сооружения» [6].

Место размещения отвального горнотехнического сооружения выбирается обычно с учетом кадастровой стоимости земли, учитывающей расстояние до горных выработок разреза или обоганительной фабрики, плодородие почвы, наличия различных транспортных и энергетических коммуникаций, сооружений различного назначения и многое другое. Обычно под отвалы стараются выделять территории, характеризующиеся низкой стоимостью: болота и заторфованные земли, склоны, косогоры и другие участки с большой эрозионной расчлененностью рельефа (лога, балки, овраги), поймы рек и малых водотоков, выработки отработанных горных участков разрезов.

Фактор местоположения отвала существенно определяет его конструкцию, применяемую технологию отвалообразования и способ последующей рекультивации. Обоснование параметров отвалов и выбор технологии отвальных работ требует учета следующих условий:

- устойчивость внешних откосов отвального сооружения должна быть обеспечена в соответствии с требованиями нормативного документа [97];
- на выделенную под отвал территорию следует разместить максимально возможный объем вскрышных пород, т. е. обеспечить максимальную ее отвалоємкость;
- рекультивация поверхности отвала должна осуществляться с минимальными затратами;
- обязательное условие отвалообразования, как и любого другого процесса горных работ, - обеспечение их безопасности.

Конструктивно отвалы включают в себя следующие основные элементы - естественное основание и собственно техногенный массив (намывной или насыпной в зависимости от типа отвала). Техногенные массивы характеризуются наличием отвальных ярусов, отвалообразование на которых производится последовательно. Гидроотвалы также могут формироваться ярусами, поэтому они имеют дамбы первичного обвалования и наращивания. Кроме того, в строении намывного массива в связи с развитием процесса фракционирования частиц при намыве пульпы образуется пляжная, прудковая и переходная (промежуточная) зоны. Отвальные горнотехнические сооружения могут включать дополнительно специальные элементы, которые необходимы для обеспечения устойчивости их откосов и предотвращения развития опасных деформаций, а именно: «дренажные «подушки» в основании отвала, дренажные устройства в отвальных массивах и дамбах, призмы упора внешних откосов сооружения и другие» [6].

Основные параметры отвалов: общие высоты и генеральные (результативные) углы откосов, высоты отдельных ярусов и их количество, размеры берм между ярусами на внешних откосах.

По геомеханическим условиям ведения отвальных работ можно выделить:

- отсыпку отдельных ярусов (обычно во внутренних зонах отвала) в режиме управляемого деформирования откосов;

- обязательное обеспечение устойчивости откосов отвала и отдельных его элементов (ярусов).

Отвалы по гидрогеологическим условиям можно разделить на сооружения, включающие водонасыщенные техногенные массивы и отсыпаемые на водонасыщенном основании. При этом первую группу по условиям обводнения следует разделить на:

- отвалы, образовавшиеся при отсыпке (намыве) из обводненных пород (например, гидроотвалы и другие отвалы из слабопроницаемых пород, включающих различные виды воды);

- отвалы, отсыпанные сначала из «сухих» пород, а затем обводненные атмосферными осадками, водами подземных и поверхностных водотоков, а также отсыпанные непосредственно в воду.

2.1 Характеристика ПТС и особенности их инженерно-геологического изучения

Обеспечение безопасности и технико-экономической эффективности формирования отвалов «сухих» пород на гидроотвалах требует изучения инженерно-геологических условий формирования данных горнотехнических объектов, особенно их взаимодействие и совместное дальнейшее существование в рамках единой природно-технической системы – ПТС, состоящей из компонентов природной среды (ПС) – естественного основания и технической среды (ТС) – гидроотвала и отвала. Данная система формируется и функционирует на определенной базе, которая включает комплекс правовых, разрешительных и технических документов, используя теоретические основы различных научных направлений: геотехнологии, геоэкологии, инженерной геологии, гидрогеологии и пр.

Формирование различных горнотехнических сооружений происходит в конкретной части окружающей среды – литосфере, которую геологи предложили называть «геологической средой» [89] или «природной средой» (Е.М. Сергеев, 1979). Основными элементами природной среды (ПС) являются:

горные породы, почвы или искусственные грунты; рельеф; подземные воды; геологические и инженерно-геологические процессы и явления. Элементы технической среды (ТС) включают в себя горнотехнические сооружений. Общая совокупность ПС и ТС предложено называть [90-92] природно-техническими системами. Их формирование и функционирование подчиняется закону внутреннего динамического равновесия, который формулируется следующим образом: «Вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем, и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств систем, где эти изменения происходят, или в их иерархии» [93,94].

Промышленная и экологическая безопасность ПТС достигается применением разработанной «системы инженерно-геологического обеспечения» (СИГО), включающей совокупность работ, наблюдений и специальных исследований в рамках трех основных направлений: «1) изучение инженерно-геологических условий отвалообразования; 2) обоснование оптимальных параметров сооружений; 3) мониторинг состояния отвальных сооружений» [6]. Данная система предполагает последовательное и цикличное выполнение работ при формировании сооружений с учетом их одновременной и поярусной отсыпки (намыва) [112, 113].

Первое направление СИГО ставит своей целью на первых этапах дать инженерно-геологическую оценку основания отвала, а далее, на каждом последующем цикле (этапе) его формирования, определять состояние и свойство пород насыпного (намывного) массива и естественного основания, а также выполнять изучение и прогноз развития различных гидрогеомеханических процессов уплотнения и упрочнения пород, возникающих по мере роста высоты ПТС «отвал+гидроотвал». Инженерно-геологические исследования включают стандартные и оригинальные полевые и лабораторные опыты, в

том числе, опытные отсыпки отвальных насыпей с регистрацией НДС пород в ПТС «отвал+основание».

Анализ выполненных исследований должен заканчиваться разработкой гидрогеомеханической модели (ГГМ) ПТС «отвал+гидроотвал», позволяющей оценить и прогнозировать состояние устойчивости нового объекта (отвал+гидроотвал) с учетом основных природных и технологических факторов. Данная модель разрабатывается в рамках второго этапа СИГО, посвященному обоснованию оптимальных параметров ПТС «отвал+гидроотвал».

2.2 Характеристика гидроотвала на реке Еланный Нарык

Гидроотвал на реке Еланный Нарык был построен в 1996 году отсыпкой 2-х дамб первичного обвалования поперек одноименного лога (рисунок 2.1). Эксплуатация его начала осуществляться в следующем году и продолжалась до сезона намыва 2013 года, т.е. в течение 24 сезонов намыва с мая по октябрь каждого года. Данное гидротехническое сооружение предназначалось для гидравлического складирования покровных вскрышных пород глинистого состава неоген-четвертичного возраста, разрабатываемых на Талдинском поле филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез» средствами гидромеханизации. Гидроотвал представлял собой на первых порах намывное гидротехническое сооружение овражно-балочного типа, образованное отсыпкой двух плотин №1 (низовой) и №2 (верховой), перегораживающими русло реки Еланный Нарык.

Высота плотин неоднократно наращивалась в соответствии с проектами института «Гипроуголь» (Новосибирск) и на настоящий момент изменяется в самой глубокой части лога в его тальвеге от 52,5 до 57,5 м при абсолютных отметках гребней плотин в пределах +305,0 +307,5 м. Отметки воды в пруде отстойнике на момент завершения намыва составляли +300,9 м. При данной высоте плотин гидроотвал соответствует гидротехническим сооруже-

ниям I класса капитальности. Площадь сооружения составляет 128 га, емкость 60 млн.м³.



Рисунок 2.1 - Место расположения гидроотвала на реке Еланый Нарык

В 2008 году на разрезе начата реконструкция участка гидромеханизации, связанная с переносом горных работ на другое поле. Это обстоятельство повлекло сокращение объемов намыва в гидроотвал. Так, в 2008 намыв около 614 тыс. м³ вскрышных пород, а в 2009 – 1436 тыс. м³, а в 2010 – 1,0 млн. м³, в 2011 и 2012 гг. – 1,0 млн. м³ и 250 тыс. м³ отходов КНС. В 2013 году намыв пород в объеме около 1,0 млн. м³ вскрышных пород производился до ноября.

В соответствии с действующими в РФ на объектах промышленной гидротехники нормативно-методическими документами: «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов» (ПБ 03-438-02) и «Инструкция о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Ростехнадзора России (РД 03-259-98)» на гидроотвале разреза «Талдинский» организована система мониторинга безопасности. В ее рамках производится гидрогеомеханический мониторинг (ГМ) на двух плотинах с целью контроля состояния устойчивости низовых откосов. ГМ вы-

полняет следующие функции: первая это регистрация изменений гидрогеологического режима в естественных породных массивах основания сооружения; вторая – оценка устойчивости откосов и прогноз развития неблагоприятных деформаций при изменении гидрогеомеханических параметров.

В 2014 году намыв в гидроотвал прекращен в связи с подготовкой данной территории под отсыпку отвала «сухой» вскрыши и отсутствием объемов пород, пригодных для разработки гидромеханизацией. В том же году выполнены работы по отсыпке пригрузов низового откоса для улучшения условий устойчивости плотин №1 и №2, удалению воды из пруда-отстойника на гидроотвале, ликвидации пруда-накопителя оборотной воды в нижнем бьефе плотины №2, перенос насосной станции и демонтаж водоотводящих и пульпоподводящих их трубопроводных магистралей (рисунок 2.2).

Кроме того, на некоторых участках поверхности гидроотвала выполнены опытно-промышленные эксперименты по отсыпке отвалов «сухих» пород. В частности, еще в 2012-13 гг. участок ответвления лога у дамбы № 1 был полностью засыпан при высотах отвального яруса 10-15 метров с использованием автомобильного транспорта и бульдозеров. Отвальные работы велись в режиме контролируемых оползневых деформаций. В 2014 году опытные отвалы отсыпались вдоль дороги на правом борту лога, а в 2015 году началась реализация проекта размещения отвалов сухой вскрыши на гидроотвале (рисунок 2.3 и 2.4).

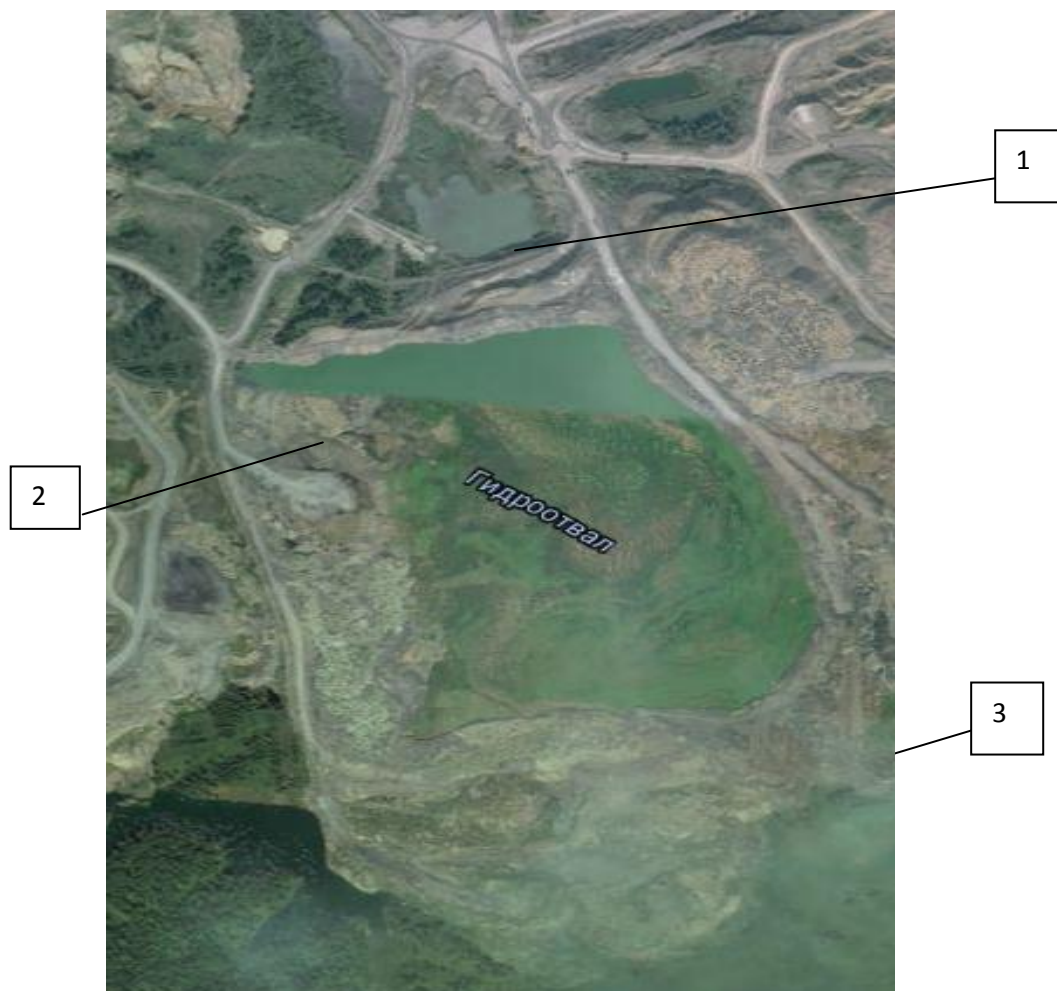


Рисунок 2.2 - План гидроотвала на реке Еланый Нарык
1-дамба №2; 2- первый отвальный ярус; 3-дамба №1

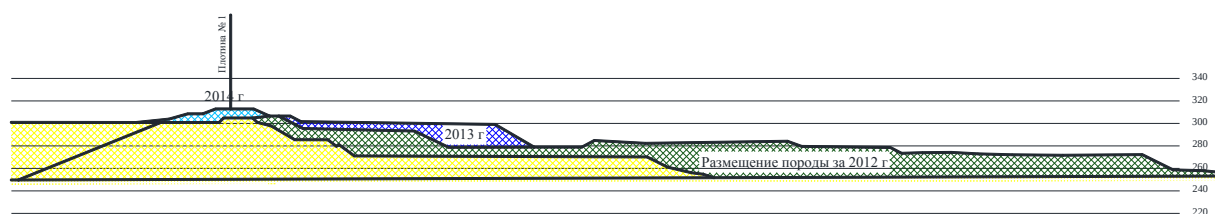


Рисунок 2.3 - Профиль по плотине №1

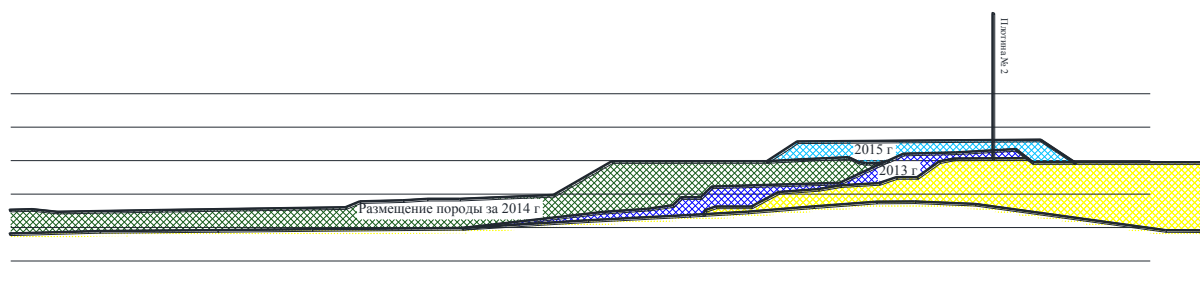


Рисунок 2.4 - Профиль по плотине №2

2.3 Инженерно-геологическое строение намывного массива, плотин и естественного основания гидроотвала на реке Еланный Нарык

2.3.1 Строение и физико-механические свойства плотин и оснований

По местоположению, механическому составу и физико-механическим свойствам в теле и основании плотин выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ) (рисунок 2.5):

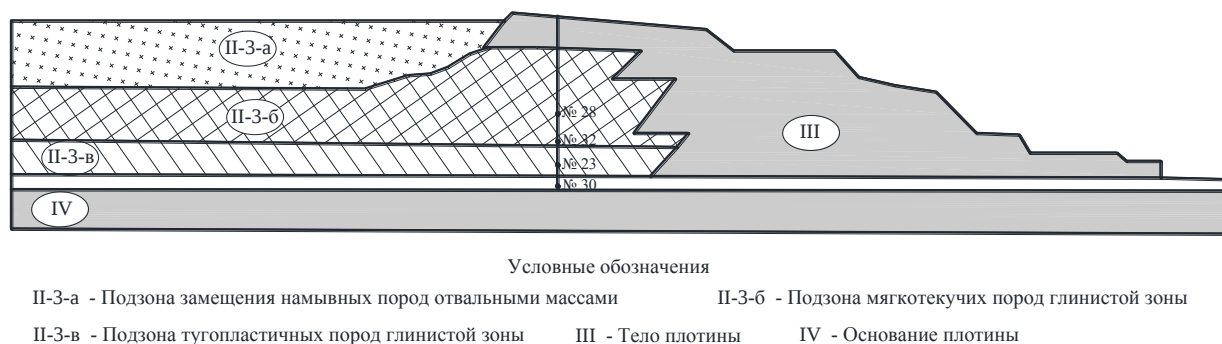


Рисунок 2.5 - Разрез гидроотвала в районе дамбы №2

Тело плотины №1

ИГЭ 1т и ИГЭ 2т – насыпной глыбовый и щебенистый грунт темно-серого цвета с суглинистым заполнителем, составляет тело плотины;

ИГЭ 4т– суглинистый грунт, слагает противофильтрационный экран.

Основание плотины №1

ИГЭ 8 – суглинок темно-коричневого и светло-серого цвета тугопластичной консистенции; залегает в виде линзы мощностью до 2 м в центральной части разреза четвертичной толщи под глинами;

ИГЭ 9 – суглинок гравелистый, темно-коричневый, мягкопластичный; мощность слоя в нижней части четвертичной толщи от 4 до 5,5 м;

ИГЭ 10 – глина темно-серого цвета с примесью органического вещества мягкопластичной консистенции; залегает непосредственно в основании насыпного тела под почвенно-растительным слоем в виде слоя мощностью до 2 метров, постепенно выклиниваясь у нижней бровки дамбы.

Тело плотины №2

ИГЭ 1а - насыпной глыбовый и щебенистый грунт темно-серого цвета с суглинистым заполнителем от 30 до 45%, иногда с прослоями и линзами суглинка;

ИГЭ 1б – суглинок с содержанием дресвы и щебня до 10-25 %, твердой и полутвердой консистенции, среднесжимаемый;

ИГЭ 1в – суглинок текучий, сильносжимаемый, находится в толще насыпных, щебенистых пород в виде прослоев и линз;

ИГЭ 1г – суглинок с прослоями глин, являющихся элементами противофильтрационного экрана, тугопластичной, сильносжимаемый;

ИГЭ 1д – суглинок с дресвой и щебнем каменного угля, твердый, среднесжимаемый.

Основание плотины №2

ИГЭ 3 – торф темно-коричневый, сильно разложившийся, высокозольный, сильносжимаемый. Слой встречен на заболоченных участках лога, его мощность до 1,0 м;

ИГЭ 3а – глина серого и темно-серого цвета, слабозаторфованная, мягкопластичная, сильнопучинистая, сильносжимаемая, залегает под торфом, мощность слоя от 0,3 до 2,6 м;

ИГЭ 4 – аллювиальные суглинки и глины, серого и зеленовато-серого цвета, с примесью органики; слой мощностью от 0,8 до 4,9 м, иногда, до 8 м слагает долину реки;

ИГЭ 5 – гравий аллювиальный, слабо и хорошо окатан, с песчано-глинистым заполнителем до 15-35%;

ИГЭ 6 – суглинок с линзами глин, делювиальный, светло-коричневого цвета, ненабухающий, карбонатизированный, ожелезненный, мощностью от 0,5 до 23 м;

ИГЭ 8б – кора выветривания алевролита (элювий) до состояния суглинка, с включением щебня и дресвы; суглинок твердый, слабосжимаемый, не пучинистый.

Физико-механические свойства пород по плотинам №1 и №2 приводятся в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 - Параметры физико-механических свойств пород плотины №1

Описание пород элемента схемы	Ин- декс ИГЭ	Расчетные параметры		
		Сцепление С, МПа	Угол внутрен. Трения φ, град	Плотность γ, т/м3
Насыпное тело плотины:				
Глыбовый грунт с суглини- стым заполнителем	1т	0	30	2,01
Щебенистый грунт с су- глинистым заполнителем	2т	0,005	30	1,94
Глина тугопластичная (экран)	4т	0,015	16	1,98
Естественное основание плотины:				
Глина темно-серая с орга- никой	10	0,025	15	1,98
Суглинок коричневый и серый	8	0,05	18	1,86
Суглинок коричневый гра- велистый	9	0,05	18	1,86

Таблица 2.2 - Параметры физико-механических свойств пород плотины №2

Наименование инженерно-геологических элементов (ИГЭ)			Расчетные параметры		
			Плотность грунта, γ , т/м ³	Сцепление, С, МПа	Угол внутреннего трения, ϕ , град.
Тело плотины	Крупнообломочный ИГЭ 1а		2,01	0,015	32
	Насыпной грунт суглинистый	ИГЭ 1б $I \leq 0,50$	1,97	0,043	19
		ИГЭ 1в $I > 0,50$	2,0	0,020	10
		элементов экрана (предполагаемого) ИГЭ 1г	1,93	0,033	14
		с включением большого количества дресвы и щебня каменного угля ИГЭ 1д	1,76	0,015	20
Основание плотины	Торф ИГЭ 3		1,13	0	0
	Глина слаботорф. ИГЭ 3а		1,65	0,030	16
	Суглинок и глины зеленоватого-серые	ИГЭ 4а, $I \leq 0,50$	1,99	0,085	18
		ИГЭ 4б, 4в, $I > 0,50$	1,86	0,019	16
	Гравийный грунт ИГЭ 5		2,1	0,007	35
	Суглинок светло-коричневый Слой 6		1,9	0,026	15
	Элювий коренных пород Алеврит ИГЭ 8б		2,16	0,075	21

2.3.2 Инженерно-геологическое строение намывного массива

Изучению инженерно-геологических условий гидроотвалов Кузбасса посвящены работы сотрудников института ВНИМИ [6-10]. Они послужили основой для разработки схемы технолитогенеза намывных отложений, которая «отражает стадийность формирования состава, состояния и свойств намывных пород гидроотвалов Кузбасса, определяющие природные и технологические факторы, их роль и взаимосвязь на различных этапах. Схема составлена с учетом основных положений теории литогенеза о поэтапном формировании осадочных пород, которая сводится к схеме: мобилизация исходного материала – перенос – осаждение и преобразования осадков в породу, а также о стадийных изменениях состава, состояния и свойств пород под воздействием физико-химических и гравитационных процессов во время последующего существования в земной коре. Технолитогенез, как и природный геологический процесс литогенез, включает следующую последовательность этапов: *разрушение пород - их перемещение и отложение в новом месте – образование новых пород*, при этом на формирование техногенных пород помимо природных процессов оказывает влияние целый комплекс техногенных факторов, составляющих суть технологического производства» [6].

На первом этапе технолитогенеза происходит разрушение с применением технологических средств открытой разработки угля вскрышной толщи и формируется исходный состав намывных отложений.

В гидроотвалы вскрышных пород складировуют в основном дисперсные отложения неоген-четвертичного возраста, покрывающие углесодержащую толщу. Они разделяются на несколько свит: меретская (dpN_1-N_2 mr); моховская ($dpN_2^1-N_2^3$ mh); сагарлыкская (laN_2 sg); сергеевскую ($dpN_2-Q_1^1$ kr); кедровская (laQ_{1-11} nkd); бачатская ($dzQ_{11}^3-Q_{111}^3$ вс^v); краснобродская (aQ_{111}^3 kr) и еловская ($dzQ_{111}^4-Q_{1V}^1$). Генезис перечисленных выше отложений в основном делювиально-пролювиальный и субаквальный за исключением лессовидных суглинков еловской серии, имеющих эоловое происхождение. По составу большая часть пород неоген-четвертичной толщи

относится к пылеватым суглинкам. Однако среди субаквальных пород встречаются пылеватые глины и супеси. Минеральный состав частиц пылеватой и песчаной фракций характеризуется наличием кварца и полевого шпата, глинистой – гидрослюдой.

Размытый породный материал подается по пульповоду в гидроотвалы в виде пульпы с соотношением твердого и жидкого вещества примерно 1:10. Далее водопородная смесь через выпуски попадает на пляж намыва, продвигается по нему, формируя за счет процесса фракционирования неоднородный по гранулометрическому составу намывной массив. На рисунке 2.3 приведены графики изменения распределения основных фракций: песчаных, пылеватых и глинистых по мере удаления от фронта намыва. Данный процесс приводит к образованию на поверхности гидроотвала закономерного изменения состава пород от грубодисперсных (песков, супесей) до мелкодисперсных (суглинков, глин) разностей.

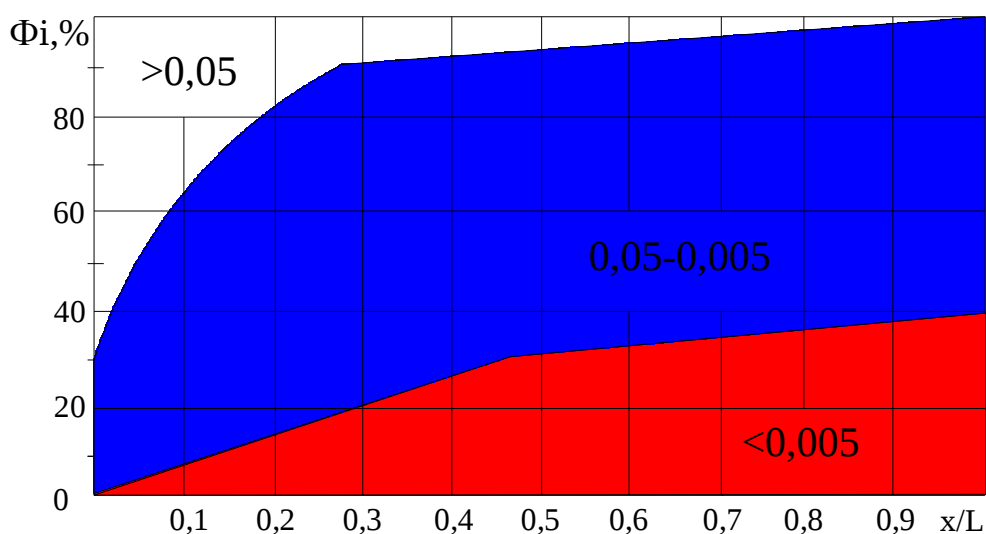


Рисунок 2.3 - Изменение гранулометрического состава намывных пород в гидроотвалах по удалению от фронта намыва [88]: Φ_i – содержание i -фракции; x – расстояние от фронта намыва до точки отбора образца; L – длина откоса намыва на уровне точки отбора

Образование намывных пород начинается с процессов коагуляции и агрегации тонкодисперсных частиц в суспензиях, их осаждении в гидроотвале. Происходит образование первичной структуры осадка, который впослед-

ствии, в первую очередь, в результате процессов физико-химического уплотнения преобразуется в породу. Дальнейшее преобразование сформировавшихся намывных отложений происходит в результате процессов гравитационного уплотнения под действием давления от вышележащей толщи пород, постоянно возрастающего в намывном массиве в процессе намыва. Происходит изменение структуры осадка с хаотичной на более ориентированную, уменьшается его пористости и влажности, изменяется консистенция пород с текучей до мягко- и тугопластичной и далее полутвердой и твердой, т. е. наблюдается развитие процессов уплотнения и упрочнения намывных отложений. При гравитационном уплотнении наблюдается изменение физико-механических свойств пород в соответствии с трансформацией напряженного состояния пропорционально нарастанию эффективных напряжений в скелете пород, которые в водонасыщенных породных массивах обусловлены весом вышележащих пород и поровым давлением.

Учитывая установленные закономерности фракционирования частиц на карте намыва, намывной массив рекомендовано разделять на зоны по составу пород, определяющему, во многом, их прочностные и деформационные свойства, а также развитие различных гидрогеомеханических и геодинамических процессов [6]. По составу пород намывные массивы следует разделять на песчано-супесчаную, суглинистую и глинистую зоны. Песчано-супесчаные породы характеризуются высокими фильтрационными свойствами и относительно низкой сжимаемостью, поэтому они под нагрузкой от отвальной насыпи достаточно быстро к ним приспособляются, изменяя и прочность, поэтому оползневых деформаций откосов отсыпаемого здесь отвального яруса можно избежать выбором устойчивых параметров. Отсыпка отвальных ярусов на суглинистые и глинистые отложения, характеризующихся более низкими значениями коэффициентов фильтрации и консолидации, будет сопровождаться формированием избыточного давления в поровой воде, которое будет длительное время сохраняться. Прочность при этом так-

же будет постоянна, устойчивость насыпей при реальных параметрах с учетом нагрузки от транспорта обеспечиваться не будет.

Конкретно изучение состава пород для гидроотвала разреза «Талдинский» показало, что протяженность зоны песчано-супесчаных пород характеризуется размером 0,1 длины гидроотвала, приурочив ее начало к плотине №1 (рисунок 2.2; 2.3). Глинистая зона распространяется на величину 0,6 длины гидроотвала от плотины №2. Между ними находится зона суглинистых пород

В вертикальном разрезе намывной массив гидроотвала следует разделять по показателю консистенции на подзоны пород от текучей до твердой консистенции. В таблице 2.3 приведены физико-механические свойства намывных пород выделенных зон и подзон, которые предлагается использовать для решения различных геомеханических задач [6].

Таблица 2.3 - Физико-механические свойства намывных пород Кузбасса [6]

Физико – механические свойства	Песчано-супесчаная зона	Суглинистая зона			Глинистая зона		
		Подзоны пород по консистенции			Подзоны пород по консистенции		
		текучих	мягко-пластич	туго-пластич	текучих	мягко-пластич	туго-пластич
Влажность, %	14-30	27-40	24,5-31,4	22,1-26,3	37-100	31-38	28-31
Плотность, т/м ³	1,7-2,1	1,8-1,92	1,9-2,0	2,0-2,02	1,61-1,88	1,88-1,96	1,96-2,01
Пористость %	33,7-43,7	44-52,5	38,5-46,6	40-41,6	50-71	44,5-50	41-44
Угол внут. трения, град	25-32	14-23	19-25	22	0-6	8-16	8-16
Сцепление, МПа	0,013-0,055	0,015-0,026	0,023-0,043	0,04-0,063	0,005-0,015	0,015-0,035	0,04-0,06
Коэффициент сжимаемости, см/кг ²	0,06-0,008	0,14-0,04	0,08-0,02	0,02-0,009		0,1-0,03	0,03-0,01
Коэффициент фильтрации, м/с	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁸	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁹			10 ⁻¹⁰ -10 ⁻¹¹		

Намывной массив гидроотвала на реке Еланный Нарык, мощность которого на момент завершения намыва составляла 50-55 м, предложено разделять на следующие подзоны (по состоянию на 2010 год). В суглинистой зоне

подзона текучих пород составляет верхнюю часть разреза и изменяется от 10 на границе с песчано-супесчаной зоной до 25 метров у глинистой зоны. Для зоны глинистых пород мощность подзоны текучих пород изменяется от 25 до 35 метров. Тугопластичные суглинки и глины залегают непосредственно на породах естественного основания в виде слоя пород мощностью от 5 метров (на границе с зоной песчано-супесчаных пород) до 1-2 метров в глинистой зоне. Остальное пространство в разрезе занимают намывные суглинки и глины мягкопластичной консистенции.

2.4 Поровое давление в намывных отложениях и естественных породах основания, сформировавшееся при эксплуатации гидроотвала

Одной из основных особенностей намывных массивов, сформированных из глинистых пород, является нестабильное во времени напряженно-деформированное состояние пород, связанное с развитием и рассеиванием избыточного порового давления. Знание закономерностей его формирования позволяет обосновать оптимальные параметры сооружений, обеспечивающие безопасность и технико-экономическую эффективность их формирования и функционирования. К тому же, понимание природы влияния порового давления на физико-механические свойства намывных пород дает возможность грамотно организовывать мониторинг их устойчивости, обосновав критерии безопасности по поровому давлению.

Прогноз порового давления в гидроотвалах обычно выполняют с использованием решений одномерных задач теории фильтрационной консолидации, соответствующих условиям намыва и «отдыха» гидроотвала [6, 10, 14, 28, 29, 57, 78, 95-99]. В некоторых случаях, а именно, при отсыпке дамб в откосных частях гидроотвалов из привозного материала, а также при наличии резкой анизотропии фильтрационных свойств намывных массивов, прогнозирование порового давления следует производить с использованием двухмерных схем и методов численного моделирования. Наилучших резуль-

татов в обеспечении устойчивости намывных сооружений с длительным сроком эксплуатации можно добиться посредством организации постоянных наблюдений за изменением порового давления в намывных породах, а при необходимости – и в отложениях естественного основания.

Экспериментальные исследования, связанные с оценкой устойчивости гидроотвалов по данным измерения избыточного порового давления, выполняются в Кузбассе на многих гидротехнических объектах Кузбасса, а именно: гидроотвалах «Бековский» (с 1989 г. по настоящее время), на реке Еловка (с 1995 г), №3 разреза «Кедровский» (с 1991 года), на реке Черновой Уроп (с 2000 г), на реке Прямой Ускат (с 2003 г) и др.

Гидрогеомеханический мониторинг безопасности на плотинах гидроотвала на реке Еланый Нарык организован с целью контролирования состояния устойчивости низовых откосов. Он выполняется с использованием стационарной режимной сети из скважин, оборудованных датчиками порового давления. На гидроотвале оборудованы две станции, одна из которых расположена в центральном створе плотины №1 (в профиле П-П) (рисунок 2.3), а вторая - плотины №2 (в профиле В-В) (рисунок 2.4). В каждой из скважин установлена контрольно-измерительная аппаратура (КИА) – датчики порового давления струнного типа.

Гидрогеомеханическая станция на плотине №1 формировалась по мере наращивания дамб. За это время часть датчиков вышла из строя, обеспечив контроль порового давления лишь на определенный промежуток времени. Поэтому в дальнейшем происходило пополнение станции датчиками в определенных местах намывного, насыпного и естественного массивов. В настоящее время станция здесь состоит из 4 скважин, в которых функционируют 9 датчиков. Порядок расположения КИА позволяет контролировать следующие гидрогеологические параметры:

ИГЭ 4т - поровое давление в теле глинистого экрана по датчику № 240;

ИГЭ 8 - поровое давление в основании экрана по датчикам №270, №3, №865 и №887;

ИГЭ 9 - напоры воды в четвертичном водоносном горизонте основания плотины, приуроченном к галечниковым отложениям, по датчикам №746;

ИГЭ 10 - поровое давление в четвертичных суглинках, разделяющего водоупора по датчику №707.

На рисунке 2.7 представлены результаты наблюдений за изменением гидродинамического режима в теле и основании плотины №1. Их анализ позволяет отметить, что за время интенсивной эксплуатации гидроотвала уровень депрессионной поверхности в дамбе постепенно поднялся на 2 м. За это время отметка воды в гидроотвале увеличилась на 18 м. Напоры воды в четвертичном водоносном горизонте, приуроченном к галечникам ИГЭ 9, также возрастали за 8 лет на 2,5 м, а после отсыпки пригруза в конце 2011 года еще увеличились на 5,8 м. Поровое давление в разделяющем водоупоре (суглинках основания ИГЭ 10) снизилось на 1,2 м. За последний год поровое давление в основном снизилось, однако в породах основания под фильтрационным экраном фиксируется подъем (по датчику №270) на 4,4 м – это также связано с отсыпкой пригруза. Ежегодно в период намыва гидроотвала отмечалось повышение напоров подземных вод в породах основания и незначительный подъем уровней в теле дамбы; в зимнее время наблюдалась либо стабилизация достигнутых давлений, либо рассеивание.

Данные многолетних наблюдений позволяют сделать следующие выводы о характере влияния гидрогеологических условий плотины №1 на состояние ее устойчивости:

- положение депрессионной поверхности фильтрационного потока в насыпном теле дамбы мало изменяется в связи с увеличением уровней воды в верхнем бьефе плотины, следовательно, его влияние на устойчивость откоса плотины незначительно;

- напоры в четвертичном водоносном горизонте изменяются в соответствии с изменением уровней воды в гидроотвале, при установившейся гидравлической связи их прирост составляет примерно 0,2 Н (Н – повышение отметки воды в гидроотвале); снижение интенсивности намыва в 2007 г. со-

проводилось понижением давлений воды в четвертичных породах основания плотины.

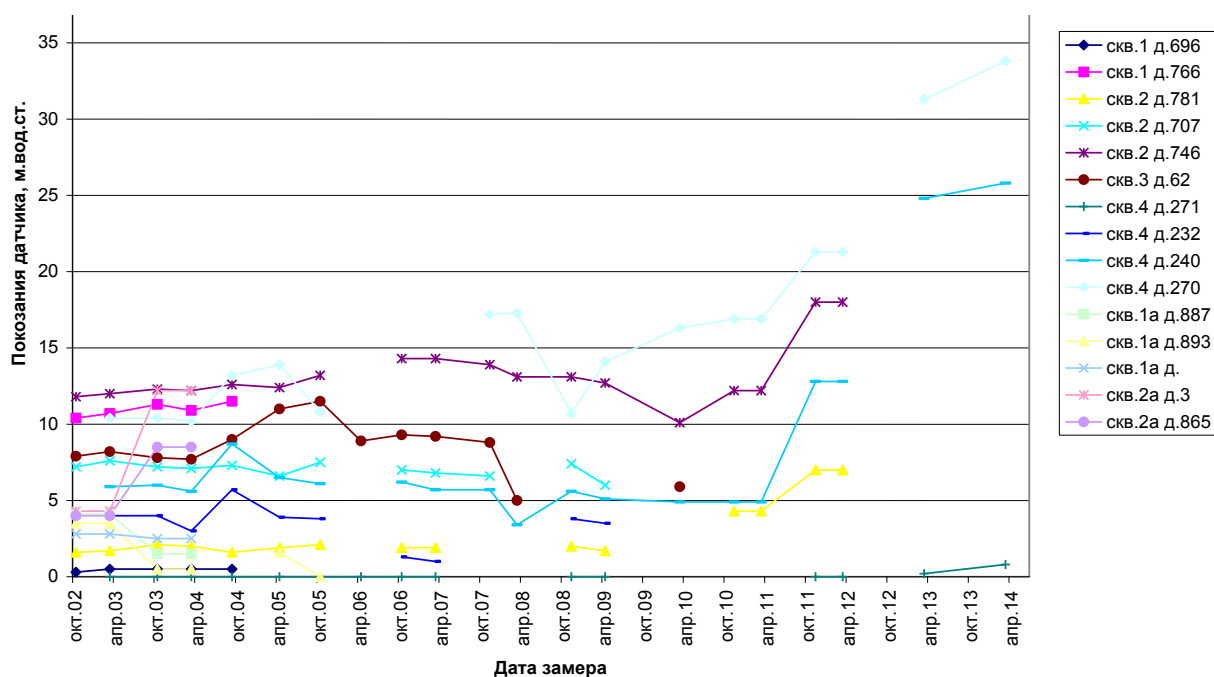


Рисунок 2.7 - Наблюдения по датчикам на плотине №1

Наблюдательная станция на плотине №2 в настоящее время состоит из 3 скважин, в которых в функциональном состоянии осталось только 4 датчика. Порядок расположения КИА позволяет оценить:

- уровень техногенного потока в теле плотины в нижней части откоса плотины по датчику №555;

- напоры подземных вод в четвертичном водоносном горизонте, приуроченном к слою аллювиальных отложений (ИГЭ 4а) по датчикам №516, 592, 69;

Анализ результатов наблюдений за период с 2003 по 2012 г. (рисунок 2.8) позволяет отметить следующие закономерности в изменении гидродинамического режима грунтовых вод в теле и основании плотины №2. Депрессионная поверхность имеет высокое стояние, тело плотины обводнено по высоте более чем на две трети. В прошлые годы за сезон намыва (с мая по сентябрь) наблюдался рост напоров (уровней) практически по всем датчикам. Величина прироста порового давления постепенно снижалась по годам. Максимальное повышение напоров происходило в сентябре, т.е. в конце сезона

намыва. В зимнее время наблюдалось снижение напоров на величину в большинстве случаев меньшую, чем был летний прирост. В 2007 г., как и на плотине №1, произошло снижение депрессионной поверхности, которое составило почти 1,5 м (по датчику №555).

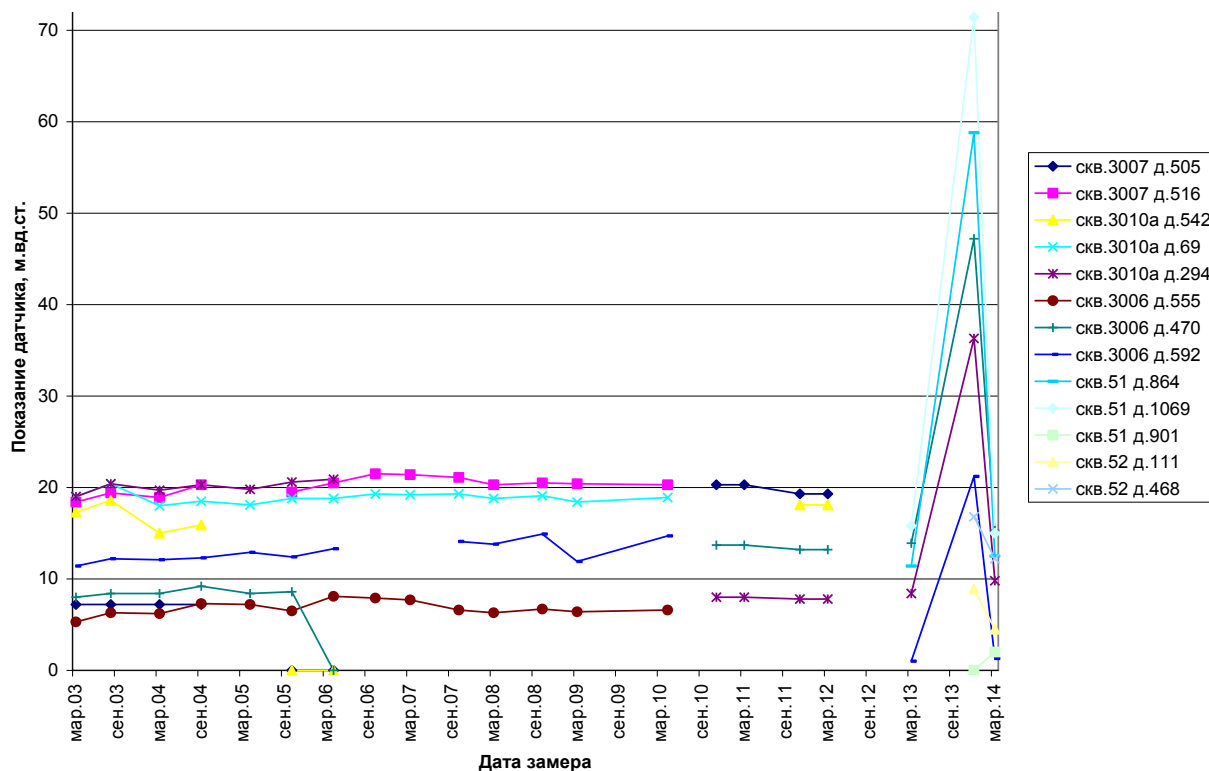


Рисунок 2.8 - Наблюдения по датчикам на плотине №2

В породах основания плотины до 2007 г. поровое давление постепенно увеличивалось; за срок наблюдений 4 года его величина возросла на 3 м вод. ст. В 2011 г. произошло рассеивание порового давления на величину 1,0 м водного столба в хорошо проницаемых аллювиальных супесях и прирост порового давления на 1,4 м в суглинках. В 2012 г произошло дальнейшее рассеивание порового давления на величину 0,5 м вод. ст. в хорошо проницаемых аллювиальных супесях и рассеивание порового давления на 0,2 м в суглинках. Из анализа результатов наблюдений следует, что среди гидрогеологических факторов на устойчивость откоса плотины №2 основное влияние оказывает высокий уровень депрессионной поверхности в теле плотины.

Экспериментальные исследования по изучению избыточного порового давления в намывных массивах гидроотвалов Кузбасса выполнялись до 1995

года сотрудниками ВНИМИ, а далее - ООО НПФ «Карбон». Их целью являлась оценка устойчивости откосов при намыве и размещения на поверхности гидроотвалов отвалов «сухой» вскрыши.

Изучение порового давления в нагружаемом отвальной насыпью намывном массиве гидроотвала «Бековский» выполнялось с 1989 года по настоящее время. На рисунке 2.9 приведены результаты данных наблюдений для различных технологических этапов: намыв, «отдых», отсыпка дамб и пригрузочных призм [60]. Их анализ позволяет отметить, что в периоды отсыпки дамб в пределах намывного массива нагружаемого откоса происходит возрастание избыточного порового давления. Основной причиной его формирования и длительного сохранения является величина нагрузки от веса дамб и пригрузочных призм. Эти периоды сопровождаются резким возрастанием давления в поровой воде в достаточно большой области намывной толщи, захватывающей откос на расстояние до 100 и более метров. На этапе намыва также отмечается увеличение порового давления, но уже в меньшей по размерам области (до 50 м). Поэтому данный этап в процессе формирования избыточного порового давления в намывных породах имеет подчиненное значение в сравнении с этапом отсыпки дамб, характеризующимся более значительным возмущением поля нейтральных напряжений. Этап намыва гидроотвала влияет на характер порового давления в породах гидроотвала через торможение процесса его рассеивания от нагрузки, инициированной отсыпкой дамб и насыпей. Это приводит к тому, что оно не успевает рассеяться полностью к началу следующего цикла, в результате чего происходит постоянный прирост порового давления в сравнении с предыдущим циклом, т.е. постепенное уменьшаются эффективные напряжения в скелете пород, падает их прочность и, соответственно, ухудшаются условия устойчивости откосов.

После завершения эксплуатации гидроотвала нагрузка от намыва вышележащих пород и отсыпки дамб наращивания больше не возрастает, т.е. наступает период «отдыха» гидроотвала, сопровождающийся рассеиванием

избыточного порового давления в намывных породах, их дегидратацией, уплотнения и упрочнением. Это приводит к увеличению прочности и несущей способности пород, что является весьма существенным обстоятельством при выполнении последующей рекультивации гидроотвалов нанесением рекультивационного слоя.

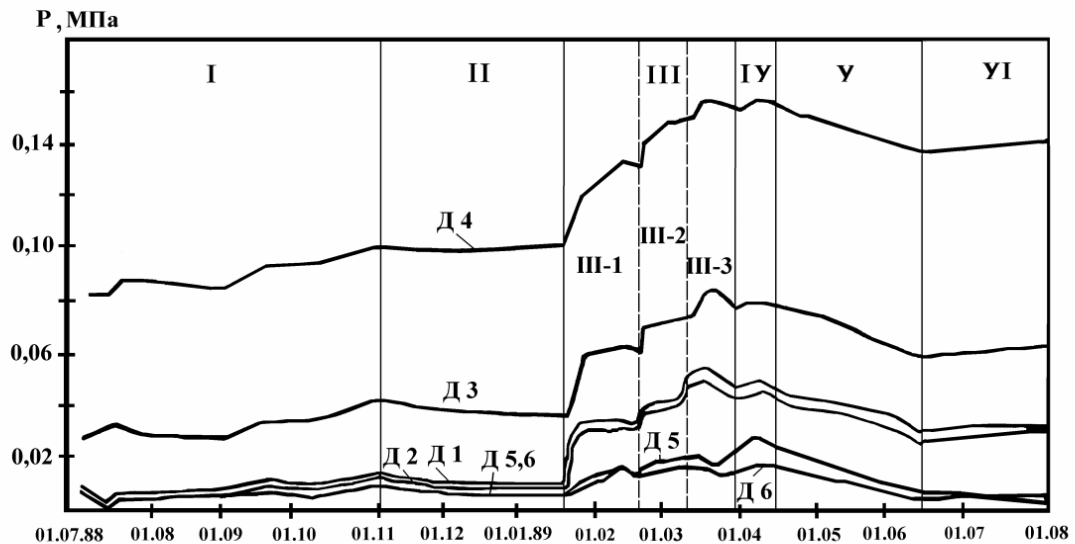


Рисунок 2.9 - Изменение избыточного порового давления в намывном массиве гидроотвала «Бековский»; этапы: I – намыв; II – «отдых»; III – отсыпки дамб (слои III-1, III-2, III-3); IV – формирование пригрузов откоса; V – «отдых»; VI – намыв[6].

Анализ результатов измерения порового давления в намывных породах гидроотвалов Кузбасса, характеризующихся различными площадями и мощностями намывных пород, временем «отдыха» и дренажными условиями, позволил выделить среди факторов, определяющих его характер и величину в массиве гидроотвалов, главные – время «отдыха» ($t_{отд}$) и дренажные условия [6,101]. Наиболее высокие значения избыточного порового давления были замерены в намывных породах гидроотвалов «Акташский» и «Сагарлыкский», имеющих время «отдыха» на момент проведения исследований 3 и 2 года, а минимальные – в намывных породах гидроотвалов «Бахтыхта» ($t_{отд}=14$ лет) и «Новобачатский» ($t_{отд}=9$ лет). Гидроотвал «Свободный», характеризующийся временем «отдыха» на момент проведения измерений 25 лет, показал при выполнении измерений отсутствие избыточного порового давления, что говорит о завершении в нем процесса фильтрационного уплотнения. Влияние условий дренирования намывного массива на интенсивность рассе-

ивания избыточного порового давления оценивалось по результатам зондирования гидроотвалов «Бахтыхта» и «Новобачатский». Первый был расположен на водоупоре и характеризовался рассеиванием давления только в сторону поверхности. Второй имел двухсторонний дренаж воды из намывного массива, так как располагался на дренаже. Срок отдыха первого при этом составлял $t_{отд}=14$ лет, а второго - $t_{отд}=9$ лет. Однако избыточное поровое давление в намывных породах второго на момент проведения исследований оказалось меньше, чем в породах гидроотвала с большим сроком «отдыха».

Физико-механические свойства намывных пород гидроотвалов в периоды их «отдыхов» изменяются за счет процессов фильтрационного уплотнения - пропорционально рассеиванию избыточного порового давления в них. Так, в намывных породах гидроотвала «Свободный» за 25 лет влажность с 55 до 34%, а сцепление при этом возросло с 0,005 до 0,027 МПа. Следует отметить установленное при выполнении обратных расчетов консолидации обстоятельство, которое свидетельствует о том, что для всех изученных намывных массивов коэффициенты консолидации характеризуются близкими между собой и достаточно высокими по величине значениями $C_v = 0,01-0,04$ м²/сут.

После краткого анализа результатов измерения порового давления в гидроотвалах Кузбасса, находящихся на различных этапах «отдыха», рассмотрим напряженное состояние намывного массива гидроотвала разреза «Талдинский». Оно по гидрогеомеханическим условиям должно быть близко к изученному в гидроотвале «Акташский» со сроком отдыха 2 года (рисунке 2.10).

Исходные данные для расчета избыточного порового давления в намывном массиве гидроотвала на реке Еланый Нарык: мощность намывных пород – мощность слоя – 50 м, срок намыва – 24 года; коэффициенты консолидации: для песчано-супесчаных пород – 1 м²/сут; суглинистых пород – 0,1 м²/сут; глинистых пород – 0,01 – 0,04 (среднее значение 0,02) м²/сут.

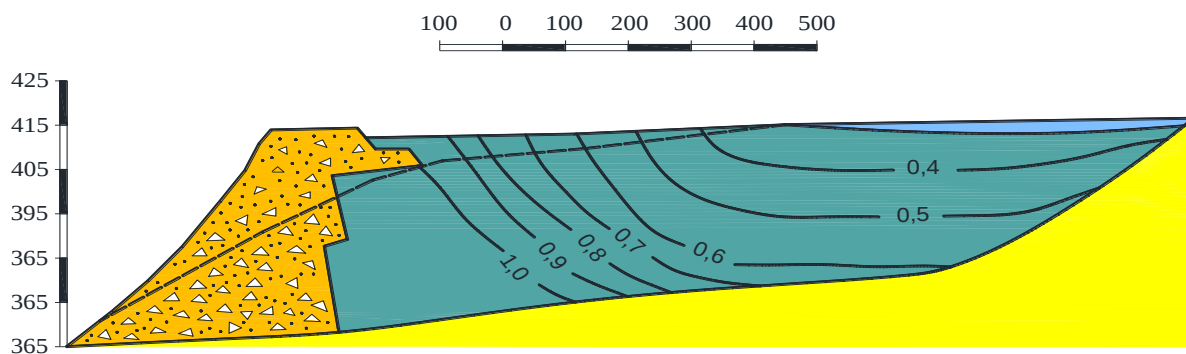


Рисунок 2.10 - Изолинии степени уплотнения в массиве гидроотвала «Акташский»

Расчет произведен, в соответствии с нормативно-методическим документом ВНИМИ, по формуле 20 (стр. 15) и графику с рисунка 7 (стр. 16) [64]. Определение порового давления в массиве гидроотвала осуществлялось по ряду поперечников через 100 м. Это позволило получить распределение порового давления по глубине слоя. Выполненная интерполяция дала возможность построить изолинии распределения избыточного порового давления в массиве (рисунок 2.11).

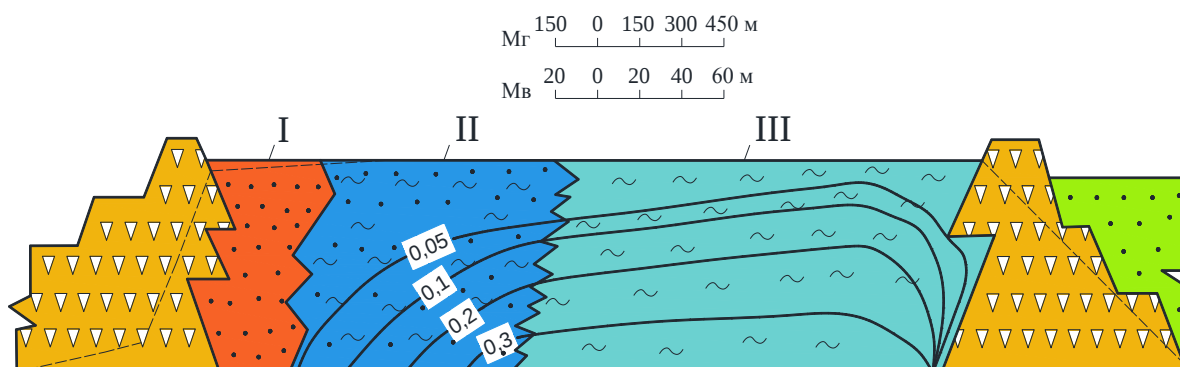


Рисунок 2.11 - Разрез по гидроотвалу на реке Еланный Нарык с изолиниями порового давления на 2013 год: I – песчано-супесчаная зона; II – суглинистая зона; III – глинистая зона

Анализ результатов выполненных расчетов позволяет отметить значительные величины избыточного порового давления в глинистой зоне, достигающие значений 0,35 МПа. В суглинистой зоне избыточное поровое давление на момент завершения намыва значительно меньше и существует только рядом с непроницаемым основанием гидроотвала и глинистой зоной. Избыточное поровое давление в песчано-супесчаной зоне отсутствует. К сожа-

нию, попытки выполнить измерения избыточного порового давления на гидроотвале на реке Еланый Нарык, предпринимаемые технической службой, не увенчались успехом. Наиболее близки гидрогеомеханическим условиям данного гидроотвала условия намывного сооружения разреза им. Вахрушева (гидроотвал «Акташский»), где в 1976 году выполнялось зондирование намывного массива с применением датчиков порового давления.

Кроме того, подтверждением наличия избыточного порового давления в намывных породах гидроотвала служат измерения порового давления в скважине, пройденной через дамбу №2 летом 2007 года. Здесь датчиками № 28 и 32 на глубинах соответственно 25 и 17 м зарегистрированы значения избыточного порового давления 0,085 и 0,045 МПа. Данные значения более чем в два раза меньше расчетных на момент завершения намыва. Объяснить этот факт можно следующим образом. Во-первых, измерения выполнялись рядом с дамбой, сложенной проницаемыми породами, что позволило процессу фильтрационной консолидации здесь развиваться не только вверх, но и в сторону (двухмерная консолидация). Во-вторых, между расчетами и измерениями прошло 7 лет, а за это время существенно изменилась интенсивность намыва. Так, до 2008 года гидроотвал принимал по 5-6 млн. м³ вскрыши в год, а в последние 6 лет – менее 1 млн. м³ в год. Однако зарегистрированный факт наличия избыточного порового давления в намывных породах гидроотвала подтверждает правильное направление исследовательских, расчетных и проектных работ по ликвидации гидротехнического сооружения способом отсыпки на его поверхности отвала «сухой» вскрыши.

2.5 Прогноз изменения физико-механических свойств техногенных и естественных пород при нагружении

Для выявления закономерностей изменения свойств намывных пород при возрастании нормальных нагрузок в связи с намывом гидроотвалов и их нагружением отвальными насыпями выполнен комплекс специальных исследований, включающий моделирование в лаборатории уплотнения пород при нормальных нагрузках от 0,05 до 1,5 МПа и изучение физико-механических

свойств пород, отобранных с различных глубин намывных массивов при нагрузках, соответствующих напряжениям в местах отбора монолитов. Для контроля напряженного состояния пород после бурения в места извлечения монолитов устанавливались датчики порового давления.

В лабораторных условиях для различных нормальных нагрузок производилось определение плотности, влажности, проницаемости, сжимаемости и показателей прочности намывных пород, что позволило получить закономерности их изменения с ростом нагрузок предварительного уплотнения образцов. Их анализ позволяет установить интервал нагрузок от 0 до 0,5 МПа, характеризующийся наиболее интенсивными изменениями изучаемых свойств. При дальнейшем увеличении нагрузок изменение свойств пород происходит с меньшей интенсивностью. Выполненные исследования уменьшения влажности намывных пород с ростом нагрузки уплотнения позволили установить закономерности изменения их консистенции. На рис. 2.13 и 2.14 отмечены на оси абсцисс (оси нагрузок) нагрузки перехода пород из одной консистенции в другую [6,39].

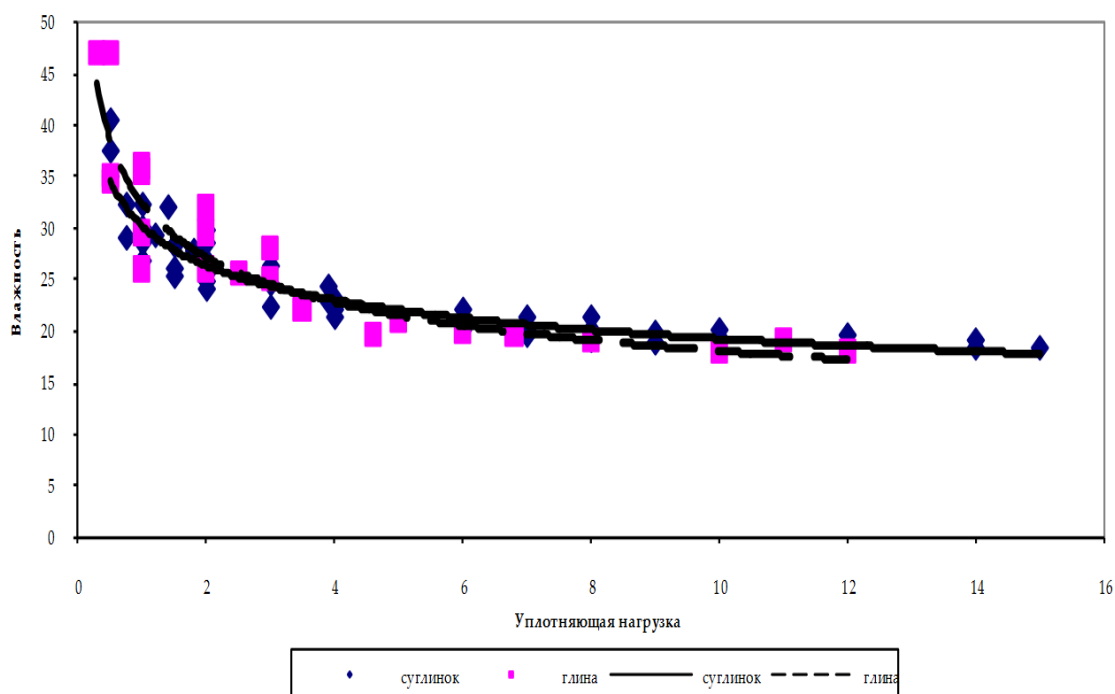


Рисунок 2.12 - Изменение влажности намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения (х 0,1 МПа)

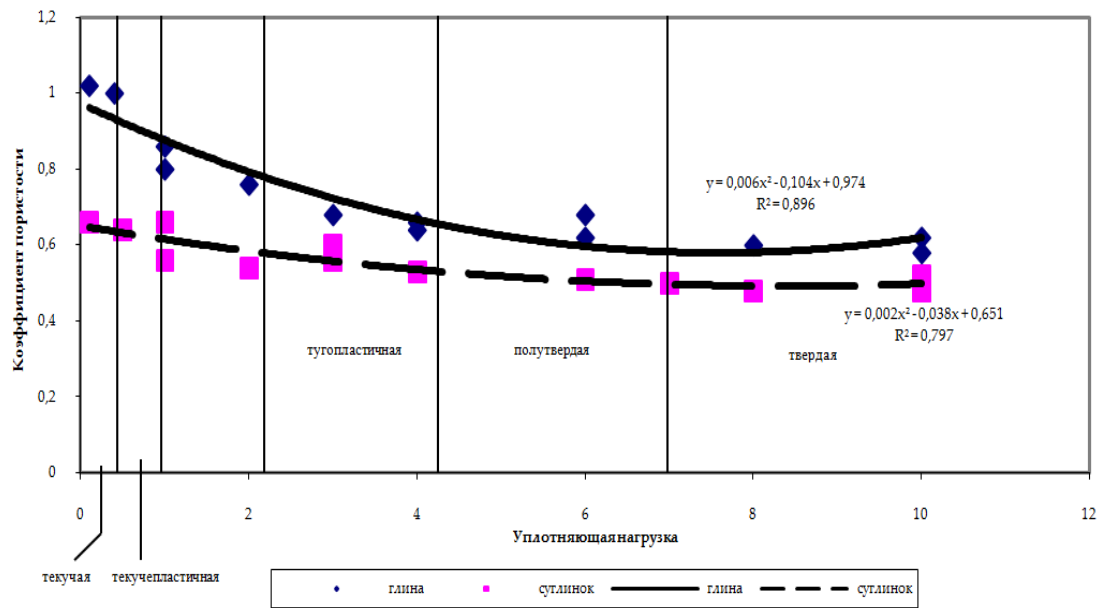


Рисунок 2.13 - Изменение коэффициентов пористости намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения (х 0,1 МПа)

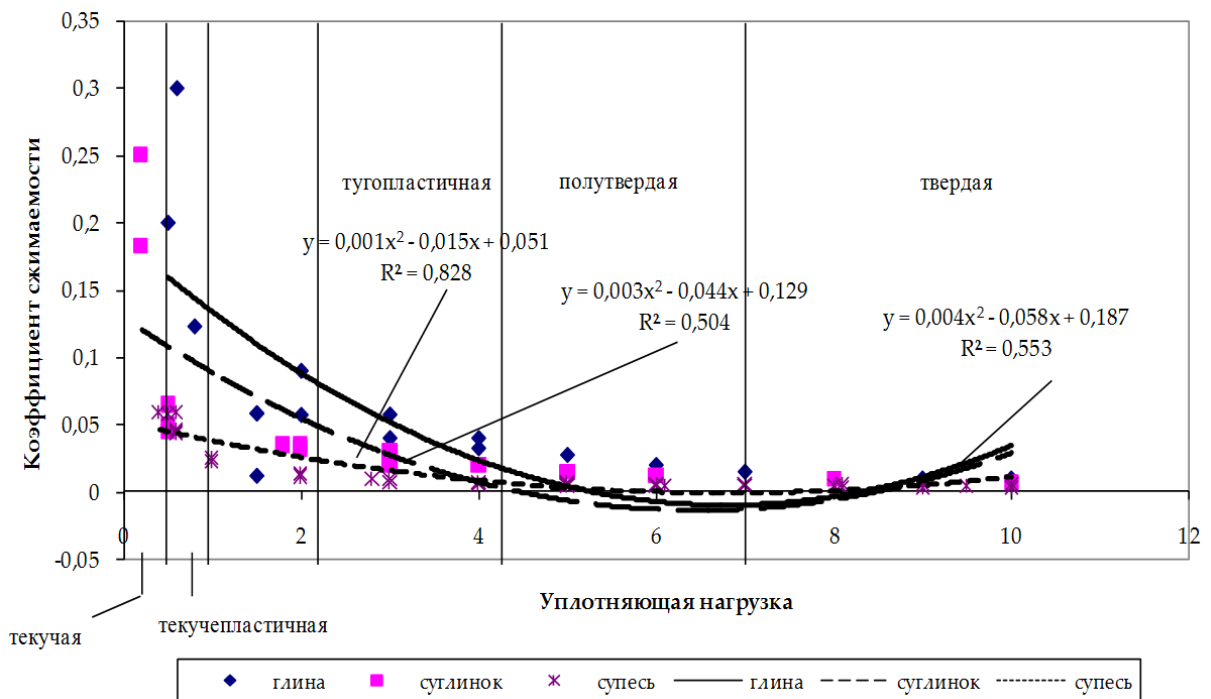


Рисунок 2.14 - Изменение коэффициентов сжимаемости намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения

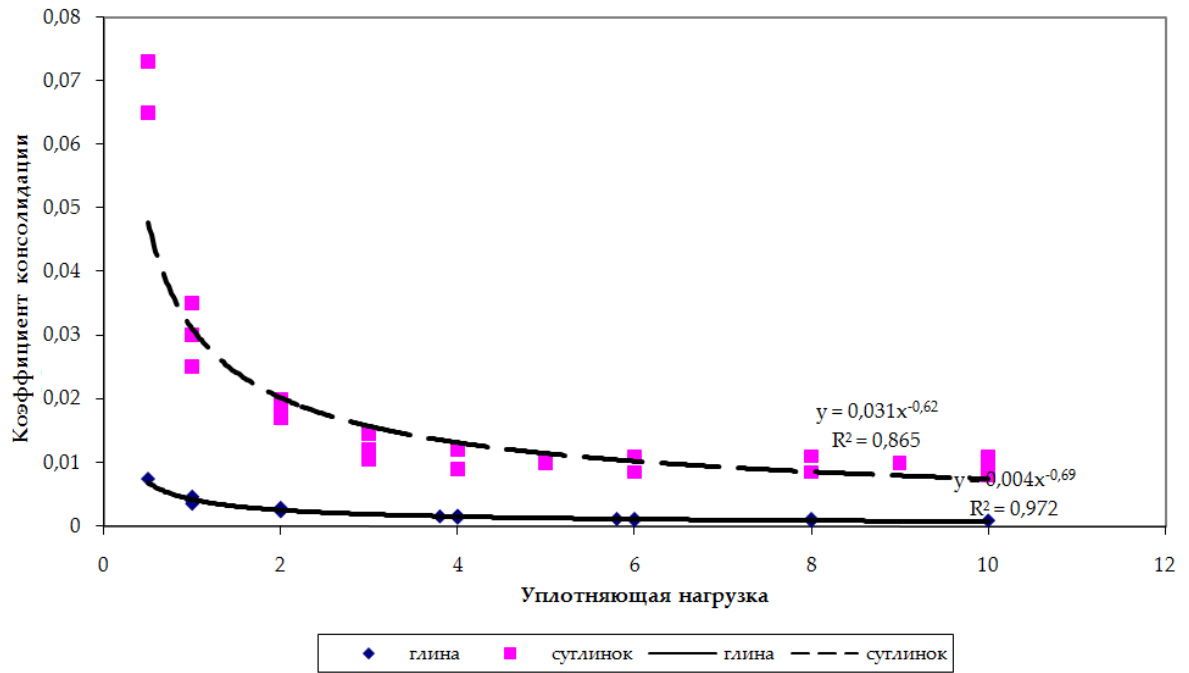


Рисунок 2.15 - Изменение коэффициентов консолидации намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения ($x \cdot 0,1$ МПа)

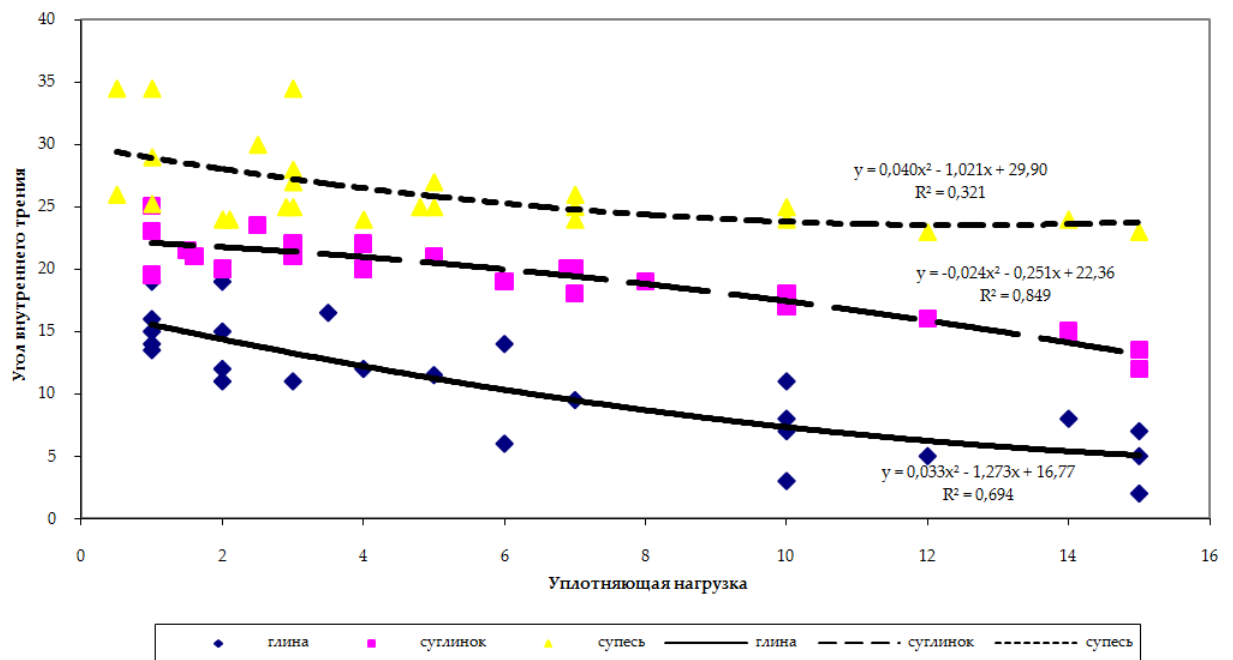


Рисунок 2.16 - Изменение углов внутреннего трения намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения

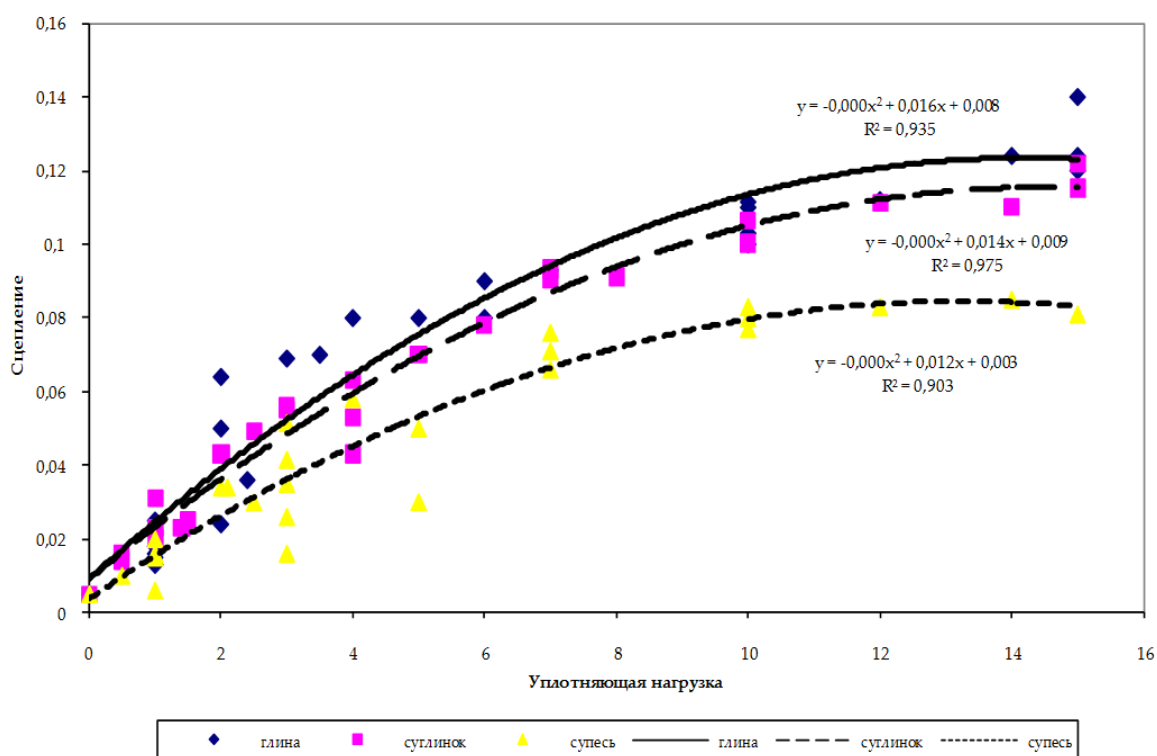


Рисунок 2.17 - Изменение сцепления намывных пород в зависимости от нагрузки уплотнения (х 0,1 МПа)

Сравним результаты лабораторного моделирования консолидации пород и данные испытаний образцов, отобранных из намывных массивов. Так, образцы из 45-метровой толщи гидроотвала № 3 разреза «Кедровский» показали закономерное изменение состояния (консистенции) с глубиной от текущей в верхней части разреза до мягкопластичной, тугопластичной и полутвердой консистенции (таблица 2.4). Данные результаты характеризуют закономерности изменения состояния и свойств пород *in situ* с глубиной и ростом эффективных напряжений, которые вычислялись с учетом натурных измерений порового давления по датчикам. Следует отметить достаточно хорошую сходимость результатов натурных и лабораторных исследований. Так, породы при уплотнении в лаборатории и *in situ* характеризуются мягкопластичной консистенцией при одних нагрузках 0,1 – 0,15 МПа, полутвердой - при нагрузках близких к 0,5 МПа.

Таблица 2.4 - Свойства намывных пород гидроотвала №3 разреза «Кедровский» [6, 39, 88].

Консистенция пород	$\sigma_{эф}$ в массиве, МПа	Влажность, %	Плотность, г/см ³	Угол внут. трения, град	Сцепление, МПа
Текучая	0,1-0,2	35-40,5	1,85	13	0,005-0,015
Мягкопластичная	0,3	25-31	1,95	16-18	0,02
Тугопластичная	0,45	24	1,99	17	0,03
Полутвердая	0,5	21,5	2,00	15-18	0,03-0,065

При прекращении эксплуатации намывные массивы в разрезе гидроотвалов в большинстве сложены неуплотненными осадками текучей и мягкопластичной консистенции. Лишь небольшие по мощности слои в нижней части разреза представлены тугопластичными и полутвердыми породами. Выполненные исследования намывных пород гидроотвалов с различными сроками «отдыха» показывают наличие уплотнения пород, сопровождающееся изменением их консистенции. Так, текучие породы переходят в мягкопластичные, а мягкопластичные - в тугопластичные и т.д. Подобные трансформации отмечались при изучении инженерно-геологических условий гидроотвала №3 разреза «Кедровский» сначала в 1990 г., а затем и в 2010 г. [88, 102].

Изучение физико-механических свойств намывных пород проводилось также на гидроотвале на реке Еланный Нарык разреза «Талдинский» при бурении скважины через насыпные породы в районе дамбы №2. Установлено, что под слоем насыпных пород мощностью около 30 м находится намывной 10-метровый массив из двух слоев тугопластичной (7 метров) и полутвердой (3 м) консистенции (таблица 2.5).

Намывные массивы гидроотвалов Кузбасса обычно не превышают по мощности 50 метров, что соответствует диапазону нормальных напряжений с учетом полного обводнения массива и наличия гидростатического взвешивания от 0 до 0,4 МПа. Такие нагрузки не могут привести к серьезному уплотнению намывных осадков до полутвердой и твердой консистенции. Это возможно лишь в случаях нагружения гидроотвалов отвалами «сухой» вскрыши. Так, в настоящее время в Кузбассе максимальные высоты «сухих» отвалов,

сформированных на гидроотвалах («Западный», «Сагарлыкский») достигли 100 метров, что по нагрузкам составляет около 1,85 МПа.

Таблица 2.5 - Физико-механические свойства намывных пород гидроотвала вскрышных пород разреза «Талдинский»

Консистенция пород	$\sigma_{эф}$ в месте отбора образцов, МПа	Влажность, %	Плотность г/см ³	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Тугопластичная	0,43	19,5-21,5	1,95	14	0,04
Полутвердая	0,49	18-20,5	1,97	12	0,058

Таблица 2.6 - Физико-механические свойства намывных пород гидроотвала «Сагарлыкский» [6,86,88].

Наименование пород	Влажность W, %	Плотность γ , г/см ³	Плотность минерального скелета $\gamma_{мин}$ г/см ³	Пористость, %	ϕ , град	Сцепление C, МПа	Коэффициент сжимаемости a , МПа ⁻¹	Коэффициент фильтрации Кф, м/сут
Суглинки мягкопластичной консистенции	25,3- 26,5	1,93- 1,95	2,7	43	12-17	0,01-0,02	0,8	10^{-4}
Суглинки тугопластичной консистенции	19,1- 20,8	1,95- 2,01	2,7	39	9-15	0,025-0,055	0,5	$5 \cdot 10^{-4}$
Суглинки полутвердой кон- систенции (основание)	17,3	2,01- 2,03	2,7	36	8-12	0,06-0,11	0,1	$8 \cdot 10^{-4}$

Изучение преобразований намывных пород в основании отвальных сооружений выполнено на гидроотвале «Сагарлыкский» бурением скважины через насыпь мощностью 50 метров и вскрытием двух слоев общей мощностью 16,5 м и слоя четвертичных пород в основании горнотехнического сооружения, сложенных соответственно суглинками тугопластичной и полутвердой консистенции влажностью 25-28 % [6]. Результаты опробования данных пород представлены в таблице 2.3. Следует отметить, что до начала отвальных работ здесь бурением были вскрыты 32-метровая толща намывных суглинков текучей и мягкопластичной консистенции. Выполненная в данном месте гидроотвала отсыпка двухъярусного 50-метрового отвала привела к сокращению мощности пород на 15,5 м.

Исследования нагружения гидроотвалов отвалами позволили выявить отклонение в развитии процессов образования избыточного порового давления в основании отвальной насыпи. Было установлено, что оно формируется в намывном массиве не только под насыпью, но и в непригруженном отвалом участке намывного массива рядом с отвалом. Зона его развития получила название ЗВО – зона влияния отсыпки [6,59,60]. Характер гидрогеомеханических процесса развития порового давления и изменения состояния и свойств намывных пород под отвалом и ЗВО зависит от особенностей отвалообразования. Наибольших размеров зона влияния отсыпки достигает при фронтальном развитии отвалов на больших площадях. Возрастание порового давления в ЗВО приводит к разуплотнению и разупрочнению намывных пород, увеличению их влажности и существенному снижению прочности. Изучение процессов разупрочнения-разуплотнения выполнялось на гидроотвале «Сагарлыкский», где перед фронтом движущегося отвального яруса высотой 30 метров сформировалась 500-метровая зона разуплотнения – «зона влияния отвала» (ЗВО). В пределах ЗВО образовалось практически в каждой точке массива поровое давление, равное по величине полным напряжениям от веса вышележащих пород, т.е. наступили условия полного взвешивания пород, когда эффективные напряжения отсутствуют. Данное состояние естественно сказалось на прочности пород, которая в интервале глубин 2 - 20 м не превысила 0,01 МПа. Кроме того, отмечалось возрастание влажности на 30 - 50 % и значительно снижение прочности (в четыре раза).

2.6 Формирование состава и свойств пород «сухих» отвалов

Важным теоретическим и практическим вопросом инженерной геологии и горного дела является изучение закономерностей формирования техногенных отложений, образующихся при складировании вскрышных пород в отвалы с применением сухоройных механизмов и транспорта. В случаях создания динамических ПТС «отвал+гидроотвал» данных вопрос является весьма важным потому, что, так называемые, «сухие» отвалы являются ак-

тивным элементом системы, воздействующим на уже образовавшиеся ранее намывные массивы.

Согласно общей схеме технолитогенеза отвальных пород их формирование происходит в три стадии[6]:

1. Разрушение пород вскрышной толщи и образование исходного материала по составу отличного от материнских углевмещающих отложений.
2. Транспортировка разрушенных пород до отвала и размещение их в горнотехническое сооружение.
3. Породообразование в отвальном техногенном массиве.

Технологические процессы горного производства наряду с вещественным составом вскрышных пород являются главными факторами, определяющими состав, состояние и свойства отвальных техногенных пород [6,61]. На этапах горного производства, включающих: - буровзрывные работы, - экскавация и погрузку горной массы в автомобили или другой транспорт; - ее транспортировка до отвала, - складирование пород на отвале, исходный материал под действием различных процессов преобразуется в новых техногенных отвальных пород, отличающихся по составу, состоянию и свойствам от исходных.

Вскрышные породы Талдинского месторождения представлены скальными угленосными отложениями кольчугинской (P_2) серии перми и покровными глинистыми породами неоген-четвертичного возраста. В вскрышной толще основная доля приходится на песчаники (31-80%) и алевролиты (14-57%).

Скальные породы характеризуются достаточно высокими показателями плотности от 2,4 до 2,6 т/м³ и углов внутреннего трения – 33-45°. Остальные показатели физико-механических свойств варьируют в достаточно широких пределах.

Так, временное сопротивление сжатию изменяется от 1 до 116 МПа, прочность на растяжение – в диапазоне 0,12-26 МПа, сцепление – 0,1-28 МПа, влажность – 0,59-14%, пористость – 3-23%. Среди данных пород

следует отметить закономерности свойств в зависимости от вещественного состава (минерального и гранулометрического), стадии катагенеза и цемента.

Дисперсные породы Талдинского месторождения представлены неоген-четвертичными отложениями речных террас, водоразделов и склонов.

Технология процессы удаления вскрышной толщи при разработке МПИ открытым способом являются первыми в цепи преобразований вскрышных углевмещающих пород в техногенные. Они включают разрушение и отделение пород в забое в пределах прибортовых массивов рабочими органами машин (механический способ) или с использованием энергии взрывов. В результате образуется новый материал, состоящий из разнотернистых частиц (обломков) скальных пород. Объем его значительно выше, чем в целике пропорционально коэффициенту разрыхления, характеризующимся отношением плотностей пород в естественном и нарушенном состоянии. Данный показатель определяется способом отделения пород от забоя и литологией пород. Наибольшее разрыхление материнских пород происходит при взрывном и гидравлическом способах, а наименьшее - при механическом способе. При разработке песков он составляет 1,1-1,25; плотных глин – 1,2-1,3; скальных пород – 1,3 и более [6].

Состав, состояние и свойства пород в насыпных отвальных массивах во многом определяются технологией разработки МПИ, в частности, схемой вскрытия, которая влияет на соотношение одновременного поступления материала с различных горизонтов отработки. Так, при одновременной вскрытии пород на уступах разреза в отвал могут поступать обломки песчаника и четвертичные суглинки нарушенного сложения. В этих случаях образуется крупнообломочные отвальные породы с глинистым наполнителем или нарушенные суглинки с включениями гравия. Изменение условий отработки месторождения может способствовать образованию слоев, резко отличающихся по вещественному составу пород.

Сутью второго этап технолитогенеза является доставка разрушенного материала до отвального сооружения и его размещение внутри массива.

Обычно на этапах транспортировки применяется железнодорожный, автомобильный и гидравлический транспорт. В случаях использования циклично-поточной технологии доставка пород до отвала осуществляется конвейерами. Обычно время транспортировки разрушенного материала мало и редко превышает один час, обычно составляя десятки минут. За такой небольшой промежуток времени не следует ожидать значительного изменения состава материала и формы частиц.

Завершение второго этапа технолитогенеза отвальных пород - размещение материала в отвал, которое сопровождается развитием основного процесса формирования неоднородностей массивов, называемого сегрегацией (дифференциацией) частиц при их перемещении вниз по откосу отвала от мест разгрузки. Мелкие фракции остаются близко к местам отсыпки отвальных масс, т.е. в верхней части отвала, а наиболее крупные скатываются вниз ближе к основанию сооружения. Это приводит к образованию слоистых откосов, характеризующихся анизотропией прочностных и фильтрационных свойств [58, 61].

На завершающем этапе технолитогенеза – породообразовании – происходит под влиянием ряда природных и технологических факторов преобразование отвальной горной массы в отвальную техногенную породу. Из технологических факторов следует выделить технологию отсыпки отвальной массы в сооружение и применяемое для этих целей оборудование. Например, при возрастании высоты разгрузки пород с 3 до 25 м отмечается увеличение плотности гравия на 7%, песка - 9% и суглинка - 22% [6]. Интенсивность отсыпки водонасыщенного материала в отвал является одним из важнейших факторов, определяющих состояния и свойства пород массивов, за счет развития гидрогеомеханического процесса образования избыточного порового давления.

На условия формирования техногенных пород в отвалах оказывают влияние различные физико-географические факторы: наклон основания, количество осадков, наличие снега, температурный режим в отвале и пр. Так,

наличие наклонного основания в отвале существенно сказывается на его устойчивости за счет увеличения сдвигающих напряжений, кроме того определяет условия сегрегации частиц отвального материала при его отсыпке.

Среди физико-географических факторов главными являются атмосферные осадки и термический режим окружающей среды. Последнее наиболее важно для районов Крайнего Севера, характеризующихся длительным периодом ведения отвальных работ в условиях отрицательных температур. Это приводит к образованию в техногенных массивах за счет выпадения дождя и снега зон обводнения, вода в которых находится в твердой кристаллической формы – льда. Лед цементирует куски породы, увеличивая их прочность, а также их разрыхляет за счет процессов расширения. При оттаивании замерзших пород формируются слои с низкой прочностью. Климатическим фактором также является эрозия откосов и поверхности отвала, эксплуатация которых длительное время не выполняется.

По составу породы «сухих» отвалов угледобывающих предприятий характеризуются наличием различных фракций по крупности - от глинистых до валунных. Обломочный материал обычно практически не окатан, имеет шероховатую поверхность, края характеризуются наличием режущей кромки. Измерения параметров обломочного материала в отвалах показывают, песчанники обычно имеют форму близкую к изометрической, а аргиллиты и алевролиты - близкую к уплощенной. Оценка влажности отвальных пород выполняется для: 1) зерен с размерами >2 мм; 2) заполнителя (<2 мм); 3) валовую. Так, породы отвалов на разрезах Кузбасса характеризуются влажностью обломков в диапазоне 0,5-5%. Глинистый заполнитель по влажности близок к влажности суглинков и глин нарушенного сложения неоген-четвертичной вскрышной толщи - от 17 до 34%.

Плотность отвальных пород является одним из основных показателей, используемых в расчетах устойчивости. Методика ее определения в лабораторных условиях предполагает выполнение измерений больших объемов в специальных кольцах. В полевых условиях плотность определяют в шурфах

методом последовательного извлечения материала и его взвешивания. После завершения данной операции производится измерение объема шурфа путем создания непроницаемой оболочки по бокам выработки и на ее дне с последующим заполнением емкости водой. В лабораторных условиях измерения плотности совмещены обычно с компрессионными испытаниями. Так, были выполнены определения плотности отвальных пород, включавших 40 % песчаника, 50 % алевролита и 10% глинистого наполнителя влажностью от 20,4%. Установлено, данный показатель изменяется в широких пределах в зависимости от нагрузки уплотнения от $1,75 \text{ т/м}^3$ ($\sigma_{\text{упл}}=0,01 \text{ МПа}$) до $2,1 \text{ т/м}^3$ ($\sigma_{\text{упл}}=1,25 \text{ МПа}$).

Определение прочностных параметров обломочных отвальных пород выполняется обычно в приборах с большой площадью среза. Серийных приборов, выпускаемых в РФ для этих целей, нет. Во ВНИМИ в 60-х годах прошлого столетия был разработан сдвиговой одноплоскостной полевой прибор, имеющий площадь среза 550 см^2 . Сдвиговые опыты в нем производились на образцах нарушенного сложения по схеме консолидированно-недренированных испытаний [6, 86-88, 90, 96, 99]. «Многочисленными исследованиями было установлено, что углы внутреннего трения песчаников составляли 31-35, алевролитов - 25-32 и смесей песчаников и алевролитов, подготовленных в различных пропорциях, - 28-34 при сцеплении для всех вариантов от 0,002 до 0,04 МПа. Изучения суглинков и глин нарушенного сложения показали углы внутреннего трения 6-26 и сцепление от 0,006 до 0,056 МПа; при этом было установлено, что параметры прочности существенно зависят от влажности, изменявшейся в опытах от 14,9 до 38%» [6, 86-88].

Для условий Кузбасса наибольший интерес представляют результаты исследований влияния на параметры прочности обломочных пород наличия в смесях глинистого наполнителя. Данный вопрос в инженерно-геологической практике достаточно хорошо изучен. Многие исследователи пришли к следующим выводам:

1) параметры прочности глинистых пород начинают изменяться при содержании крупнообломочных включений более 30%;

Исследования прочностных параметров отвальных смесей, состоящих из скальных песчаников и алевролитов, а также глинистого заполнителя в виде четвертичных суглинков с влажностью 23-29 %, выполнялись сотрудниками ВНИМИ [6] при различных содержаниях в крупнообломочном материале суглинка: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 %. «В результате проведенных опытов установлены практически линейные зависимости прочности от нормальной нагрузки для смесей, с содержанием глинистого заполнителя менее 30%. При этом углы внутреннего трения и сцепление оказались близкими к показателям образцов, сложенных только скальными и полускальными породами ($\varphi = 32$ и $C = 0,015$ МПа). Для смесей, состоящих на 70, 80 и 90% из суглинков, прочностные показатели были близки к характеристикам суглинка нарушенного сложения ($\varphi = 13$ и $C = 0,01$ МПа). В породах с содержанием глинистого заполнителя от 30 до 70% отмечается тенденция уменьшения угла внутреннего трения от 30 до 15 при примерно одинаковом сцеплении 0,005 - 0,01 МПа» [6].

Консолидация пород в отвальных массивах определяется их вещественным составом. Компрессионные опыты с обломочными отвальными породами показали, что основные осадки образцов 88-97 % при приложении нормальных нагрузок происходят в течение нескольких минут. При наличии в отвальных смесях глинистого наполнителя скорость данных процессов уменьшается с увеличением его содержания.

Рассмотрев инженерно-геологические условия формирования «сухих» отвалов на разрезах Кузбасса, можно отметить применительно к отвалам разреза «Талдинский», что они сложены в основном обломочными породами с различным размером частиц, соответствующих дресвяно-щебенистой и иногда щебенисто-глыбовой фракциям. Кроме того, в них содержится небольшое количество (менее 30%) глинистого наполнителя из покровных четвер-

тичных суглинков. Физико-механические свойства отвальных пород приведены в таблице 2.7 [87].

Таблица 2.7 - Физико-механические свойства пород сухих отвалов[87]

№ п\п	Наименование пород, состав обломков и заполнителя	Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, МПа	Плотность, т/м ³
Свежеотсыпанные отвальные породы				
1	Песчаники	30-34	0,015	1,8-1,85
2	Алевриты	29-33	0,015-0,025	1,8-1,85
3	Смесь песчаников, алевритов и аргиллитов	28-32	0,015	1,8-1,85
4	Суглинки	10-21	0,01-0,015	1,85-1,95
5	Смесь обломочного материала и суглинка	10-28	0,01-0,015	1,8-1,95
Насыпные породы, измененные в отвалах (техногенный элювий)				
6	Пески и супеси, образовавшиеся из песчаников и алевритов	26-30	0	1,75-1,8
7	Супеси и суглинки, образовавшиеся из алевритов и известняков	18-24	0,005-0,01	1,8-1,9
8	Суглинки и глины нарушенного сложения, а также суглинки, образовавшиеся из аргиллитов	10-21	0,01-0,015	1,85-1,95

Их анализ позволяет отметить для основных расчетных случаев отвалов углы внутреннего трения не выветренных обломочных отложений, равные 32°.

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ «СУХИХ» ОТВАЛОВ НА ГИДРООТВАЛАХ

3.1. Анализ основных положений обоснования параметров отвалообразования на гидроотвалах

Специфика ПТС «отвал+гидроотвал» определяется наличием намывно-го массива, который в большей степени определяет устойчивость ее откосов. Намывной массив представляет собой толщу дисперсных водонасыщенных отложений, сформированную посредством намыва в пределах ограниченной площади гидротехнического сооружения – гидроотвала. В силу специфических условий создания он характеризуется ярко выраженной изменчивостью в пространстве и времени состава, физического и напряженного состояния, физико-механических свойств пород. Поэтому традиционные подходы, обычно применяемые в практике инженерно-геологического изучения и обоснования оптимальных параметров горнотехнических сооружений, в данном случае не применимы. Для этих целей наиболее целесообразно использовать принципы разработанной Ю.И. Кутеповым [6] «системы инженерно-геологического обеспечения отвальных работ в условиях развития гидрогеомеханических процессов» (СИГО). СИГО в случае формирования и функционирования ПТС «отвал+гидроотвал» также должна включать работы, наблюдения, измерения и исследования, производимые последовательно с определенной периодичностью в рамках трех направлений:

- 1) оценка инженерно-геологических условий ПТС;
- 2) обоснование конструкции и параметров ПТС;
- 3) мониторинг безопасности ПТС.

Комплекс работ и исследований первого направления выполняется с целью оценки инженерно-геологические условия ПТС «отвал+гидроотвал» при ее формировании и дальнейшем функционировании. Он включает изучение строения, состава состояния и свойств насыпных, намывных и естественных, а также развитие различных гравитационных процессов, возникающих на всех этапах существования ПТС. Для этих целей используются ла-

бораторные и натурные инженерно-геологические методы, а также в особых случаях опытно-промышленные эксперименты по созданию опытных отвалов на гидроотвалах при выполнении контроля НДС.

Итогом такого изучения является гидрогеомеханическая модель (ГМ) ПТС «отвал+гидроотвал», позволяющая оценивать и прогнозировать состояние устойчивости нового объекта (отвал+гидроотвал) с учетом определяющих природных и технологических факторов. ГМ ПТС «отвал+гидроотвал» включает геометрическую модель, позволяющую оценить взаимное расположение относительно друг друга намывного и насыпного массивов, естественного основания ПТС, выявленные неоднородности внутри каждого из них по составу, состоянию и свойствам пород; физико-механические и водные свойства пород, слагающих ПТС. Кроме того, ГМ ПТС должна включать установленные ранее и полученные при формировании и функционировании ПТС закономерности трансформации во времени под действием природных и технологических факторов состояния и свойств пород. ГМ позволяет получить целостное представление об их инженерно-геологических и гидрогеологических условиях ПТС, является основой для выбора и обоснования ее конструкции и параметров отдельных элементов, технологии, последовательности и интенсивности формирования, а также прогноза различных гравитационных процессов, возникающих на различных этапах существования данной системы.

Обоснование оптимальных конструкции и параметров ПТС «отвал+гидроотвал» производится на основании расчетов устойчивости откосов с учетом природных и технологических ограничений на основе метода оценки экономической эффективности по минимуму затрат на ее формирование и дальнейшего функционирования на горном предприятии. Расчеты устойчивости следует выполнять с использованием инженерных методов расчета по предельному состоянию [14, 35, 49, 64] или численного моделирования МКЭ. Для упрощения выполнения расчетов устойчивости разработаны и используются различные компьютерные программы. Прогноз изменения НДС в

намывных массивах при их нагружении отвалами следует выполняться с использованием одномерной задачи теории фильтрационной консолидации [90, 96] или численным моделированием МКЭ.

Третье направления предлагаемой системы объединяет работы, наблюдения, измерения и исследования, выполняемые с целью осуществления контроля состояния ПТС «отвал+гидроотвал» в рамках мониторинга безопасности (МБ). МБ ПТС «отвал+гидроотвал» должен включать инженерно-геологическую, гидрогеологическую, маркшейдерскую и технологическую составляющие.

Таким образом, для достижения технико-экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности формирования и функционирования ПТС «отвал+гидроотвал» следует использовать «систему инженерно-геологического обеспечения» (СИГО).

3.2. Процессы, сопровождающие формирование ПТС «отвал+гидроотвал»

Природно-технические системы являются элементами геологической среды, поэтому на них также распространяются все ее особенности и закономерности. В частности, в ПТС, таких как «отвал+гидроотвал», характеризующихся наличием склонов (откосов) и равнинных участков, получили развитие гравитационные процессы. Данные процессы здесь протекают наиболее контрастно, что связано со спецификой формирования техногенных пород и высокой интенсивностью осадконакопления [6,57]. По аналогии с естественной геологической средой в ПТС получили развитие следующие гравитационные геологические процессы и явления: оползни (а); оседания, вызванные вылавливанием пород основания (б); осадки, связанные с уплотнением пород (в); оплывины (г) (рисунок 3.1). Рассмотрим выделенные гравитационные процессы, условия их развития при отвалообразовании на гидроотвалах в определенных горногеологических условиях.

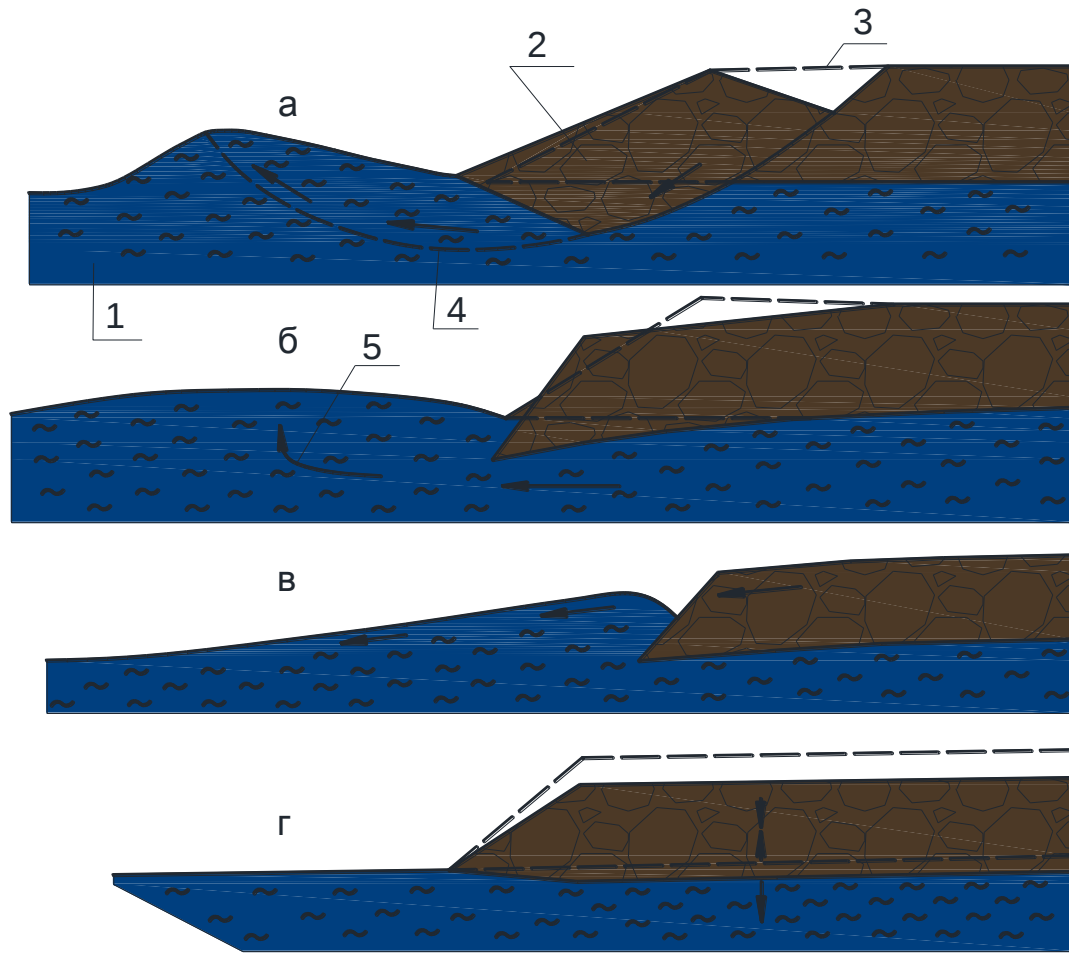


Рисунок 3.1 - Процессы при отсыпке отвалов на гидроотвалах[6].:
 1-гидроотвал; 2 – оползневое тело; 3- отвал; 4 – поверхность скольжения;
 5 – вал выпирания

Наиболее ответственным с точки зрения безопасности является откосные участки ПТС «отвал+гидроотвал», так как для них характерно в определенных условиях развитие склоновых гравитационных процессов – оползней. Оползни откосов образуются при достижении состояния нарушения условий их устойчивости, вызванного «несоответствием их геометрических параметров (высоты и угла откоса) прочности слагающих пород» [14]. Оползни отвалов принято классифицировать по положению поверхности скольжения относительно их основания на надподошвенные, подошвенные и подподошвенные.

В таблице 3.1 приведены деформации на откосах гидроотвалах Кузбасса, имевших место при их эксплуатации в период с 1959 по настоящее время.

Анализ их развития позволяет отметить, что многие из них произошли по типу надподошвенных и подошвенных оползней в результате изменения свойств материала дамб при его замачивании и пород намывного массива в результате образования в них избыточного порового давления. Наблюдаются случаи развития оползней в откосах при интенсивном их нагружении насыпями дамб.

Рассмотрим два случая развития оползневых процессов на гидроотвале «Бековский» разреза «Бачатский» в Кузбассе [6, 85], произошедших в 1987 и 1989 гг. Оба они произошли по одинаковому сценарию и заслуживают описания из-за типичности сделанных ошибок эксплуатирующими организациями с целью их не повторения в дальнейшем. Первое оползневое смещение произошло в декабре 1987 года при послойной отсыпке 7-ой дамбы наращивания одновременно с двух сторон навстречу друг другу. При формировании первого слоя устойчивость насыпей и всего гидроотвала обеспечивалась. В момент отсыпки второго слоя в направлении с краев дамбы навстречу друг другу в его центральной части дамбы произошло оползневое смещение верхней части откоса гидроотвала, захватившее по фронту участок шириной 250 м, а по высоте около 15 м. В результате верхняя площадка дамбы опустилась на 3 м и сместилась в сторону от откоса на 5 метров, что привело к образованию прорана на участке шириной 250 м. По счастливой случайности пляж намыва гидроотвала на момент завершения намыва в сезоне 1987 года имел достаточно большую длину, чем призма оползания, поэтому гидродинамическая авария, сопровождавшаяся растеканием намывного материала за пределы сооружения, не развилась. Основной причиной, провоцирующей возникновение оползня на откосе явилось высокое избыточное поровое давление в намывном массиве за счет интенсивной и встречной отсыпки дамбы № 7.

Второй оползень на гидроотвале «Бековский» произошел также в декабре, но уже в 1989 году, во время формирования, как и в первом случае, второй очереди дамбы наращивания. Следует отметить, что первая очередь восьмой дамбы была отсыпана в 1988 г. без каких-нибудь серьезных ослож-

нений). Отсыпка второго слоя производилась пионерным способом при высоте 2,5 м и скорости подвигания фронта горных работ 30-50 м/сут в направлении от краев дамбы к центру. Оползень произошел по схожему сценарию, захватив часть массива от верхней восьмой дамбы до шестой дамбы наращивания на участке шириной также 250 м., при этом место его расположения достаточно хорошо совпало с участком, затронутым первым оползневой смещением.

Таблица 3.1 – Деформации, произошедшие на откосах гидроотвалов Кузбасса

№ п/п	Название гидроотвала и время возникновения деформаций	Характер деформаций	Причина деформации
1	2	3	4
1	Гидроотвал «Сагарлыкский» разреза «Бачатский» – 1959 г.	Оползень на внешнем откосе	Размокание суглинистых пород тела дамбы первичного обвалования; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление
2	Гидроотвал «Сагарлыкский» разреза «Бачатский» – 1961 г.	Оползень на внешнем откосе	Размокание суглинистых пород тела дамбы первичного обвалования; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление
3	Гидроотвал «Бахтыхта» разреза «Новосергеевский» - 1961г	Образование прорана в плотине	Нарушение гидрологического режима эксплуатации сооружения
4	Гидроотвал №3 разреза «Кедровский» – 1967 г	Оползень на внешнем откосе гидроотвала	Высокая интенсивность отсыпки дамбы наращивания в зимний период; формирование под непроницаемым при промерзании слоем избыточного порового давления
5	Гидроотвал «Бековский» разреза «Бачатский» Декабрь 1987 г.	„-“	Высокая интенсивность отсыпки дамбы наращивания в направлении от краев плотины к ее середине; формирование под слабопроницаемым промерзшим слоем избыточного порового давления
6	Гидроотвал «Бековский» разреза «Бачатский» – 1989 г.	„-“	Большая нагрузка на намывные породы откосной части и высокая интенсивность формирования дамбы наращивания; формирование под слабопроницаемым промерзшим слоем избыточного порового давления

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
7	Гидроотвал на реке Еланый Нарык разреза «Талдинский» - 2002 год	Оползень на откосе дамбы первичного обвалования	Размокание суглинистых пород тела дамбы первичного обвалования; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление
8	Гидроотвал на реке Еловка разреза «Моховский» - профиль - 16 - 2006 год	Оползень на откосе дамбы первичного обвалования	Снижение прочности пород в основании дамбы за счет возрастания порового давления
9	Отвалы сухих пород на гидроотвале «Бахтыхта» разреза «Краснобродский» - 2008г	Выдавливание намывных пород из-под отвала в выработку разреза	Нагрузка от веса отвала превысила несущую способность намывных пород
10	Гидроотвал на реке Еланый Нарык разреза «Талдинский» - 2010 год	Оползень откоса плотины №2	Отсыпка дамб наращивания в призме активного давления, нарушение условий устойчивости
11.	Гидроотвал на реке Еловка разреза «Моховский» - профили 15-16 2013 год	Оползень на откосе плотины	Снижение прочности пород в основании дамбы за счет возрастания порового давления
12	Гидроотвал на реке Еланый Нарык разреза «Талдинский» - 2013 год	Оползень откоса плотины №2	Отсыпка дамб наращивания в призме активного давления, нарушение условий устойчивости

Причиной образования оползневых смещений на гидроотвалах в периоды отсыпки дамб наращивания явилось избыточное поровое давление в породах намывных массивов, образовавшееся при встречном ведении работ по строительству насыпей дамб наращивания, существенно снизившее их прочность и спровоцировавшее развитие сдвиговых деформаций. Отсыпка восьми дамб на объекте велась в соответствии с проектной документацией института Сибгипрошахт. Первые шесть были сформированы без особых осложнений, что объясняется тем, что нейтральные напряжения в нагружаемых намывных массивов не достигали предельных значений, после которых нарушается устойчивость системы «насыпь+основание». При намыве гидроотвалов по высоте в них постепенно возрастает избыточное поровое давление, которое суммируется с давлением, инициированным отсыпкой насыпей дамб наращивания, и возникают условия близкие к предельному равновесию, развива-

ются оползни. Таким образом, по мере увеличения высоты гидроотвалов гидродинамическая ситуация в откосной части намывного массива постепенно осложняется из-за накапливания в породах избыточного порового давления.

В 2010 г и 2013 г при наращивании плотины №2 гидроотвала на реке Еланый Нарык разреза «Талдинский» произошли оползни надподошвенного типа, захватившие верхнюю часть откоса. В том и другом случаях отсыпка осуществлялась в верхней части откоса – призме активного давления, что привело к изменению баланса сил и развитию деформационных процессов. Стабилизация оползней осуществлялась посредством отсыпки пригрузов из отвальных пород в призме упора.

Процессы оплывания на гидроотвалах обусловлены действием гидростатических и гидродинамических сил воды фильтрационного потока в намывном массиве при его выходе непосредственно на откос. При появлении на откосе высачивания воды происходит перенасыщение пород и их оплывание с образованием, так называемого, «конуса выноса». Оплывание пород приводит к образованию вертикальных откосов, которые, являясь неустойчивыми, обрушаются. При следующих циклах оплывания и обрушения высота вертикального откоса постепенно увеличивается с одновременным смещением его местоположения в сторону гидроотвала. Это приводит обычно к нарушению локальной устойчивости откоса на участке развития оплывания и может спровоцировать, в конечном итоге, развитие гидродинамической аварии с тяжелыми последствиями.

На откосах гидроотвалов под действием атмосферных осадков развиваются эрозионные процессы с образованием промоин. Глубины промоин различны и могут достигать 6 - 8 м. Интенсификация их развития приводит к возникновению циклических деформаций обрушения и нарушению общей устойчивости сооружения.

Формирование отвалов «сухой» вскрыши на гидроотвалах Кузбасса осуществляется с применением следующих технологических схем отвало-

образования: 1) бульдозерно-автомобильной; 2) экскаваторной при железнодорожном транспорте для доставки пород на отвал. В зависимости от типа экскаватора последняя схема использует либо драглайны, либо мехлопаты. Данные схемы использовались в различное время на гидроотвалах «Акташский» разреза им. Вахрушева, «Западный» разрез «Бачатский», «Новоалександровский» и «Новобачатский» разрез «Краснобродский», № 3 разрез «Кедровский» и др. Выполненные геомеханические исследования деформационного поведения откосов отвалов на гидроотвалах изложены в работах [6, 57].

Из рассмотренных на рисунке 3.1 деформаций наиболее важными для обоснования технологии отвалообразования являются оползни и оседания, так как они происходят в зонах работы технологического оборудования и транспорта. Первые характерны при отсыпке отвальных насыпей в зонах распространения песчано-супесчаных и суглинистых отложений. Вторым тип деформаций - оседание, сопровождающееся выдавливанием намывных пород, отмечается при отвалообразовании в глинистой зоне, когда верхняя часть нагружаемого намывного массива сложена текучими глинами.

Оплывы откосов образуются обычно на склонах, сложенных текучими глинистыми отложениями. Такие условия возникают на вторичных техногенных откосах, образовавшихся на поверхностях гидроотвалов в зонах отсыпки отвальных насыпей (рис. 3.1 в). Выдавленные из-под отвала намывные породы перед фронтом отвала формируют откосы из текучих глинистых пород, которые являются средой для развития процессов оплывания. Они не представляют угрозу для работающего на отвале технологического оборудования, но иногда, в случае выхода оплывшего материала за границы сооружения, могут осложнить функционирования различных производственных и природных объектов у внешних границ гидроотвалов. Наблюдения за оплыванием вторичной поверхности гидроотвала в зонах влияния отсыпки отвала выполнялись с помощью аэрофотосъемки на гидроотвале «Сагарлыкский» [6,

78]. Предварительно поверхность намывного массива в зоне предполагаемого влияния отвала (ЗВО) была замаркирована специальными реперами, позволяющими их идентифицировать на аэрофотоснимках. Обработка данных измерений позволила установить скорость перемещения реперов в период активного формирования отвала на данном участке 0,3 - 1 м/сут. Установленная скорость смещения реперов по величине примерно совпадает с интенсивность подвигания отвального фронта.

Далее рассмотрим первые два типа деформации применительно к гидроотвалу на реке Еланый Нарык разреза «Талдинский» и другим намывным объектам Кузбасса: «Бахтыхта», «Новобачатский», «Новоалександровский», «Акташский», «Абинский» (разрез «Краснобродский»); «Сагарлыкский», «Западный», «Свободный» (разрез «Бачатский»); №№ 2 и 3 (разрез «Кедровский»); в выработках пластов 1 и 2, «Красногорский III», «Колмогоровский №1» (разрез «Моховский»); №№ 1 и 4 (разрез «Киселевский»).

Отвальные работы на перечисленных выше объектах производились при величине первого яруса от 7 до 50 метров с применением бульдозерно-автомобильных комплексов. Изучение морфологии и механизма подподошвенных оползней позволяет отметить следующие особенности деформационных процессов:

1. Длина оползневого блока совпадает с участком интенсивного отвалообразования и изменялась от 30 до 100 м..

2. Ширина призмы оползания зависит от высоты отвального яруса и интенсивности его формирования; для насыпей высотой от 8 до 50 м она близка данным величинам. При небольшой интенсивности работ по отсыпке отвалов призма оползания может уменьшаться до $0,6 - 0,7 H$, а при высокой – возрастать до $3H$, где H – высота отвала. Высокая интенсивность отвальных работ по отсыпке первого яруса на гидроотвале сказывается на более сложный характер деформирования откоса. При скоростях подвигания фронта отвальных работ свыше 2 м/час образуются несколько поверхностей скольжения.

3. Глубина внедрения-замещения насыпных пород в гидроотвал при отсыпке на нем отвальных насыпей в режиме деформаций откосов определяется составом и прочностью намывных пород: - для относительно прочных супесей и суглинков она составляет величину, равную половине высоты отвала; - для более слабых глинистых разновидностей – от 0,5 до 1Н.

4. Скорость сдвиговых деформаций в период активной стадии деформационного процесса определяется прочностью намывных пород, высотой отвального яруса и интенсивностью подвигания фронта отвалообразования. При отсыпке отвальных насыпей на гидроотвалах установлены скорости 0,6 - 1 м/сут, и получена следующая зависимость скорости от высоты (Н, м) отвального яруса: $V=0,015H$ м/сут, где Н-высота отвала, м.

При отвалообразовании на гидроотвалах с применением экскаваторно-железнодорожных комплексов наблюдениями за деформациями откосов установлен характер развития оползней, отличающийся от рассмотренного выше при использовании автомобилей и бульдозеров [6]. Объяснения этому лежат в порядке развития отвалов параллельными заходками шириной, зависящей от параметров экскаваторов. В работе мы их рассматривать не будем в связи с тем, что данная схема на разрезе «Талдинский» к применению не планируется.

Деформации оседания, сопровождающиеся выдавливанием намывных пород из-под насыпей, появляется при переходе отвальных работ на участки распространения глин текучей консистенции, характеризующихся сопротивлением сдвигу менее 0,01 МПа. Данный тип деформаций был хорошо изучен на гидроотвалах «Сагарлыкский» разреза «Бачатский», «Новобачатский» разрез «Краснобродский», в выработках №1 и 2 разреза «Сартаки» [6]. Кроме того, автором работы были выполнены опытные отсыпки отвальных насыпей в глинистой зоне гидроотвала на реке Еланный Нарык. Ниже на основании анализа данных материалов выполним рассмотрение условий развития подобных деформаций.

Отсыпка отвалов на территориях распространения текучих глинистых отложений сопровождается его плавным погружением насыпей без образования поверхностей скольжения. Оседание поверхности происходит неравномерно по всему объему сформированной насыпи. В большей степени деформационным процессом охвачена внешняя часть, поэтому откос отвала не выполаживается, как это бывает в случае образования оползней, а, наоборот, увеличивает свою крутизну. Намывные породы рядом с отвалом приподнимаются синхронно с опусканием отвала без валов выпирания, характерных для подподошвенных оползней. Изучение данного типа деформаций позволило дать обобщенную характеристику по их морфологии и динамики развития, а именно: - оседающие блоки по размерам совпадает с зоной интенсивного развития отвальных работ; - их длина (в случае оползней ширина призмы оползания) при высоте отвала 10-15 м составляет обычно 30 - 40 м; - скорости вертикальных деформаций оседания насыпей в активной стадии развития процессов составляют 0,3 - 0,4 м/час; - стадия активного развития оседания проходит до внедрения отвальной насыпи в намывной массив на 7-11 м и заканчивается при ее превышении над намывной поверхностью на 3 - 4 м.

Подводя итог анализу деформаций первого яруса отвалов, отсыпаемых на гидроотвалах, следует отметить, что возникновение и развитие рассмотренных типов зависит от состава, состояния и свойств намывных пород, высоты насыпи и интенсивности отвалообразования. Каждой из выделенных в намывном массиве инженерно-геологических зон присущ определенный тип. Повсеместным распространением пользуются осадки, связанные с уплотнением пород.

3.3. Прогноз изменения строения и формы намывного массива при отсыпке на его поверхности отвала в режиме контролируемых деформаций откосов первого яруса

Обычно гидроотвалы намываются в оврагах и балках, формируя новые геологические тела – техногенные массивы сложной формы (в большей части намывного генезиса, а в районе плотин – насыпного), ограниченные снизу поверхностью существующего рельефа, сверху - практически горизонтальной поверхностью карты намыва и сбоку - откосом дамб обвалования. В зависимости от инженерно-геологических условий гидроотвала, высоты первого отвального яруса, направления и интенсивности развития отвальных работ намывной массив под действием дополнительного нагружения изменяет свои размеры и форму. Данные обстоятельства, в конечном итоге, сказывается на условиях консолидации пород, их физико-механических свойствах, соответственно, на устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал». Поэтому весьма важным вопросом при обосновании параметров и технологии отвалообразования на гидроотвале является прогнозирования величины внедрения отвальной насыпи в намывной массив, уменьшения мощности и формы последнего.

До сих пор в геомеханике отсутствуют стандартные методы расчета развития процессов замещения-выдавливания. Это связано, по всей видимости, с необходимостью учета значительных величин пластических деформаций, развивающихся в «слабых» намывных породах при нагрузках, значительно превосходящих их несущую способность. Обычно в геомеханической практике такие расчеты не проводятся, так как априори известно, что устойчивость такой системы не обеспечена. Автором сделана попытка разработать эффективный метод математического моделирования геомеханических процессов в массивах, сложенных слабыми водонасыщенными грунтами в условиях их нагружения отвальными насыпями. Необходимо также отметить, что в процессе отсыпки пород «сухого» отвала на намывные грунты происходит

не только их внедрение с выдавливанием последних, но и формирования в нагружаемом массиве избыточного порового давления, рассеивание которого может продолжаться длительное время - от нескольких до десятков лет. В данном разделе вопросы рассеивания порового давления и уплотнения пород под действием веса отсыпаемого «сухого» отвала, а также устойчивости откосов ПТС, не рассматриваются.

Традиционно при выполнении численного моделирования геомеханических процессов используется метод конечных элементов (МКЭ) в Лагранжевой постановке, когда материал жестко связан с узлами элементной сетки и смещения узлов приводят к деформациям элементов (рисунок 3.2 а, б). В такой постановке достаточно просто оперировать граничными условиями и отслеживать их изменения в процессе численного моделирования. Однако при наличии больших деформаций происходит значительное искажение элементной сетки, что, с определенного момента, приводит к накоплению недопустимых погрешностей при определении первичных (усилия, перемещения) и вторичных переменных (напряжения и деформации), а в последующем - к значительному расхождению решения [103].

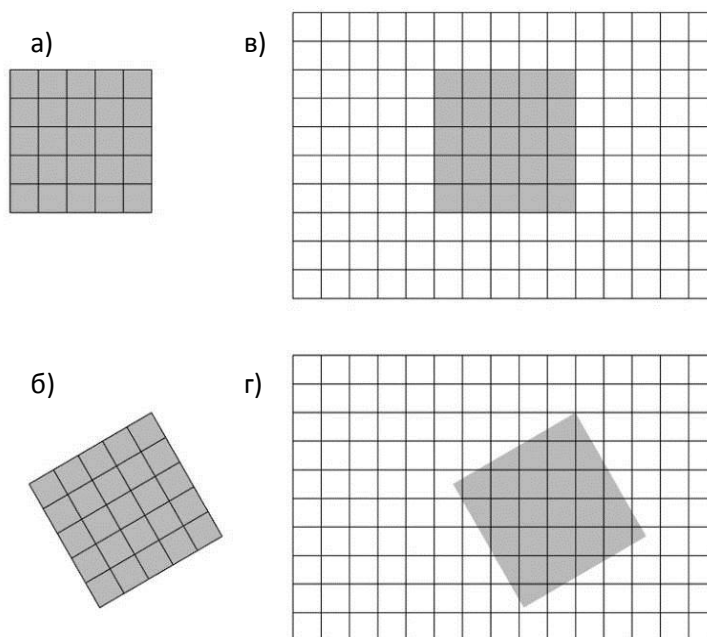


Рисунок 3.2 - Взаимосвязь между элементной сеткой и материалом в Лагранжевой постановке (а, б) и Эйлеровой постановке (в, г)

Альтернативой Лагранжевой постановке является Эйлера постановка, в которой узлы элементной сетки остаются неподвижными, а материал перемещается через элементную сетку (рисунок 3.2 в, г). Такой подход исключает искажения элементной сетки, качество которой определяется только ее начальным состоянием. Однако отслеживать свободные поверхности, характеризующие границы материала весьма трудоемко. В Эйлеровой постановке элемент может быть заполнен материалом не на 100% (рисунок 3.2 г).

Эйлера постановка применяется при решении высоконелинейных проблем, включая задачи об экстремальных контактных условиях, значительных деформациях и перемещениях тела, динамических процессах, задачах, связанных с повреждениями, разрушением, эрозией [103-110].

При отсыпке «сухих» пород отвала ожидаются их значительное внедрение в намывные грунты, которое будет сопровождаться очень большими деформациями. Решение такой задачи в Лагранжевой постановке с применением неявных методов анализа весьма затруднено, тогда как Эйлера постановка и явный динамический метод анализа, позволяет достаточно эффективно решать такой класс задач [70].

При явном методе численного анализа уравнение движения записывается в форме приращений следующим образом:

$$M\ddot{u} = P - I, \quad (3.1)$$

где M – узловая матрица масс; $\ddot{u}$ – вектор узловых ускорений; P – вектор внешних сил; I – вектор внутренних сил.

Ускорение в начале данного инкремента t вычисляется как:

$$\ddot{u}|_{(t)} = (M)^{-1} (P - I)|_{(t)}. \quad (3.2)$$

Проинтегрировав ускорения по времени и воспользовавшись правилом центрального дифференцирования, получим изменение скорости при постоянном ускорении. Для того чтобы определить скорость в середине данного инкремента, изменение скорости добавим к величине скорости, полученной в середине предыдущего инкремента:

$$\dot{u} \Big|_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = \dot{u} \Big|_{\left(t-\frac{\Delta t}{2}\right)} + \frac{\left(\Delta t \Big|_{(t+\Delta t)} + \Delta t \Big|_{(t)}\right)}{2} \ddot{u} \Big|_{(t)}. \quad (3.3)$$

Проинтегрировав скорость по времени и добавив перемещения на начало инкремента, получим перемещения на конец инкремента:

$$u \Big|_{(t+\Delta t)} = u \Big|_{(t)} + \Delta t \Big|_{(t+\Delta t)} \dot{u} \Big|_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)}. \quad (3.4)$$

Далее выполняется вычисление приращений деформаций внутри элементов, приращений напряжений и осуществляется сборка узловых внутренних сил.

Для получения точного результата размер инкремента должен быть достаточно малым (таким, чтобы ускорение практически не изменялось в течение инкремента). Так как вычислительные затраты на нахождение неизвестных в каждом инкременте несущественны, то общее время расчета при решении высоко нелинейных квазистатических задач является вполне приемлемым по сравнению с аналогичными временными затратами при использовании неявных методов численного анализа.

Представленный выше подход реализован в качестве базового функционала в программном комплексе для выполнения многоцелевых прочностных расчетов Abaqus [Explicit], который и использовался для выполнения численного моделирования отсыпки «сухих» пород отвала на намывные грунты.

Численное моделирование внедрение «сухих» пород отвала в намывные грунты выполнялось с учетом следующих предпосылок и допущений:

- численное моделирование выполняется в плоско-деформационной постановке;
- численное моделирование выполняется в динамической постановке, что позволяет эффективно моделировать процесс отсыпки пород, который сопровождается большими пластическими деформациями;
- при моделировании не учитывается уплотнение тела отвала за счет консолидационных процессов, объемные деформации реализуются

только за счет упругих свойств (предполагалось, что процесс отсыпки осуществляется достаточно быстро, значительного рассеивания порового давления не происходит, а деформации, вызванные консолидацией намывных грунтов будут учтены на следующей стадии численного моделирования, которая в данной разделе не рассматривается);

- отсыпка пород «сухого» отвала в намывные породы выполняется от дамбы (от правой границы) в направлении левой границы модели заходками по 50 м;

- моделирование отсыпки каждой заходки выполняется в две стадии:

1 стадия – непосредственно отсыпка пород «сухого» отвала в насыпные породы;

2 стадия – граничные условия не изменяются, ожидается затухание процессов деформаций в теле отвала (продолжительность затухания процессов деформирования определяется для каждой конкретной заходки на основании наблюдения за скоростью развития деформаций во времени);

- механическое поведение намывных пород и пород «сухого» отвала описывается упругопластической моделью Кулона-Мора;

- основание отвала в явном виде при выполнении численного моделирования не рассматривалось, а заменялось граничным условием, моделирующим абсолютно жесткое основание.

Отсыпка «сухих» пород отвала осуществлялась через участок модели номер 5 (рисунок 3.3), который представляет собой специальное граничное условие (применимо только для задач в Эйлеровой постановке), позволяющее поступать материалу из-за пределов модели через данную границу.

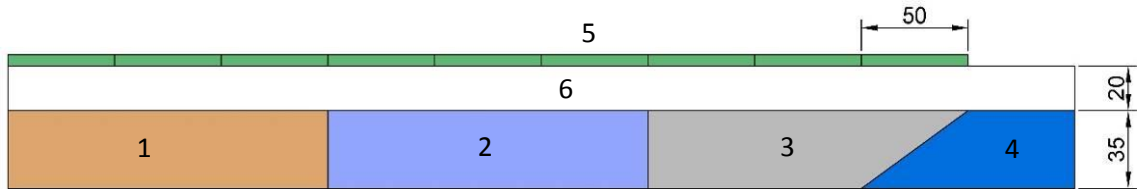


Рисунок 3.3 - Геометрическое представление модели численного моделирования процессов внедрения насыпных пород в намывные отложения:

1 – намывные породы (песчано-супесчаная зона); 2 – намывные породы (суглинистые породы); 3 – намывные породы (глинистые породы); 4 – дамба; 5 – участки выпуска пород сухого отвала; 6 – пространство, не заполненное материалом.

Задача рассматривалась в следующих граничных условиях:

- перемещения по левой границе модели запрещены (рассматривается как плоскость симметрии);
- перемещения по правой границе модели запрещены;
- перемещения по низу модели запрещены;
- пространство между намывными породами и границей 5, на которой установлено специальное граничное условие, не заполнено материалом и позволяют другому материалу свободно перемещаться в эту область.

Для описания среды согласно модели Кулона-Мора необходимо помимо двух упругих констант три пластических параметра, сцепление c , угол внутреннего трения φ и угол дилатансии ψ .

Классическое условие пластичности для сыпучих сред (закон трения Кулона) можно записать в виде уравнения

$$f = \tau - c - \sigma_n \operatorname{tg}(\varphi), \quad (3.5)$$

где τ – предел прочности сдвигу на рассматриваемой площадке; σ_n – нормальное напряжение, действующее перпендикулярно рассматриваемой площадке.

В пространстве главных напряжений условие пластичности **Ошибка! Источник ссылки не найден.**3.5) можно представить набором из 6 уравнений вида,

$$f_1 = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \sin(\varphi) - c \cos(\varphi), \quad (3.6)$$

которые в целом описывают поверхность пластического течения, где σ_1 – главные нормальные максимальные напряжения; σ_2 – главные средние нормальные напряжения; σ_3 – главные минимальные нормальные напряжения.

Параметры упругопластической модели Кулона-Мора для намывных пород и сухих пород отвала сведены в таблице 3.2.

Моделирование процессов выдавливания намывных пород из-под отвала и замещения их породами отвалов производилось для условий гидроотвала на р. Еланный Нарык, который представляет собой гидротехническое сооружение площадью 127 га и высотой более 50 м. Намывной массив гидроотвала по гранулометрическому составу разделяется на три зоны: песчано-супесчаную, суглинистую и глинистую. Породы выделенных зон характеризуются расчетными показателями физико-механических свойств, приведенными в таблица 3.2.

Таблица 3.2 - Физико-механические свойства пород, принятые для выполнения численного моделирования на этапе I

Слой	Плотность, т/м ³	Модуль деформации, МПа	Коэффициент поперечной деформации	Сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град.
Дамба	2,0	40	0,45	5	30
Породы сухих отвалов	1,8	40	0,35	15	28
Намывные породы (песчано-супесчаная зона)	1,9	16	0,35	5	15
Намывные породы (суглинистая зона)	1,9	12	0,35	15	7.5
Намывные породы (глинистая зона)	1,9	8	0,35	30	5

После завершения намыва гидроотвала согласно технологическому решению на его поверхности планируется осуществить отсыпку первого яруса высотой 20 м. Гидрогеомеханическое обоснование отвалообразования предполагает прогноз изменения параметров и формы намывного массива при отсыпке первого 20-метрового отвального яруса. Выполнено пошаговое моделирование отсыпки сухого отвала на гидроотвале (рисунок 3.4).

Анализ результатов исследований позволяет говорить о том, что максимальные внедрение, сопоставимые с мощностью насыпи (высоты отвального яруса), наблюдается на участке глинистой зоны в краевой части модели (у дамбы). Кроме вертикального внедрения пород «сухого» отвала происходит выдавливание намывных пород из-под насыпи в неперегруженную зону перед фронтом движущегося яруса. По мере продвижения отвала вглубь гидроотвала величина внедрения насыпи уменьшается, так как часть нагрузки передается на ранее внедренные отвальные породы. Также, исходя из результатов гидрогеомеханического моделирования, установлена тенденция уменьшения глубины внедрения отвальных пород по мере смещения фронта горных работ из глинистой зоны в суглинистую и далее - в песчано-супесчаную.

Рассматривая деформации намывных пород, вызванных внедрением в них пород «сухого» отвала, можно отметить, что намывные породы при этом перемещаются из одной зоны в другую, частично перемешиваются там, образуя новые по составу и строению техногенные грунты. Таким образом, техногенный массив ПТС «отвал+гидроотвал» на отдельных участках характеризуется трехслойным строением (сверху вниз): 1) породы «сухих» отвалов; 2) намывные породы, нарушенные и перемешанные; 3) ненарушенные намывные отложения. В целом получена качественная картина, характеризующая конечный результат развития гидрогеомеханических процессов при отвалообразовании на слабом основании, а именно новую структуру техногенного массива с выделением намывных пород двух типов. Это позволяет спрогнозировать инженерно-геологические условия ПТС, а также выполнить расчеты избыточного порового давления, обосновать рекомендации по устойчивым параметрам откосов, разработать технологические схемы ведения отвальных работ и установить критерии для выполнения мониторинга безопасности и т. д.

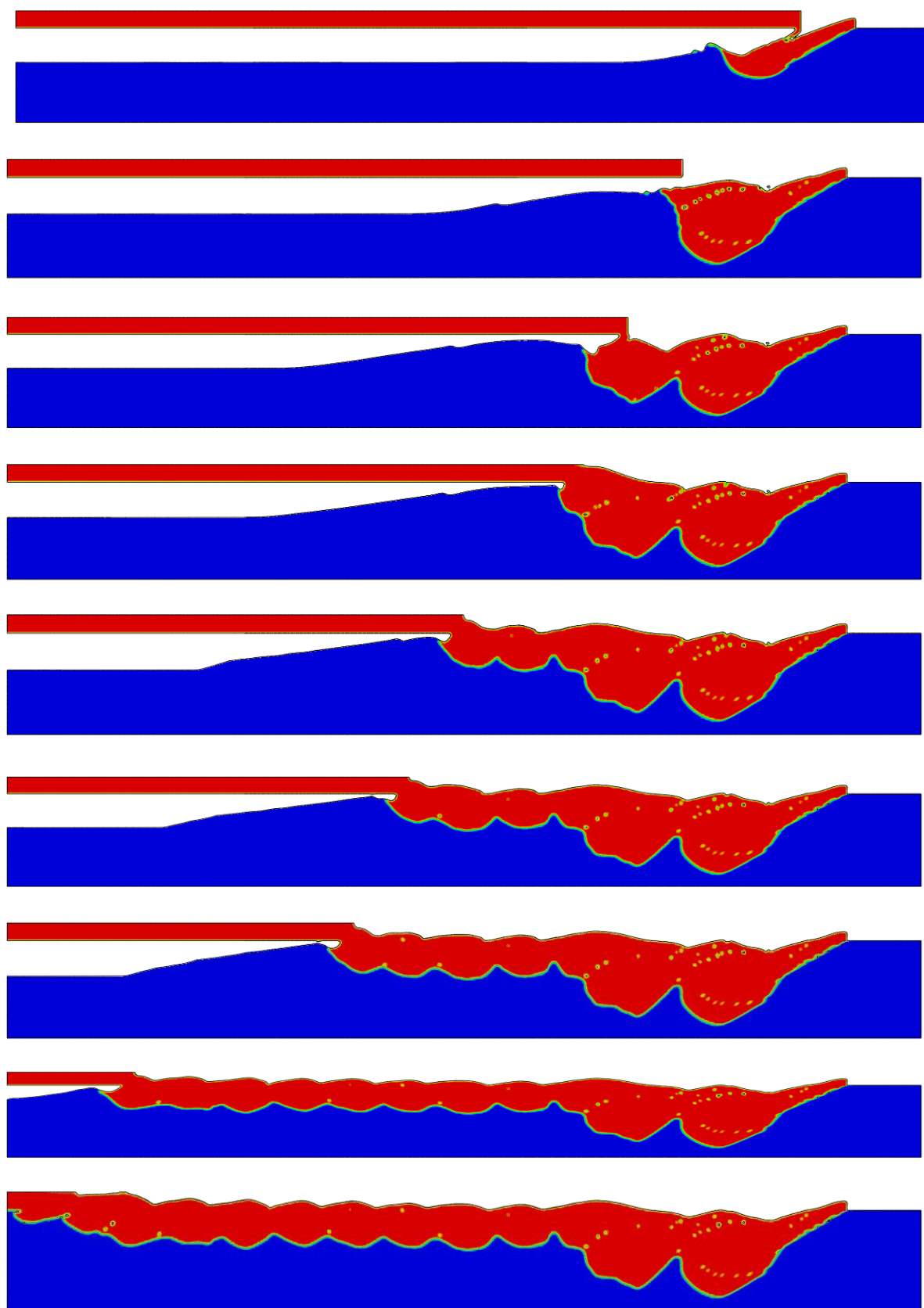


Рисунок 3.4 - Внедрение сухих пород отвала в намывные породы гидроотвала

3.4. Прогноз напряженно-деформированного состояния намывных пород при нагружении «сухими» отвалами

Одной из важнейших задач при выполнении обоснования параметров ПТС «отвал+гидроотвал» и технологии отвалообразования на гидроотвалах является прогнозирование избыточного порового давления в нагружаемых намывных породах.

Механизм его образования объясняется следующим образом. При формировании отвального яруса на гидроотвале в нем под действием давления от веса насыпи в породах основания насыпи (намывных породах) возникают дополнительные сжимающие напряжения, изменяющие структуру и приводящие к деформированию намывного массива. При этом внешняя нагрузка частично передается на воду, находящуюся в порах породы, провоцируя образования избыточного порового давления в зоне деформаций скелета. Образовавшаяся разность напоров внутри зоны сжатия и на ее границах способствует развитию фильтрации воды, уменьшению размеров и объема пор, а также консолидации породы. Отжатие порового давления из пород нагружаемого массива сопровождается снижением давления в порах породы и увеличению эффективных напряжений в ее скелете; этот процесс носит название фильтрационной консолидации. Он зависит от компрессионно-фильтрационных свойств пород (коэффициентов сжимаемости, фильтрации и консолидации; начального градиента фильтрации, структурной прочности), степени однородности массива (анизотропии фильтрационных свойств), геометрических параметров нагружаемого массива (мощности пород; размеров в плане), дренажных условий на границах массива, величины нагрузки и интенсивности нагружения в плане и разрезе.

Конкретные гидрогеомеханических и технологические (условия нагружения массива) условия массивов определяют необходимость постановки задачи по прогнозированию порового давления в одной из трех возможных постановок [10, 28, 29, 69, 78, 96]:

- одномерной, когда рассеивание избыточного порового давления из массива происходит только в вертикальном направлении вверх (слой на водоупоре), либо вверх и вниз (слой на дренаже);
- двумерной – рассеивание избыточного порового давления происходит в вертикальном и горизонтальном направлении;
- трехмерной (объемной) – рассеивание избыточного порового давления происходит в трех направлениях.

Для каждой из трех возможных постановок задачи разработаны соответствующие математические решения, сложность реализации которых на практике возрастает с увеличением направлений фильтрации воды из области образования избыточного порового давления к границам дренажа. Для одномерных задач существуют аналитические решения, которые позволяют достаточно просто произвести вычисления порового давления в зависимости от конкретных условий [29, 57, 96]. Двухмерная, а особенно, трехмерная постановки весьма сложны для реализации в аналитических решениях и требуют применение специальных математических методов, таких как методы конечных разностей (МКР) и конечных квадратов (МКЭ). Последний получил широкое распространение в практике прогнозирования напряженно-деформированного состояния пород в связи с необходимостью одновременного решения задач оценки НДС и устойчивости откосов массивов.

В настоящей работе для прогноза избыточного порового давления в нагружаемом намывном массиве и оценки условий устойчивости формируемых откосов ПТС «отвал+гидроотвал» использовался программный комплекс МКЭ Abaqus в двумерной постановке.

Упрощенная структура универсального многофункционального программного комплекса ABAQUS для выполнения прочностных расчетов представлена ниже [109, 110].

Программный комплекс ABAQUS состоит из трех основных модулей: препроцессор ABAQUS/CAE – программный модуль, предназначенный для

подготовки конечно-элементной модели, включая создание геометрической интерпретации реального объекта, создание конечно-элементной интерпретации реального объекта, задание граничных и начальных условий, а также других параметров модели необходимых для последующего решения математической интерпретации реального объекта одним из численных методов. Необходимо отметить, что данный модуль не является обязательным для выполнения математического моделирования и не содержит в себе численных методов решения дифференциальных уравнений в граничных и начальных условиях, но он позволяет значительно сократить время подготовки самой модели.

Другим вспомогательным модулем программного комплекса ABAQUS является ABAQUS/VIEWER. Данный модуль предназначен для визуализации полученных результатов математического моделирования включая, перемещения, деформации (упругие, пластические, вязкие), напряжения и др.

Модули ABAQUS/CAE и ABAQUS/VIEWER могут управляться по средствам языка программирования PYTHON, что позволяет выполнять задачи оптимизации, определения влияющих факторов, создавать надстройки с заданным пользователю функционалом (рисунок 3.5).

Ядром программного комплекса ABAQUS является модуль ABAQUS/STANDARD (ABAQUS/EXPLICIT) который предназначен для формирования на основе полученных исходных данных системы линейных уравнений в виде зависимости приращений напряжений от деформаций и их последующего решения.

Для решения задач геомеханики в программном комплексе ABAQUS встроены различные геомеханические модели среды, такие как: упруго-пластическая модель Кулона-Мора, упругопластическая модель Друкера-Пракера, модифицированная модель Cam-Clay, упругопластическая шатровая модель с упрочнением для описания уплотняющихся сред. Также реализован ряд вязкоупругих и вязкопластических моделей и др.

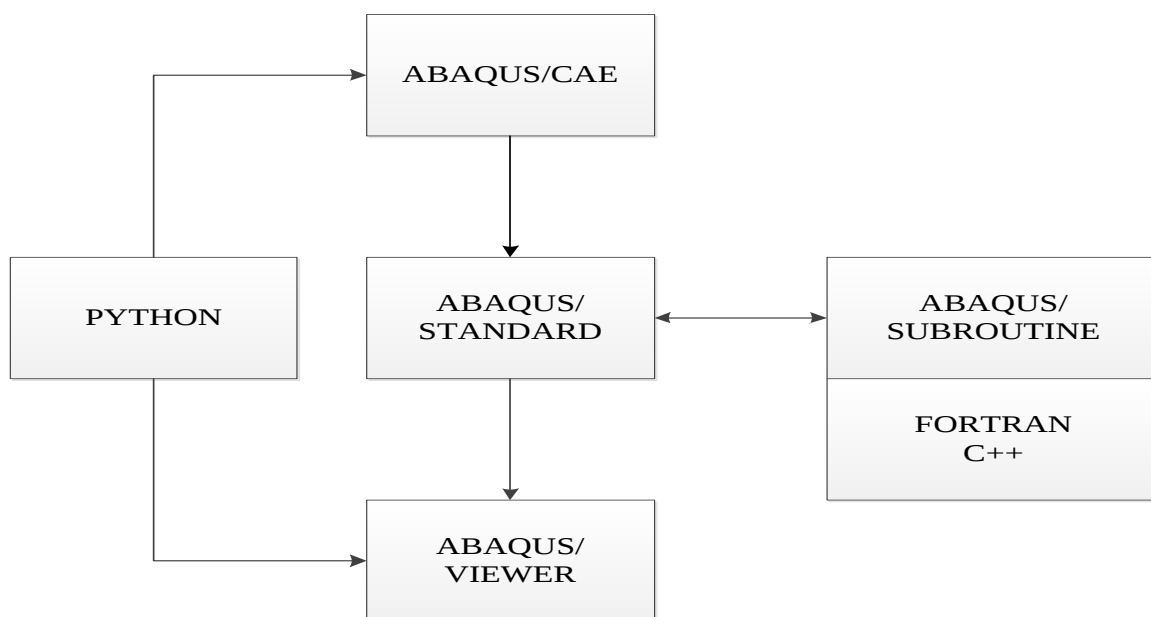


Рисунок 3.5 - Упрощенная структура программного комплекса ABAQUS

Хорошо развитые численные методы решения систем нелинейных уравнений позволяют успешно справляться с высоко-нелинейными задачами геомеханики и геотехники.

Численное моделирование отсыпки «сухих» пород на гидроотвале выполнялась одним из приближенных численных методов анализа, методом конечных элементов. Данный метод основан на дискретизации рассматриваемой площади (объема) на простые геометрические элементы - конечные элементы. Все конечные элементы связаны с соседними элементами в узловых точках, что обеспечивает непрерывность поля перемещений. Напряжения и деформации высчитываются в точках интегрирования, а затем с помощью методов интерполяции распространяются на всю площадь элемента или весь объем элемента.

При выполнении математического моделирования отсыпки пород «сухого» отвала высотой 90 м на намывной массив мощностью 55 м, т.е. формирование ПТС «отвал+гидроотвал» общей высотой 145 м, были приняты следующие допущения:

- полагая, что протяженность отвала в продольном направлении больше его поперечных размеров, с некоторыми допущениями, задачу можно рассматривать в плоско-деформационной постановке;

- при выполнении численного моделирования отсыпки пород отвала и их уплотнения приняты следующие модели поведения среды:
 - основание отвала, дамба и породы «сухого» отвала рассматривались как линейно-деформируемая среда;
 - намывные породы (песчано-супесчаная зона, суглинистая зона, глинистая зона) рассматривались как упругопластическая среда с упрочнением, модифицированная модель Друкера-Прагера, шатровая;
- длительные прочностные свойства пород отвала и основания, при выполнении численного моделирования не учитываются.

Модель состояла из элементов второго порядка. Количество степеней свободы при рассмотрении задачи в плоской постановке 3 (два перемещения и поровое давление).

Задача решалась в постановке, когда внутри отвала под действием внешней нагрузки может формироваться только избыточное поровое давление. При оценке устойчивости поровое давление, сформированное ранее, суммировалось с рассчитанным избыточным поровым давлением.

Задача рассматривалась в следующих граничных условиях:

- поверхность грунтового массива может свободно деформироваться;
- смещения по остальным границам модели запрещены в направлении перпендикулярном рассматриваемой поверхности;
- поровое давление принималось равным нулю по поверхности модели.

В качестве начальных условий задавались начальные величины коэффициента пористости и действующие, до момента внедрения пород «сухих» отвалов, величины начального напряжённого состояния.

Численное моделирование выполнялось в следующей последовательности:

- формирование начального поля напряженного состояния пород гидроотвала и его основания с учетом деформаций полученных на первом

этапе (внедрения «сухих» пород отвала в намывные породы); продолжительность отсыпки «сухих» пород отвала принята равная одному году;

- послойная отсыпка пород «сухого» отвала мощностью по 20 м производилась отдельными участками протяженностью по 200 м (рисунок 3.6); продолжительность отсыпки принята равной 180 дней на каждый участок, что эквивалентно отсыпке слоя мощностью 20 м на всю поверхность отвала за 2 года; таким образом, выполнялась отсыпка 4 ярусов отвала; высота 5-го последнего яруса принята равной 10 м, отсыпка каждого участка которого, выполнялась за 60 дней;
- при выполнении численного моделирования породы отсыпки заменялись эквивалентной равномерно-распределенной нагрузкой, величина которой определялась, исходя из мощности слоя и плотности пород; нагрузка прикладывалась не мгновенно, а линейно нарастала от начального значения до конечного;
- моделирование процесса рассеивания порового давления в теле отвала и уплотнения пород отвала; продолжительность данного этапа принята равной 10 годам.

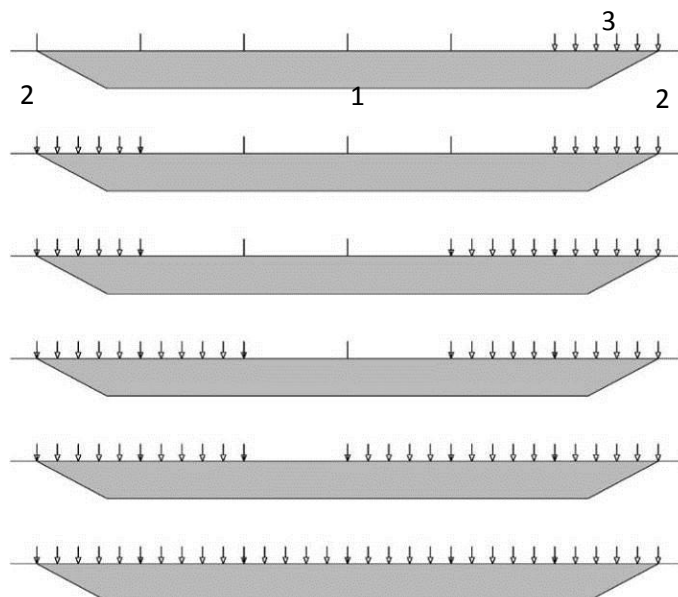


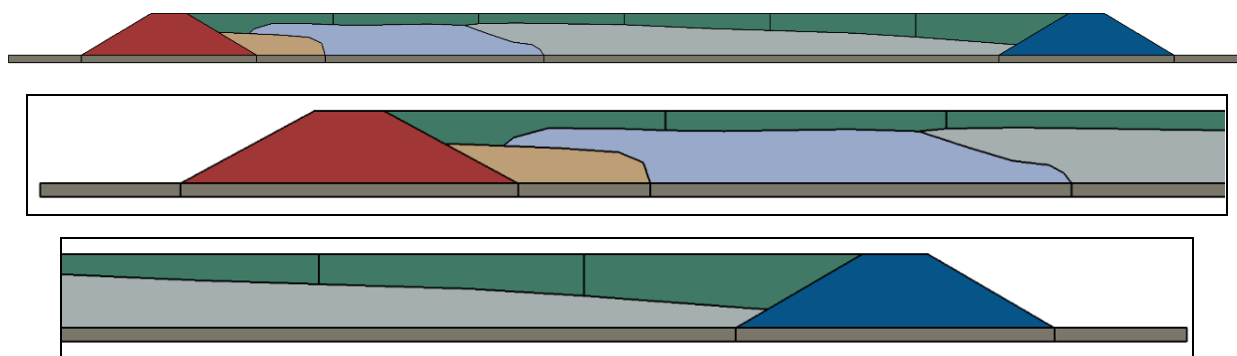
Рисунок 3.6 - Схема отсыпки пород сухого отвала типового слоя при выполнении численного моделирования (размеры показаны условно):

1 – намывные породы; 2 – дамба; 3 – участок породы, представленный в виде эквивалентной равномерно- распределенной нагрузки.

Постановка задачи выполнена таким образом, что рассеивание порового давления возможно не только на заключительном этапе численного моделирования, но и на протяжении всех предыдущих этапов, начиная с внедрения пород «сухого» отвала в намывные грунты и заканчивая отсыпкой последнего слоя грунта.

Инженерно-геологическое строение гидроотвала и пород основания представлено на рисунк 3 с учетом результатов численного моделирования внедрения пород сухого отвала в намывные породы (первый этап численного моделирования).

Физико-механические свойства намывных пород и пород сухого отвала, а также пород основания и дамб сведены в таблицу (Ошибка! Источник ссылки не найден.). Деформационные свойства намывных пород определялись с учетом полученных в лабораторных условиях компрессионных кривых (рисунок 3.8).



■ дамба I, ■ дамба II, ■ породы сухих отвалов; ■ основание отвала
■ Песчано - супесчаная, ■ суглинистая, ■ глинистая зоны;

Рисунок 3.7 - Геометрическое представление численной модели отсыпки «сухих» пород отвалов.

Таблица 3.3 - Физико-механические свойства пород отвала и основания принятые для выполнения численного моделирования на этапе II

Слой	Плотность, т/м ³	Модуль деформации, МПа	Коэффициент поперечной деформации	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град.
Дамба – I	2,0	40	0,4	10	5	30
Дамба – II	2,0	10	0,4	0,5	5	30

Породы сухих отвалов	1,8	40	0,35	10	15	28
Песчано-супесчаная зона	1,9	Определяется по рисунок 3.8 3.8	0,35	0,1	13	25
Суглинистая зона	1,9		0,35	0,01	40	19
Глинистая зона	1,9		0,35	0,001	40	10
Основание отвала	2,0	10	0,3	0,0001	20	16

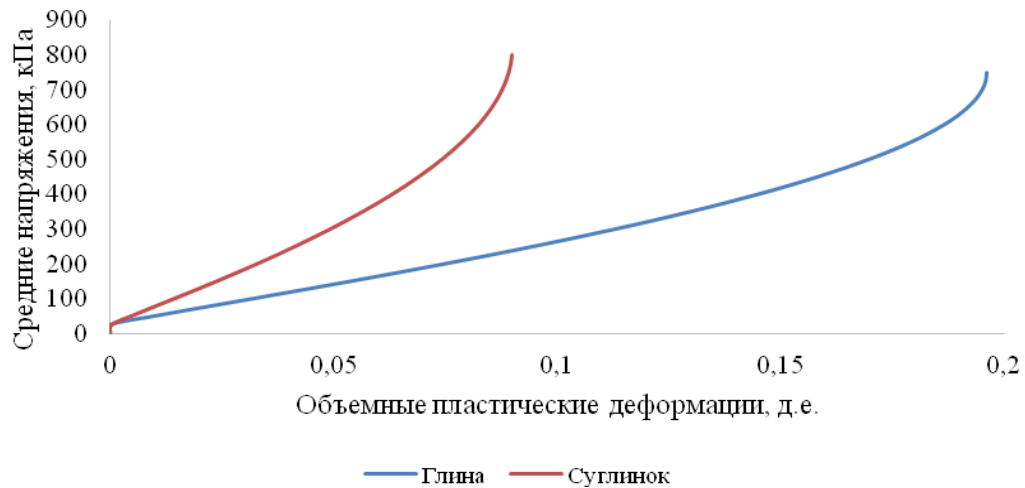


Рисунок 3.8 - Взаимосвязь между средними напряжениями и объемными пластическими деформациями по данным лабораторных испытаний

Переход от прочностных показателей c и φ модели Кулона-Мора, к эквивалентным прочностным показателям d и β шатровой модели Друкера-Прагера для условий плоского деформирования и условия неассоциированного закона пластического течения выполняется по выражению:

$$\begin{aligned} \beta &= \arctg(\sqrt{3} \sin \varphi) \\ d &= c\sqrt{3} \cos \varphi \end{aligned} \quad (3.7)$$

Кривая упрочнения шатровой модели Друкера-Прагера задавалась согласно полученным по результатам лабораторных испытаний компрессионным кривым (рисунок 3.8.8).

Наибольший интерес при моделировании нагружения гидроотвала представляют результаты деформирования намывного массива, а также формирования и рассеивания избыточного порового давления в намывных поро-

дах. Результаты численного моделирования представлены в виде зависимостей и цветных контуров (рисунок 3.9-3.11).

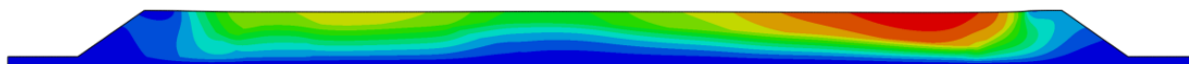
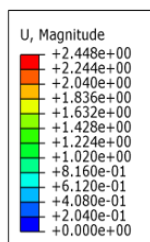


Рисунок 3.9 - Деформации намывного массива после отсыпки 2-го яруса

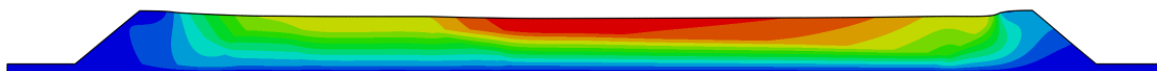
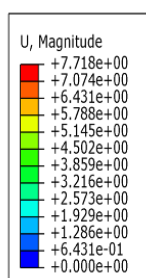


Рисунок 3.10 - Деформации намывного массива через 10 лет после отсыпки

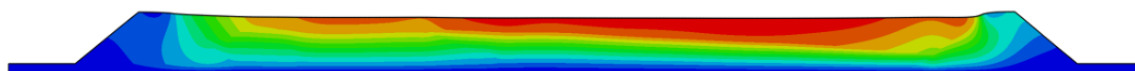
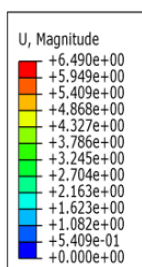


Рисунок 3.11 - Деформации намывного массива после отсыпки всего отвала

Рассмотрим результаты моделирования вертикальных смещений на поверхности гидроотвала при отсыпке отвала первым ярусом и полностью отвалом до проектной высоты 90 м. Установлено, что при формировании первого яруса максимальные величины оседания отмечаются непосредственно у

дамб № 1 и 2, что связано с оттоком воды из краевых частей в стороны дамб. Максимальные осадки при этом отмечаются у дамбы №2, где сжимаемость значительно больше. По мере отсыпки следующих отвальных ярусов (слоев) с первого по пятый, вертикальные смещения в краевых зонах и в центре выравниваются, а по истечению еще 10 лет, когда дополнительная отсыпка отвала не ведется, вертикальные смещения в центральной части гидроотвала продолжают расти, в то время, как в краевой части, роста вертикальных смещений практически не наблюдается. Отсюда можно сделать вывод о том, что в краевых частях процесс консолидации к моменту окончания отсыпки отвала практически завершился, в то время как в центральной части он все еще продолжается. На конечный расчетный период (по прошествии 19 лет), максимальная величина вертикальных смещений поверхности гидроотвала достигла 7,7 м. Данные деформации наблюдаются в центральной части отвала. В краевых частях вертикальные смещения достигли величин 5,1 м, у дамбы I и 5,6 м у дамбы II. Для оценки изменения величин избыточного порового давления в намывных породах выбраны характерные точки, в которых производились расчеты избыточного порового давления (Ошибка! Источник ссылки не найден.).

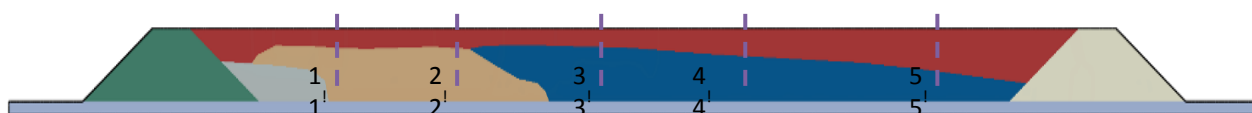


Рисунок 3.12 - Сечения в теле гидроотвала, по которым строились эпюры порового давления

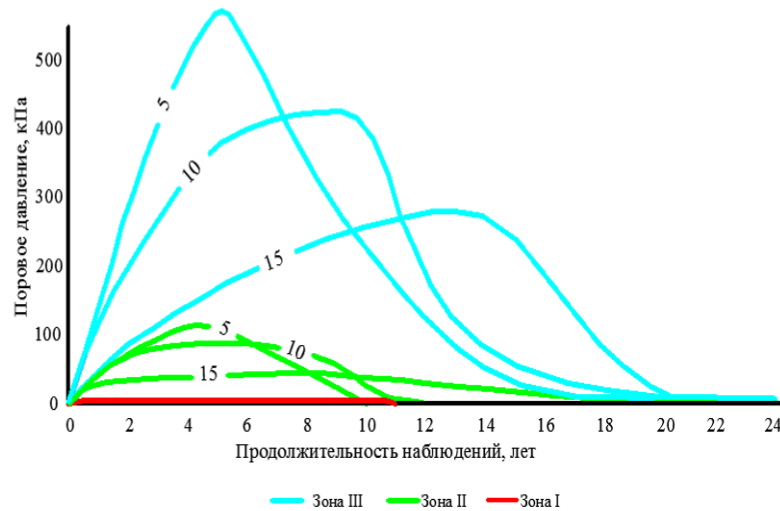


Рисунок 3.13 - Графики избыточного порового давления в замерных точках

Из графиков видно, что в процессе отсыпки «сухого» отвала на гидроотвале в породах намывного массива возникает избыточное поровое давление, величина которого во времени изменяется в зависимости от состава пород (инженерно-геологической зоны). Так, в песчано-супесчаной зоне (точка 1) и суглинистой зоне (точка 2) поровое давление успевает рассеиваться практически полностью за период между отсыпками и на момент завершения формирования отвала до максимальных отметок. В глинистой зоне гидроотвала наблюдается тенденция к росту избыточного порового давления в процессе послойной отсыпки отвала. Это говорит о том, что выбранный режим формирования отвала приводит к накоплению давления.

После полного завершения строительства отвала до максимальной высоты 90 м отмечается тенденция рассеивания избыточного порового давления за 10 лет практически до нуля. Как видно из представленной диаграммы, поровое давление практически полностью рассеется во всех точках тела гидроотвала через 10 лет с момента завершения работ по отсыпке пород сухого отвала. На диаграммах, построенных по сечениям, проходящим через тело отвала, начиная с его поверхности и заканчивая нижней отметкой основания отвала, представлены эпюры избыточного порового давления (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Они позволяют оценить изменение избыточного порового давления во времени по характерным сечениям. Отчетливо видно, что в песчано-супесчаной зоне избыточное поровое давление рассеивается быстро,

практически не изменяется на конец каждой отсыпки пород «сухого» отвала. В глинистой же зоне избыточное поровое давление нарастает с ростом высоты отвала. Максимальное избыточное поровое давление формируется в основании отвала и достигает 740 кПа. В теле отвала максимальная величина избыточного порового давления отмечена в центральной части отвала и достигает 590 кПа.

Полученные результаты распределения избыточного порового давления в теле гидроотвала использовались для оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» на различных этапах формирования.

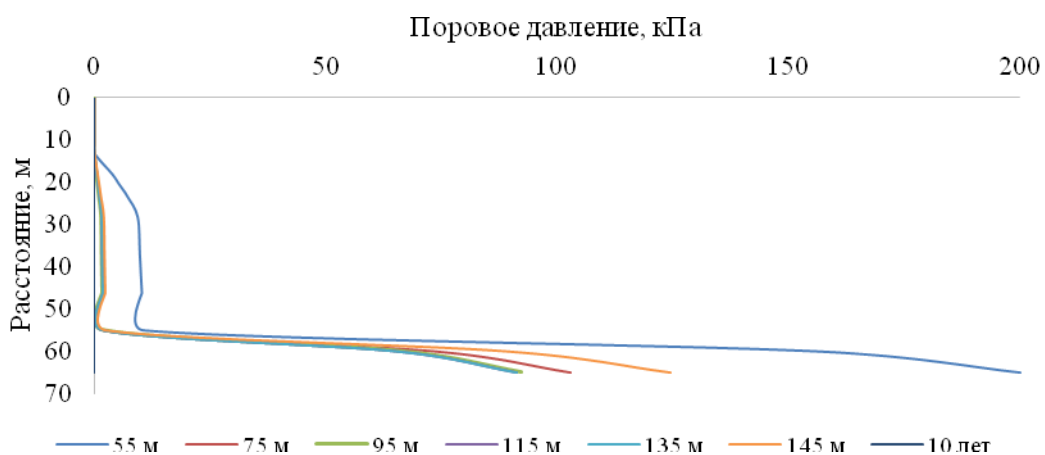


Рисунок 3.14 - Эпюра избыточного порового давления в теле отвала по сечению 1-1

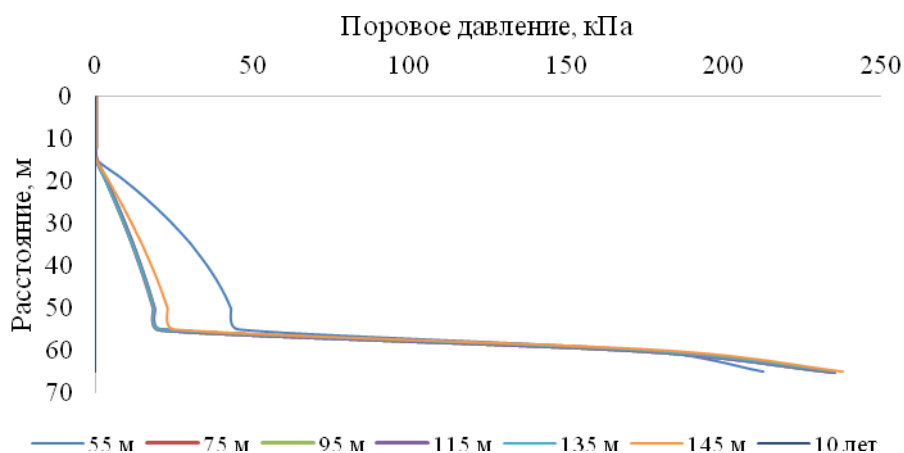


Рисунок 3.15 - Эпюра избыточного порового давления в теле отвала по сечению 2-2

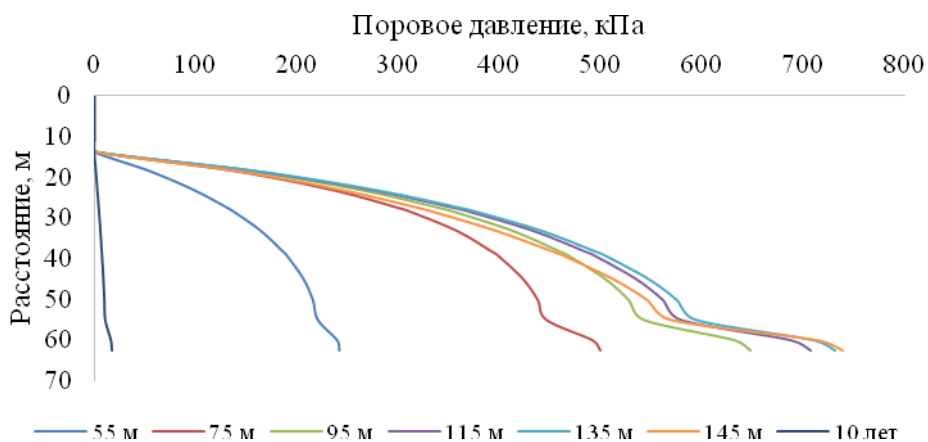


Рисунок 3.16 - Эпюра избыточного порового давления в теле отвала по сечению 3-3

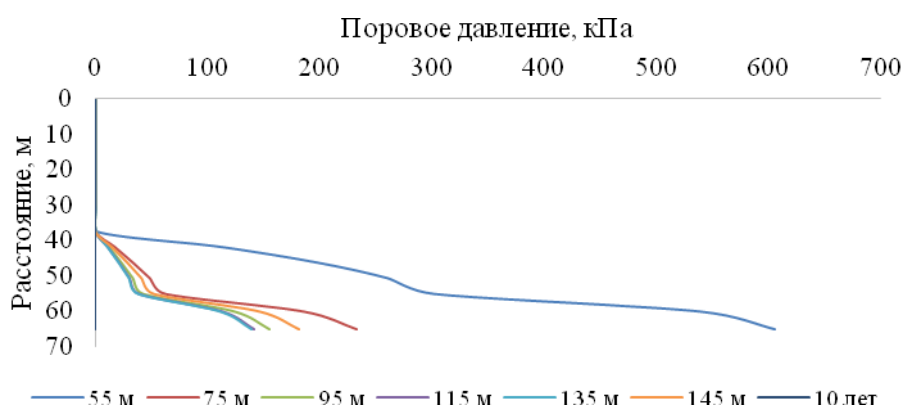


Рисунок 3.17 - Эпюра избыточного порового давления в теле отвала по сечению 5-5

3.5. Оценки устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал»

Расчеты устойчивости горнотехнических сооружений угольных предприятий Российской Федерации рекомендовано производить в соответствии с нормативно-методическими документами ВНИМИ, утвержденных Ростехнадзором РФ [45, 49]. В частности, «Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» геомеханические расчеты устойчивости откосов отвалов предлагают осуществлять методами «многоугольника сил» или «алгебраического сложение сил по плавной криволинейной поверхности». Данные методы положены в основу некоторых программных комплексов. Так, ООО НПФ «Карбон» более 15 лет использует программу «Stability» для расчетов устойчивости горнотехнических сооружений в условиях развития гидрогеомеханических процессов. В настоящее время она широко используется при организации и выполнения мониторинга безопасности объектов про-

мышленной гидротехники. На кафедре геологии Горного института НИТУ «МИСиС» применяется для расчетов устойчивости оригинальная программа, разработанная на базе двух рекомендованных инженерных методов расчета [78].

В зарубежной практике широко применяются программные комплексы, в основу которых положены различные инженерные методы расчета. На предприятиях ОАО «УК» Кузбассразрезуголь» используется программный комплекс «Galena» (компания BHP Engineering, Австралия), позволяющий выполнять оценки устойчивости естественных и искусственных откосов, как в слабых грунтах, так и в скальных массивах, различных насыпей в плоской постановке методом предельного равновесия. Комплекс предназначен для выполнения расчетов откосов неоднородных по геологическому строению, инженерно-геологическим условиям и гидрогеологической структуре. Он рекомендован Американской ассоциацией геотехников для выполнения расчетов устойчивости различных горнотехнических сооружений.

В программном комплексе используются основные широко используемые в геотехнической практике инженерные методы: Bishopsimplified, Sarma, Spenser и др. В нем приняты основные геомеханические критерии разрушения: Кулона-Мора, Хоек-Брауна, обобщенный критерий Хоек-Брауна и ряд других.

При выполнении анализа устойчивости откоса в программе производится быстрый поиск поверхности скольжения по алгоритмам известных методов расчета устойчивости любых откосных сооружений:

1. Расчет по круглоцилиндрической поверхности методом Бишопа;
2. Расчет по круглоцилиндрической поверхности и поверхности задаваемой сложной формы методом Спенсера-Врайта;
3. Расчет на основании сложных инженерно-геологических моделях с границами любой конфигурации методом Сарма.

В программе выполняется поиск вероятной поверхности скольжения в заданных границах. Критическая поверхность скольжения может иметь

круглоцилиндрическую и более сложную поверхность, проходящую по слабому контакту. Местоположение поверхностей скольжения, соответствующих состоянию предельного равновесия откоса, в программе находится методом последовательного приближения при проведении многократных поверочных расчетов.

Создание модели для выполнения расчетов устойчивости производится следующим образом:

- формируется геометрическая инженерно-геологическая модель массива объекта;
- строится расчетная инженерно-геологическая модель массива объекта;
- для выделенных в строении инженерно-геологических элементов обосновываются и задаются расчетные показатели физико-механических свойств (сцепление, угол внутреннего трения и плотность);
- задаются уровни воды в массиве объекта;
- назначаются критерии разрушения пород и выбираются методы решения задачи.

Для расчетов устойчивости отвалов наиболее целесообразно использовать метод Спенсера, который удовлетворяет всем условиям статики. В качестве критерия разрушения в нем назначается критерий Кулона-Мора, предполагающий, что разрушение откоса происходит при достижении определенного соотношения касательных и нормальных сил.

Учет обводнения откоса в программе производится по одному из предложенных вариантов:

1. По водоносным горизонтам задаются пьезометрические поверхности.
2. По каждому выделенному слою задаются коэффициенты порового давления.
3. Задается различная плотность жидкости.

Метода Спенсера использует два уравнения устойчивости откоса, одно из которых является уравнением равновесия моментов, а другое – равновесием действующих по поверхности скольжения горизонтальных сил. Метод предполагает наличие удовлетворения требования действующих на отдельные блоки условия равновесия сил и моментов. Блоки создаются путем деления породного массива выше поверхности скольжения вертикальными плоскостями (рисунок 3.18).

Метод Спенсера предполагает следующие допущения при расчете предельного равновесия сил и моментов в отдельных блоках:

- плоскости между блоками всегда вертикальны;
- направление действия веса блока W_i проходит через центр i -той части поверхности скольжения в точке M ;
- нормальная сила N_i действует в центре i -той части поверхности скольжения в точке M ;
- отклонение силы E_i , действующей между блоками, является постоянной для всех блоков и составляет угол δ , на конечных точках поверхности скольжения $\delta = 0$.

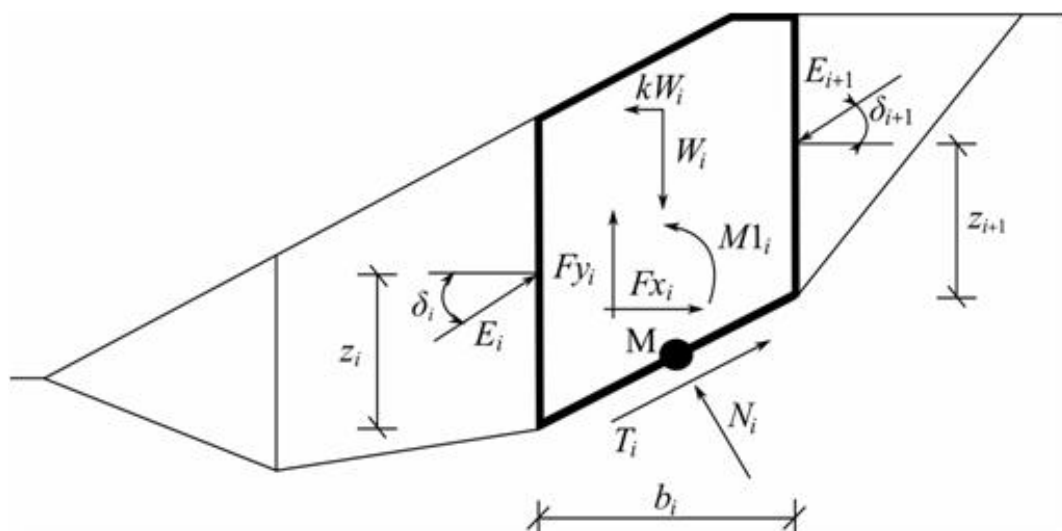


Рисунок 3.18 - Расчет устойчивости откоса методом Спенсера [74]:

W_i - вес блока, с учетом вертикальной составляющей от распространения сейсмических волн; kW_i - горизонтальная составляющая от распространения сейсмических волн; N_i - нормальная сила в точке на поверхности скольжения; T_i - поперечная сила в точке на поверхности скольжения; E_i, E_{i+1} - силы, действующие со стороны соседних блоков, отклоненные на угол δ ; Fx_i, Fy_i - соответственно горизонтальные и вертикальные силы, действующие на блок; M_{li} - моменты сил Fx_i и Fy_i относительно точки M , являющейся центром i -той части поверхности скольжения; U_i - результирующая порового давления на i -той части поверхности скольжения.

Соотношение между эффективной и полной величиной нормальной силы, действующей на поверхности скольжения (3.8):

$$N_i = N'_i + U_i \quad (3.8)$$

Условие Кулона-Мора, связь между нормальными и касательными силами на участке поверхности скольжения (3.9):

$$T_i = (N'_i + U_i) \tan \varphi_i + \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (3.9)$$

Уравнение равновесия в направлении, перпендикулярном к i -той части поверхности скольжения (3.10):

$$N'_i + U_i - W \cos \alpha_i + kW_i \sin \alpha_i + Fy_i \cos \alpha_i - Fx_i \sin \alpha_i + E_{i+1} \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (3.10)$$

Уравнение равновесия в направлении по касательной к i -той части поверхности скольжения (3.11):

$$E_{i+1} \cos \delta_{i+1} \left(z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cos \delta_i \left(z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \sin \delta_i \frac{b_i}{2} + M_{li} - kW_i (y_M - y_{gi}) = 0 \quad \dots (3.11)$$

Метод Спенсера удовлетворяет требованиям СНиП 33-01-2003 к выбору приближенных расчетных методов для оценки устойчивости земляных плотин.

Проверка результатов расчетов, полученных на программе «Galena», выполнена с использованием методики ВНИМИ, рекомендованной Ростехнадзором РФ в «Правилах обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах».

Как уже отмечалось выше, в последние годы для выполнения оценок устойчивости применяется численное моделирование, позволяющее решать

сложные геомеханические задачи. Разработаны различные методы, позволяющие моделировать напряженно-деформированное состояние пород в откосах, учитывая при этом изменение гидрогеологических условий, статическое и динамическое нагружение, различные модели поведения пород и т.д. В частности, для этих целей широко применяется «метод конечных элементов» (МКЭ), положенный в основу различных программ и программных комплексов – Abagus, Plaxis и др. Мировая практика показывает необходимость использования геотехнических программ геомеханического моделирования наряду с традиционными методами предельного равновесия. Последние необходимы для проверки полученных результатов, поскольку численное моделирование в виду сложности требует серьезного опыта и хорошей инженерной интуиции.

Оценка устойчивости ПТС «отвал-гидроотвал» выполнена для трех основных профилей: 1- со стороны плотины №1; 2 - со стороны плотины №2 и 3- со стороны примыкания гидроотвала к естественному склону лога. Расчетные профили приурочены к центральным участкам плотин, соответствующих местоположению существующих станций гидрогеомеханического контроля. Данные расчетные схемы соответствуют наихудшим условиям устойчивости откоса проектируемого сооружения, так как мощность намывного массива, а также насыпного тела плотин и четвертичных пород здесь максимальны.

Высота проектируемого отвала составляет 90 м (проектная абсолютная отметка +390,0 м). Геометрические параметры откоса плотин в расчетных профилях приняты на основании маркшейдерской съемки от марта 2014г. Поверхность намывного массива уменьшена до отметки +290,0 м у дамбы №1 и +280,0 м у дамбы №2 в связи с развивающимися при отвалообразовании процессами внедрения – выдавливания, приведшим к уменьшению мощности намывных пород на величины 10 и 20 м.

В расчетных схемах учтены специфические особенности гидрогеомеханических условий откосов проектируемого сооружения: неоднородность строения и изменчивость свойств техногенных пород, обводненность откосов

сооружения, обусловленная наличием нескольких водоносных горизонтов с различными фильтрационными режимами, приуроченных к основанию гидроотвала, телу плотин и намывному массиву.

Неоднородность строения откосов обусловлена присутствием элементов (зон), представленных породами с различными физико-механическими свойствами. Для 1 и 2 профилей выделены следующие элементы (рисунок 3.19; 3.20):

I - проектируемый отвал (насыпные породы);

II – намывной массив гидроотвала, часть которого выдавлена и замещена породами «сухих» отвалов; разделен на зоны и подзоны:

II-1 – песчано-супесчаная зона (примыкает к плотине №1);

II-2 – суглинистая зона (примыкает к песчано-супесчаной зоне со стороны плотины №1); II-2-а – подзона замещения намывных суглинистых пород отвальными; II-2-б – подзона мягкопластичных пород; II-2-в – подзона тугопластичных пород;

II-3 – глинистая (примыкает к плотине №2); II-3-а – подзона замещения намывных глинистых пород отвальными; II-3-б – подзона мягкопластичных пород; II-3-в – подзона тугопластичных пород;

III – тело плотины (насыпные породы);

IV – основание гидроотвала (песчано-супесчаные четвертичные отложения);

V – пригруз откоса плотины (насыпные породы).

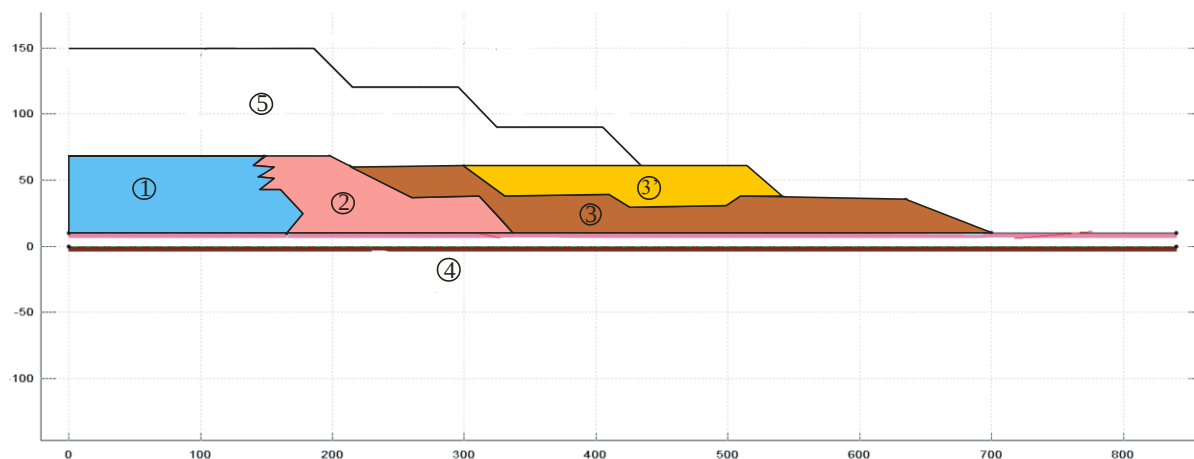


Рисунок 3.19 - Откос сооружения со стороны плотины №1
1-гидроотвал; 2-дамба гидроотвала; 3-пригрузки; 4-основание гидроотвала; 5-отвал.

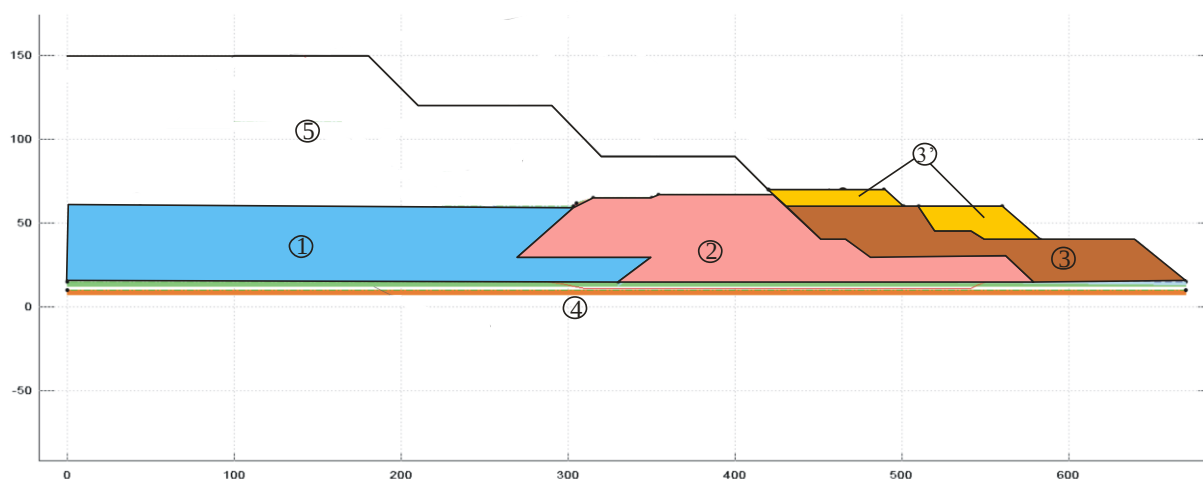


Рисунок 3.20 - Откос сооружения со стороны плотины №2
1-гидроотвал; 2-дамба гидроотвала; 3-пригрузки; 4-основание гидроотвала; 5-отвал.

Приняты следующие условия обводненности откоса:

- намывной массив полностью обводнен, при нагружении отвалами в нем возрастает избыточное поровое давление;
- тело плотины обводнено фильтрационным потоком с безнапорным режимом фильтрации; уровень грунтовых вод ($УГВ_{max}$) для расчетов принимается как максимально возможный (с учетом интенсивного отжатия воды из намывного тела при его нагружении отвалами); при этом отметка воды со стороны верхнего бьефа соответствует уровню намывного массива, в разрезе тела плотины депрессионная поверхность фильтрационного потока прямолинейна и выходит в нижнюю бровку откоса плотины;
- в основании плотины и намывного массива расположен водоносный

горизонт с напорным режимом фильтрации; пьезометрический уровень напорных вод (ПУНВ_{max}) для расчетов принимается максимально возможным (с учетом гидравлической связи с техногенным водоносным горизонтом) – в основании плотины он совпадает с принятым для расчетом уровнем фильтрационного потока в теле плотины (УГВ_{max}), а в основании намывного массива – с уровнем поверхности намывного массива;

- отвал и пригруз не обводнены.

Изменчивость прочностных параметров пород и плотности вызвана возрастанием напряжений в техногенных массивах. На момент завершения формирования отвала высотой 90 м напряженное состояние намывного массива изменится, в результате чего текучие грунты в глинистой зоне, оставшиеся после замещения, приобретут свойства пород мягкопластичной консистенции, соответствующие их новому напряженному состоянию. Соответствующим образом изменятся (возрастут) плотность и сопротивление сдвигу пород подзоны мягкопластичной консистенции (II-2-б, II-3-б). Для тугопластичных пород подзоны II-2-в, II-3-в ожидать повышения свойств за счет дополнительного уплотнения не следует, т.к. переход глинистых пород в полутвердое состояние крайне затруднен. В качестве расчетных параметров свойств пород естественного основания взяты минимальные значения, полученные при исследованиях основания плотин, при этом возможность их уплотнения при нагружении отвалами и пригрузом не рассматривается, т.к. из опыта известно, что увеличение прочности естественных четвертичных пород при нагружении наблюдается не всегда.

Расчетные параметры физико-механических свойств пород приведены в таблице 3.4.

Для третьего поперечника выделяются следующие элементы:

I - проектируемый отвал (насыпные породы); II – намывной массив гидроотвала, часть которого выдавлена отвальными массами и замещена ими; для первого яруса зона замещения принята 20 м; IV – основание гидроотвала (супесчаные четвертичные отложения).

Основным гидрогеологическим условием нового отвального сооружения здесь является полное обводнение намывного и насыпного массива, расположенного на месте выдавленных намывных пород. В намывных породах на момент исследований существует поровое давление (как гидростатическое, так и избыточное). При нагружении намывного массива отвалами «сухой» вскрыши в нем будет формироваться избыточное поровое давление пропорционально возрастанию нагрузки в зависимости от мощности намывных пород, дренажных условий, **интенсивности приложения нагрузки** и компрессионно-фильтрационных свойств пород.

Содержание расчетов устойчивости ПТС «отвал - гидроотвал» заключается в том, чтобы определить максимальный результирующий угол откоса 90-метрового отвала вскрышных пород при соблюдении нормативного коэффициента устойчивости

На настоящий момент плотины гидроотвала имеют высоту порядка 50 м и рассматриваются как гидротехнические сооружения 2 класса капитальности, для которых нормативное значение коэффициента устойчивости составляет 1,2 (при основном сочетании нагрузок).

Таблица 3.4 - Расчетные параметры физико-механических свойств пород отвала и гидроотвала

Индекс элемента	Элемент строения откоса сооружения	Расчетные параметры свойств пород		
		сцепление С, КПа	угол внутреннего трения φ , град	плотность γ , т/м ³
I	проектируемый отвал	5	30	1,80
II	намывной массив			
II-1	песчано-супесчаная зона	13	25	1,90
II-2-а, II-3-а	подзона замещения намывных пород отвальными массами	15	28	1,85
II-2-б	подзона мягкопластичных пород суглинистой зоны	25	19	1,95
II-2-в	подзона тугопластичных пород суглинистой зоны	40	19	1,95
II-3-б	подзона мягкопластичных	15	10	1,90

	пород глинистой зоны			
II-3-в	подзона тугопластичных пород глинистой зоны	40	10	1,95
III	тело плотины	5	30	1,98
IV	основание плотины №1	20	16	1,98
	основание плотины №2	20	16	1,98
V	пригруз плотины	5	30	1,90

При использовании территории гидроотвала под отвалы вскрышных пород плотины гидроотвала перестают выполнять функции гидротехнических сооружений, т.к. гидродинамической аварии на сооружении в случае нарушения устойчивости откосов плотин в процессе отвалообразования не возникнет по причине отсутствия со стороны верхнего бьефа жидких текучих масс. Следовательно, при назначении нормативного коэффициента устойчивости для сооружения «отвал+гидроотвал» необходимо исходить из требований, предъявляемым к отвальным сооружениям, отсыпаемым на слабых основаниях. Для сооружения общей высотой 140 м (50 м гидроотвал + 90 м отвал) нормативный коэффициент устойчивости следует принять также не менее 1,20. При этом с этим коэффициентом должна быть обеспечена устойчивость:

- низовых откосов плотин при отсыпке на них пригруза;
- низовых откосов плотин при отсыпке на них первого яруса отвалов;
- откоса отвала «сухих» пород высотой 90 м;
- откоса сооружения «отвал - гидроотвал» общей высотой 140 м.

Расчеты выполнялись для различных интенсивностей формирования отвала на гидроотвале: 4 года, 10 лет и 15 лет.

В результате выполненных расчетов было установлено:

- устойчивость системы «отвал - гидроотвал» в районе плотины №1 обеспечивается с учетом сформированного пригруза и последующей отсыпки четырех ярусов до отметок +320; +340; +360 и + 390 м; результирующий угол

откоса данной системы не зависит от интенсивности отсыпки отвала и не должен превышать 15 град (рисунок 3.21);

- устойчивость системы «отвал - гидроотвал» в районе плотины №2 при современной ее конфигурации и отсыпке отвала из четырех ярусов до отметок +320; +340; +360 и + 390 м обеспечивается на момент завершения эксплуатации отвала (отметка +390 м) с коэффициентом запаса выше нормативного значения при различных результирующих углах откосов в зависимости от интенсивности отвалообразования: при сроке возведения 4, 10 и 15 лет соответственно 10, 12 и 14 градусов (рисунок 3.22, 3.23, 3.24);

- для обеспечения устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» в районе плотины №2 с коэффициентом запаса выше нормативного при современной ее конфигурации и отсыпке четырех отвальных ярусов до отметок +320; +340; +360 и + 390 м необходимо у низового откоса отсыпать пригруз высотой 25 м и длиной 60-80 м; результирующий угол откоса данной системы при сроке возведения сооружения 10 лет составит 15° (рисунок 3.25);

- отвал сухих пород на гидроотвале со сторон, примыкающих к естественному основанию, при высоте 90 м и отсыпке четырьмя ярусами обеспечивается для срока возведения сооружения 10 лет с коэффициентом запаса выше нормативного при результирующем угле откоса 20°.

Полученные значения позволяют обосновывать безопасную технологию отвалообразования на гидроотвале с применением большегрузных автосамосвалов.

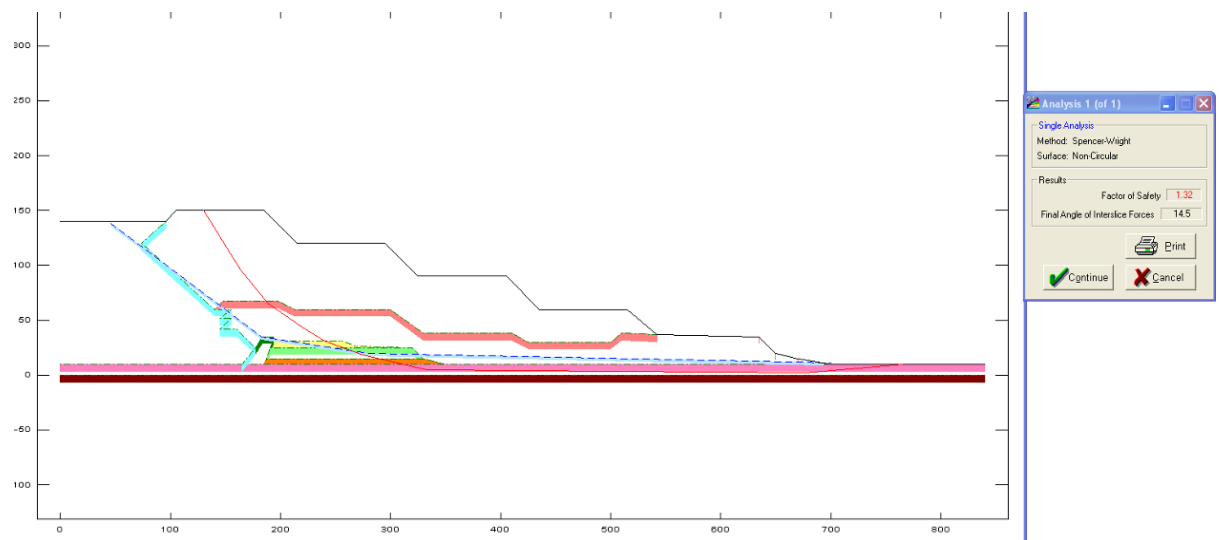


Рисунок 3.21 - Плотина 1. Коэффициент запаса устойчивости 1,32

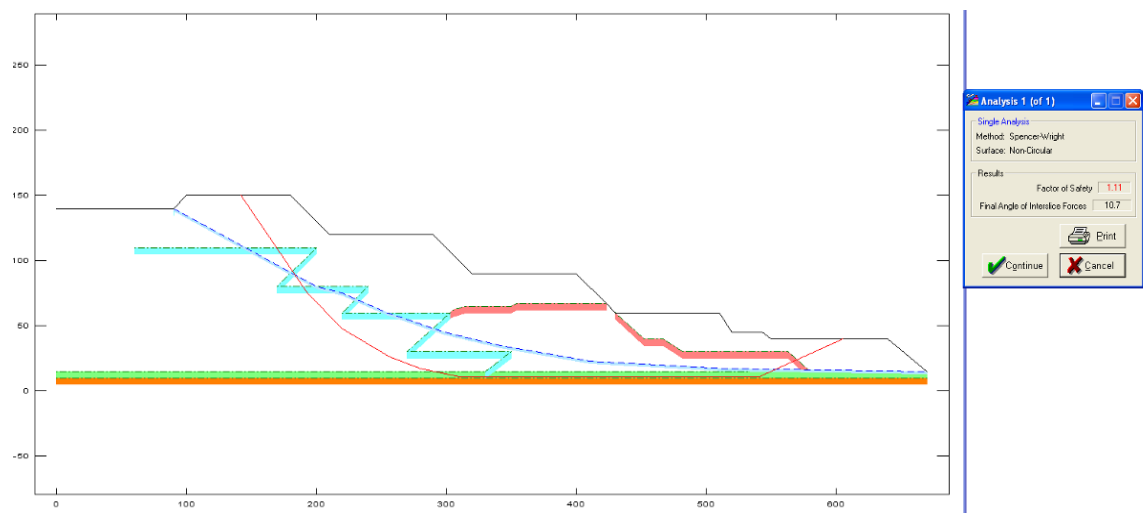


Рисунок 3.22 - Плотина 2. Коэффициент запаса устойчивости 1,11

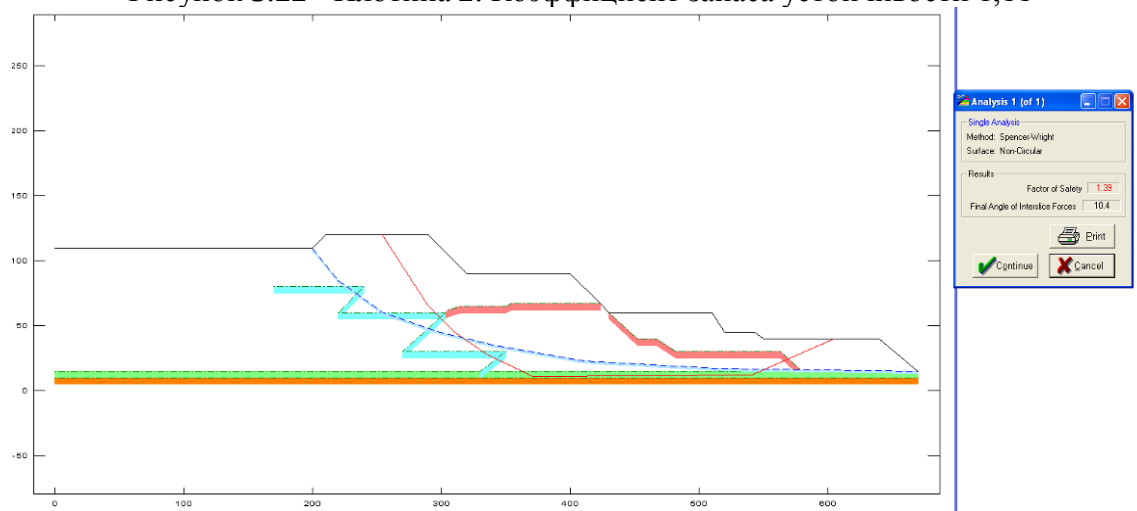


Рисунок 3.23 - Плотина 2. Коэффициент запаса устойчивости 1,39 при абс. отм. +360 м

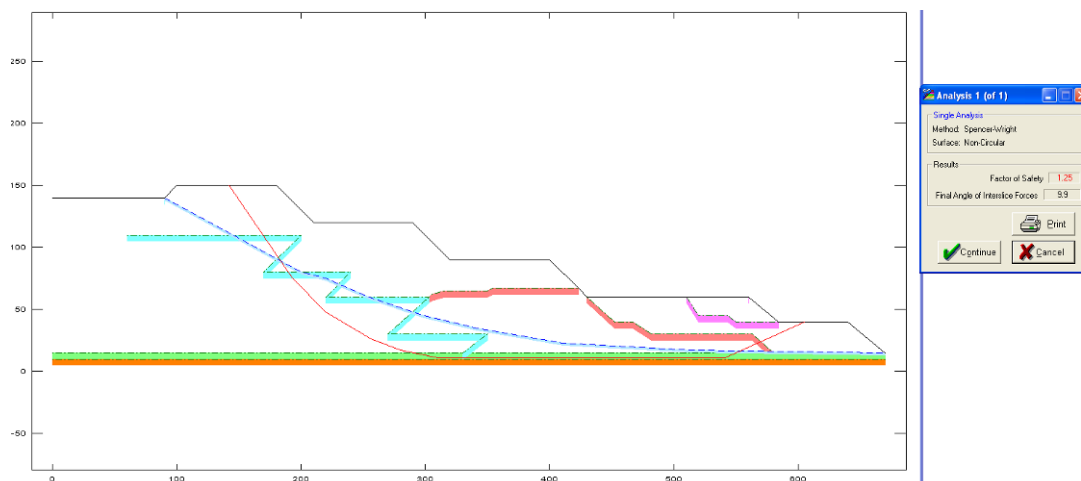


Рисунок 3.24 - Плотина 2. Коэффициент запаса устойчивости 1,25 при абс. отм. +390 м и пригрузом

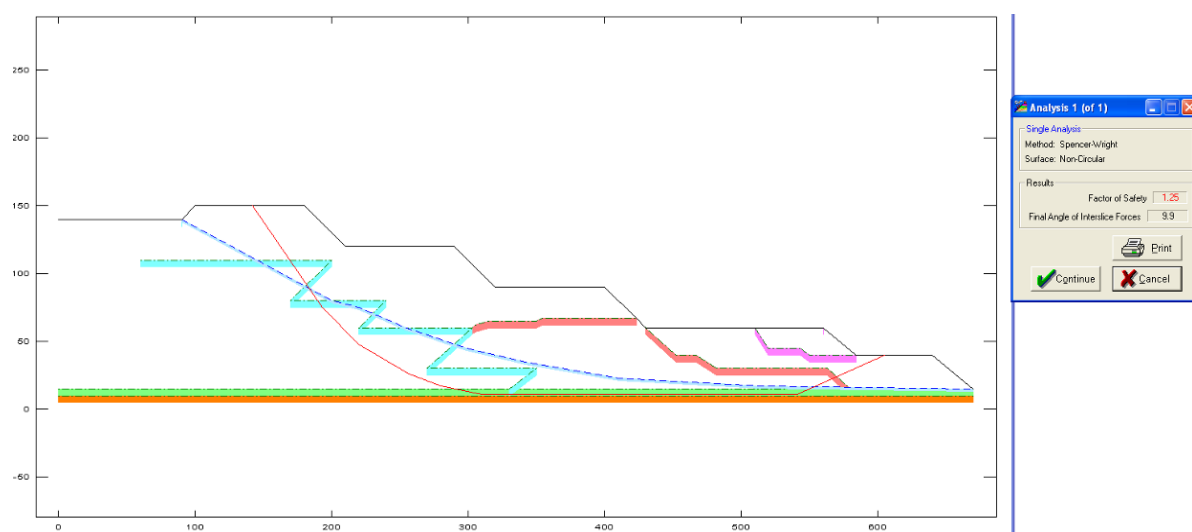


Рисунок 3.25 - Плотина 2. Коэффициент запаса устойчивости 1,30 при абс. отм. +390 м и отсыпке пригруза.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ГИДРООТВАЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОСАМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 320 ТОНН

4.1 Общие принципы обоснования технологии отвальных работ на территориях гидроотвалов

Предложения по дальнейшему использованию законсервированных и ликвидированных гидроотвалов под отвалы «сухих» пород появились практически сразу после завершения эксплуатации первых намывных горнотехнических сооружений открытой разработки. Преимущества ведения отвальных работ на таких территориях очевидны: сокращаются площади отвалов; сокращаются расходы на рекультивацию и сроки изъятия земель из сельскохозяйственного и лесного производства; сокращается, как правило, дальность транспортировки вскрышных пород. Однако реализация данного предложения показала, что отсыпка отвалов на слабых основаниях при любой высоте насыпи без оползневых процессов не возможна.

Требования безопасности работы на отвале различного горнотранспортного оборудования существенно уменьшили возможность использования автосамосвалов и бульдозеров, а также экскаваторов – мехлопат, из-за нахождения оборудования при выполнении технологических операций в призме возможного оползания [97]. Поэтому в качестве отвального механизма предлагалось использовать экскаватор-драглайн с большими линейными параметрами, обеспечивающими его размещение вне зоны деформаций. Данное решение проблемы не нашло своего широкого применения на практике из-за, во-первых, дефицита такого оборудования на предприятиях, а, во-вторых, значительного удорожания отвальных работ, и, наконец, в третьих, по причине сложности организации работы на отвале автомобилей и драглайнов. В дальнейшем при отвалообразовании на гидроотвалах делались попытки организовать складирование породы в отвал бульдозерами при автомобильной их доставке с разгрузкой вне призмы возможного оползания. Подобная схема также не прижилась в практике по тем же причинам, что и в

случаях с драглайном – не хватает бульдозеров и происходит удорожание отвалообразования по причине увеличения продолжительности отвальных бульдозерных работ (сталкивание под откос, планировка и т.д.).

Другим направлением при использовании гидроотвалов под отвалы являлась инженерная подготовка основания – намывного массива. В строительной практике существует целый арсенал методов подготовки оснований под строительство зданий и сооружений: дренаж траншеями, песчаными и известковыми сваями; различные виды укрепления, в том числе, электроосмотическое; предварительное нагружение различными насыпями и т.д. Применение данных методов ограничено по причине большой стоимости реализации данных предложений, а, иногда, и не очень высокой их эффективности. Из всех рассмотренных выше предложений наибольшее внимание заслуживает метод предварительного нагружение слоем хорошо водопроницаемых пород в виде штампа [29-31, 42, 72, 78, 111]. Однако прежде чем решиться на реализацию данного предложения, во-первых, необходимо иметь в наличии большие объемы проницаемого материала, а, во-вторых, обладать теми техническими устройствами и механизмами, которые безопасно доставят и отсыпят его на поверхности гидроотвала.

Из применяемых на открытой разработке технологий для этих целей наиболее приемлема гидромеханизация, позволяющая послойно размещать на поверхности земли мелкодисперсные породы. Попытки намыва в гидроотвал более крупного по размерам материала – скальной и полускальной вскрыши, производимые в Кузбассе на разрезах «Бачатский» и «Краснобродский», не увенчалась успехом из-за большого износа трубопроводов [23]. Применение на угольных предприятиях обогащения КНС разубоженных пород, содержащих значительное количество угля, обеспечило образования в качестве отхода большого объема материала, пригодного для пригрузки намывных пород. Применительно к условиям намыва 2 - 3 метрового слоя на поверхность гидроотвала на реке Еланый Нарык площадью 127,5 га выполнить расчеты срока реализации данного предложения весьма проблематично.

Здесь для создания уплотняющего слоя – штампа потребуется 3,55-4,85 млн. м³, а при производительности КНС около 100 тыс. м³ пустых пород потребуется примерно 35-50 лет.

Рассмотренные выше предложения по технологиям отвалообразования на гидроотвалах не могли найти свое применение на угольных предприятиях Кузбасса в силу рассмотренных выше обстоятельств. Это предопределило выполнение научно-исследовательских и опытно-промышленных работ по разработке новых и совершенствование существующих способов и технологий отвалообразования, в частности, схем автомобильно-бульдозерного отвалообразования.

Установленные выше в главах 2 и 3 специфика свойств намывных пород и их деформационного поведения под нагрузкой были использованы при разработке технологий отвалообразования с учетом применения на отвале автосамосвалов повышенной грузоподъемности. В их основу положены следующие принципы:

- формирование первого отвального яруса на намывной поверхности допускается производить без обязательного обеспечения устойчивости откосов в режиме, допускающем развитие деформаций;
- намывные отложения при отсыпке на гидроотвале отвальных насыпей при постоянных деформациях откосов не должны выходить за границы намывного сооружения;
- на внешних откосах отвалов и гидроотвалов, а также при формировании второго и последующих отвальных ярусов должна обеспечиваться устойчивость.

Рекомендации по параметрам и технологии отвалообразования на гидроотвалах должны включать последовательность отсыпки отвалов на их поверхностях и откосах, а также на сопряженных территориях. В соответствии с приведенными выше принципами отвалообразования на гидроотвалах наиболее предпочтительным направлением развития отвальных работ по формированию первого яруса от краевых участков к центру. При этом снача-

ла насыпи отсыпается рядом с намывными сооружениями на естественных породах, а затем происходит переход отвальных работ на намывную поверхность, где уже наблюдаются деформации откосов. Такой порядок отвалообразования обеспечит отжатие слабых намывных образований от краевых участков гидроотвалов в центральные зоны и позволит их удалить из призмы упора, тем самым произойдет улучшение условий устойчивости ПТС «отвал+гидроотвал» (рисунок 4.1).

Порядок отсыпки второго и последующих ярусов на гидроотвалах может отличаться от предложенного для первого яруса. Выбор его следует делать на основе требований логистики вскрышешепотоков, наличия транспортных магистралей, а также гидрогеомеханических расчетах консолидации намывных пород и устойчивости откосов для конкретных условий формирования ПТС.

Использование для отвалообразования на гидроотвалах автомобилей и бульдозеров, характеризующихся достаточной мобильностью, позволяет такому оборудованию кратковременно находиться в зоне возможного развития деформаций, когда деформационные процессы находятся в неактивной стадии.

Одним из основных параметров автомобильно-бульдозерной технологии является выбор и обоснование высоты первого отвального яруса, обеспечивающего соблюдения следующих условий:

- на краевых участках гидроотвалов отвальные работы первым ярусом должны быть организованы так, чтобы в откосах не присутствовали слабые намывные породы;
- на характер и механизм развития деформаций насыпей на слабом намывном основании не должны влиять динамические и статические нагрузки от работы на отвале автосамосвалов и бульдозеров;
- динамика развития деформаций отвального яруса должна обеспечивать плавный характер их развития.

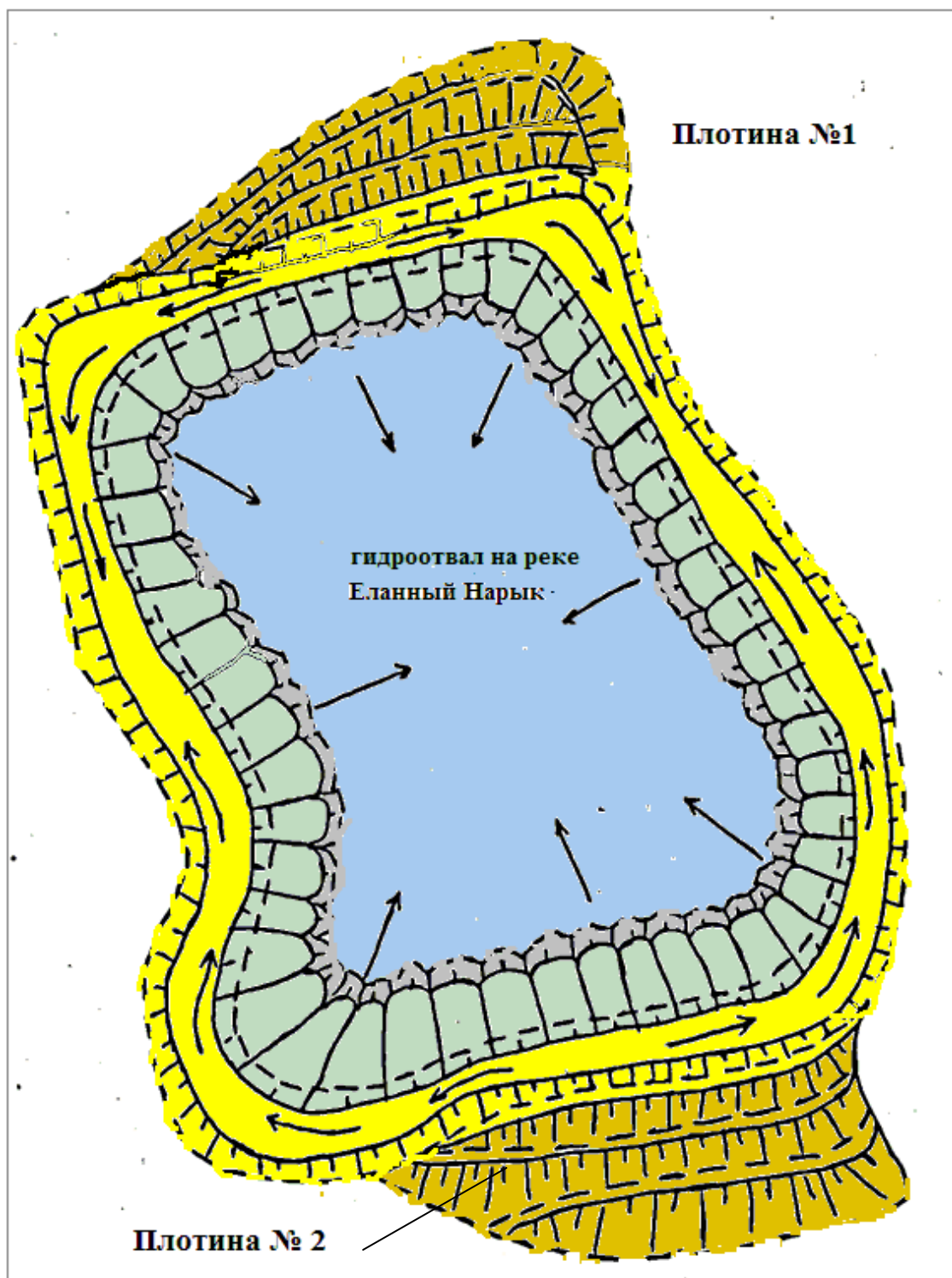


Рисунок 4.1 - Схема формирования первого яруса отвала

4.2. Порядок развития отвальных работ на гидроотвале на реке Еланный Нарык

В 2014 году гидромеханизация на разрезе «Талдинский» прекратила свое существование, гидроотвал как гидротехническое сооружение ликвидируется, а его поверхность в 2015 году используется под отвал «сухих» пород. Как уже отмечалось выше, это связано с отсутствием площадей на поле разреза для размещения отвальных пород, большими запланированными объемами вскрыши (до 10-15 млн. м³ в год), благоприятным нахождением гидроотвала в непосредственной близости от горных выработок разреза. Перечисленные обстоятельства определяют достаточно пристальное внимание к гидроотвалу технических служб предприятия в плане обоснования параметров и технологии отвальных работ. К тому же это вызвано высокой проектной интенсивностью отсыпки 90-метрового отвала за 6 - 10 лет. На разрезах Кузбасса такая интенсивность отвальных работ на гидроотвалах не применялась. Самый высокий отвал региона «Западный» (около 100 м) отсыпался на одноименном гидроотвале более 40 лет, т.е. с интенсивностью в 4 - 5 раз ниже, чем планируемый.

В связи с установленными особенностями строения и свойств намывных массивов, обоснование оптимальных параметров отвалов на гидроотвалах требует решения следующих геомеханических задач по обоснованию параметров, интенсивности, последовательности и технологии отсыпки, а именно:

- 1) формирование первого отвального яруса в режиме контролируемых деформаций откосов;
- 2) формирования последующих отвальных ярусов и всего ПТС в целом с учетом развивающихся в намывном массиве гидрогеомеханических процессов.

Обоснование отсыпки первого отвального яруса производится на основе изученных и установленных ранее закономерностей развития гравитационных процессов и явлений, проявляющиеся при взаимодействии насыпных

и намывных массивов. В процессе выполненных работ осуществлялись наблюдения на отвальных ярусах от 10 до 50 м. Для всех случаев установлен плавный характер смещения при скоростях, зависящих от высоты отвала равной $V = 0,015H$ м/сут. Учитывая значительную мощность намывного массива гидроотвала на реке Еланный Нарык и относительно небольшую его площадь, высоту первого отвального яруса здесь наиболее целесообразно принять равной 20 м. При такой высоте обеспечивается устойчивость откосов плотин №1 и 2, с которых рекомендовано начинать отсыпка первого отвального яруса. Кроме того, максимальная глубина «внедрения-выдавливания» в глинистой зоне составит около 20 м, зона деформаций на верхней площадке отвала также не превысит данное значение. Деформации откосов в период активной стадии процесса будут развиваться со скоростью около 0,3 м/сут.

Отсыпку первого яруса отвала необходимо производить при общем развитии отвальных работ в направлении от периферии к центру намывного массива. Для этого вначале по периметру гидроотвала, начиная от плотин гидроотвала, необходимо создать отвальное кольцо шириной порядка 100 м (рисунок 4.1). В последующем с этой пионерной площадки следует развивать отвальный ярус вглубь сооружения.

Обоснованный порядок развития на гидроотвале первого отвального яруса обеспечит удаление слабых намывных пород от краевых участков сооружения в центральные, создав, таким образом, призмы упора ПТС без зон ослабления. После полного оконтуривания гидроотвала производится заполнение внутренней части сооружения (внутри кольца), сохраняя общее направление развития работ от периферии к центру гидроотвала.

Опыт ведения отвальных работ первым ярусом на гидроотвалах показывает, формирование отвальной насыпи на отвальной заходке следует вести до появления критического состояния, когда безопасность работы механизмов не обеспечивается. После чего они должны прекращаться и переноситься на другую заходку, где вестись до появления нового критического состояния.

Таким образом, последовательный переход с одной отвальной заходки на другую, а затем и на третью и т.д. обеспечит необходимый фронт отвальных работ и запас времени для стабилизации деформационных процессов. Критическое состояние, при котором необходимо переносить отвалообразование на соседний участок, определяется по следующим признакам: прогрессирующий характер развития деформирования откосов (значительно нарастает скорость смещений) или превышением критической скорости $V = 0,015H$ м/сут (где H – высота отвального яруса); полным оконтуриванием оползневого тела трещиной отрыва на верхней площадке и образование вала выпирания в основании отвала. Работы на данном блоке могут быть возобновлены при затухании деформаций и уменьшении скорости до значений V менее $0,015H$ м/сут.

При формировании ПТС «отвал+гидроотвал» необходимо обеспечивать устойчивость внешних откосов, в первую очередь, сохраняя целостность и устойчивость существующих плотин – основных подпорных элементов конструкции всего проектируемого сооружения. Это требование обеспечивает безопасность людей и работающих механизмов, а также сооружений и коммуникаций предприятия, расположенных в непосредственной близости от откосов ПТС. Одним из технических решений по предотвращению негативных деформаций на плотинах гидроотвалов в моменты отсыпки первого яруса является формирование пригрузов низовых откосов с параметрами, определенными на основании расчетов устойчивости ПТС.

Решение второй геомеханической задачи – обоснование оптимальных параметров ПТС и последующих отвальных ярусов осуществляется на основе выполненного анализа изменения инженерно-геологических условий объекта. На данном этапе следует провести изыскания с целью установления строения и свойств техногенных пород, так как при отсыпке первого отвального яруса изменяется мощность пород и возможно форма намывного массива. Кроме того, в связи с отсыпкой на гидроотвал отвальной насыпи в намывных отложениях увеличиваются нормальные напряжения и образова-

лось дополнительное избыточное поровое давление, адекватное нагрузке от веса отвала. Величина и динамика его изменения в последующем будет во многом определять параметры и безопасность ПТС на всех этапах его формирования.

4.3. Обоснование возможности использования при отвалообразовании на гидроотвале автосамосвалов повышенной грузоподъемности

Одной из основных проблем при формировании отвалов с использованием автосамосвалов и бульдозеров является безопасность их работы в моменты нахождения вблизи верхней бровки откоса, особенно, в случаях применения режима разгрузки породы из кузова непосредственно под откос. При разгрузке породы в откосной части массива отвала под задним мостом, на который приходится $\frac{2}{3}$ от веса автосамосвала и отвальной породы, при определенных физико-механических свойствах техногенных пород может образоваться криволинейная поверхность сдвига и произойти надподошвенный оползень. Поэтому в соответствии «Правилами безопасности...» автосамосвал на отвале при разгрузке должен находиться у предохранительного вала «вне призмы возможного оползания». Высота предохранительного вала должна быть равной половине диаметра колеса автомобиля.

Методика оценки устойчивости нагруженного автосамосвалом откоса при его разгрузке у предохранительного вала обоснована в нормативно-методических документах ВНИМИ – «Правилах обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах», утвержденных Ростехнадзором РФ в 1998 г. и «Методических указаниях по определению углов наклона бортов...», одобренных и рекомендованных Госгортехнадзором СССР в 1972 г. Оценка устойчивости отвала, нагруженного автосамосвалом, производится следующим образом: «- строится профиль отвала; - на верхней площадке яруса от линии, проведенной на расстоянии 0,5 м от гребня предохранительного вала, откладывают отрезок длиной 1; - из этой точки проводят несколько криволи-

Таблица 4.2 - Геометрические параметры горнотранспортного оборудования

Модель	Длина, м	Ширина, м	Размеры колеса, м		Колесная база, м	
			Диаметр	Ширина	По длине	По ширине
Карьерный самосвал БелАЗ 75306	13,39	8,4	3,55	1,17	6,1	6,1
Карьерный самосвал БелАЗ 75600	14,90	9,6	4,0	1,5	6,8	7,0

Конструктивные особенности карьерных автосамосвалов таковы, что с передней оси нагрузка передается на два колеса, а с задней - на 4 колеса.

Внутреннее давление шин в карьерном автосамосвале:

- БелАЗ 75306 – 0,7 МПа; - БелАЗ 75600 – 0,6 МПа.

Площадь пятна контакта S горнотранспортного оборудования можно приближённо определить по следующей методике:

$$S = \frac{F}{np} \quad (4.1)$$

где F – вес горнотранспортной машины, передаваемый на переднюю или заднюю ось; p – давление в шине; n – количество колес приходящихся на заднюю или переднюю ось.

Длина соприкосновения колеса горнотранспортного оборудования с поверхностью земли

$$l = \frac{S}{b} \quad (4.2)$$

где b – ширина колеса горнотранспортного оборудования.

При разгрузке горнотранспортного оборудования принято, что 2/3 его веса передается на заднюю ось, 1/3 его веса передается на переднюю ось (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Расчетные величины нагрузок

Модель	Давление в шине, МПа		Вес горно-транспортной машины в кН, передаваемый на		Площадь пятна контакта, м ²		Длина соприкосновения колеса с поверхностью земли, м	
	Задняя ось	Передняя ось	Заднюю ось	Переднюю ось	Задняя ось	Передняя ось	Задняя ось	Передняя ось
БелАЗ 75306	0,7	0,7	2507	1253	0,9	0,9	0,76	0,76
БелАЗ 75600	0,6	0,6	3733	1866	1,55	1,55	1,05	1,05

Расчеты устойчивости нагруженных откосов отвалов выполнялись при наличии предохранительного вала высотой 2 м, что составляет половину высоты автосамосвала БелАЗ 75600 (рисунок 4.3). В этом случае формируется призма возможного оползания шириной 6,5 м. Расчеты свидетельствуют, что при усредненных параметрах прочности и плотности для условий Кузбасса коэффициент запаса устойчивости по всем поверхностям скольжения превышает 1,2. Это позволяет производить разгрузку автосамосвалов под откос за пределами призмы возможного оползания.

На основании вышеизложенного с использованием обоснованной геомеханической схемы построены графики для установления возможности разгрузки автосамосвалов БелАЗ 75306 и БелАЗ 75600 у предохранительного вала высотой 2 м на отвале, отсыпанном с углом откоса 35 (рисунок 4.4). Пользоваться ими можно следующим образом. На основании имеющихся исходных данных: угла внутреннего трения и сцепления пород отвалов определяем на графике местоположение точки. Далее проводится оценка местоположения точки относительно графика определенного автосамосвала. Если она располагается выше прямой для соответствующего автосамосвала, то его разгрузку можно осуществлять у предохранительного вала.

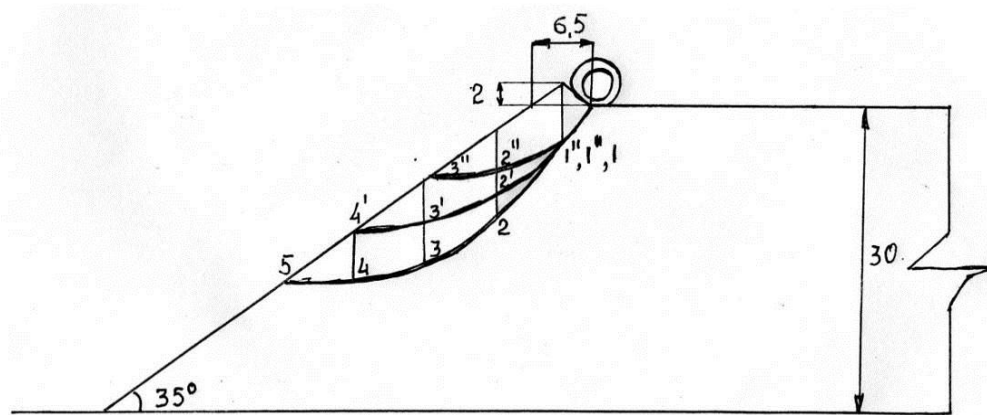


Рисунок 4.3 - Расчет устойчивости нагруженного автосамосвалом отвала

Рассмотрим основной случай при обосновании работы автосамосвалов БелАЗ 75306 и БелАЗ 75600 на отвалах, сложенных смесями пород, характеризующихся различными параметрами прочности (таблица 4.4). На рисунке 4.4 показаны точки, соответствующие показателям прочности отвальных пород при различном сочетании в отвальных смесях обломочного скального материала и глинистого заполнителя. Анализируя полученные результаты расчетов устойчивости нагруженного автомобилем откоса отвала, можно отметить, что при содержании глинистого наполнителя в отвальной смеси менее 30% допускается разгрузка автосамосвалов БелАЗ – 75306 и БелАЗ – 75600 грузоподъемностью до 320 т у предохранительного вала на расстоянии 6,5 м.

Таблица 4.4 - Прочностные показатели пород при различном сочетании обломочного скального материала и глинистого заполнителя

Состав смеси, % скал.+ глин.	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, т/м ²	№ точки
100+0	33	1,4	1
70+30	33	1,5	2
60+40	28	2,2	3
50+50	25	2,4	4
40+60	22	2,5	5
20+80	17	2,9	6
0+100	15	3,0	7

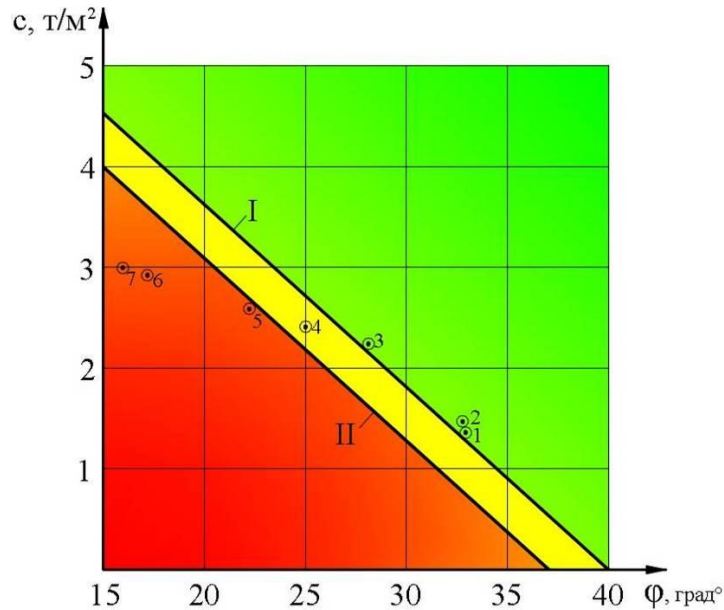


Рисунок 4.4 - Графики для определения возможности разгрузки автосамосвалов непосредственно под откос отвала при плотности $1,85 \text{ т/м}^2$ и угле откоса 35° : верхняя прямая - БелАЗ – 75600 (I); нижняя прямая – БелАЗ – 75306 (II); точки характеризуют различные условия (таблица 4.4)

Рассмотрим основной случай при обосновании работы автосамосвалов БелАЗ 75306 и БелАЗ 75600 на отвалах разреза «Талдинский», сложенных смесями пород, характеризующихся параметрами прочности $\phi = 32^\circ$ и $C = 1,5 \text{ т/м}^2$. При этом точка с такими условиями располагается выше графиков как для автосамосвала БелАЗ 75306, так и автосамосвала БелАЗ 75600. Это позволяет рекомендовать разгрузку автосамосвала у предохранительного вала высотой 2 м на расстоянии 6,5 м от верхней бровки отвала.

Для примера рассмотрим другие условия. Отвал сложен только обломками песчаника с параметрами прочности $\phi = 33^\circ$ и $C = 1,1 \text{ т/м}^2$ и алевролита $\phi = 29^\circ$ и $C = 1,65 \text{ т/м}^2$. В двух рассматриваемых случаях точки располагаются между прямыми для двух машин, позволяя работать с разгрузкой под откос БелАЗ 75306 и запрещая это делать БелАЗ 75600. Данный пример приводится для объяснения важности достоверного определения параметров прочности конкретно для условий любого месторождения, в том числе и Талдинского. На начальных этапах формирования отвалов обломочные насыпные породы еще не достаточно уплотнены, поэтому контактные взаимодействия

частиц еще не реализованы полностью и такой показатель как «сцепление» (для дезинтегрированных сыпучих пород – «зацепление») работает еще не в полной мере. Многие исследователи считают, что при рыхлом сложении отвала сцепление следует принимать равным нулю. В таком случае, при углах внутреннего трения отвальных масс менее 37° и 40° безопасность работы названных автосамосвалов обеспечивается не в должной мере. Важным резервом в данном случае будет использование при обосновании объемных задач для расчетов устойчивости нагруженных откосов.

В представленной работе численное моделирование МКЭ выполнялось в программных комплексах Plaxis и Abaqus. В качестве геомеханической модели среды рассматривалась упруго-идеально-пластическая модель, поверхность пластического течения которой задавалась согласно обобщенному в пространстве главных напряжений закону Кулона-Мора.

Коэффициент запаса устойчивости откоса отвала f_s определялся согласно следующей методике. На первом этапе численного моделирования формировалось начальное напряженное состояние отвала и подстилающего слоя. Откос отвала на первом этапе должен находиться в устойчивом состоянии. На втором этапе, исходные величины параметров, отвечающих за прочность породы сдвигу, c и φ , уменьшались на определенную величину до значений c_{trial} и φ_{trial} . При этом отношение c/c_{trial} должно быть равно $\tan \varphi / \tan \varphi_{trial}$. Для каждой пары c_{trial} и φ_{trial} выполнялся численный расчет и оценивалась сходимость решения. Значения c_{trial} и φ_{trial} , при которых сходимость решения переставала обеспечиваться, принимались в дальнейшем в качестве параметров для вычисления коэффициента запаса по устойчивости. Коэффициент запаса устойчивости f_s вычисляется согласно следующей формуле:

$$f_s = \frac{c}{c_{trial}} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_{trial}}, \quad (4.3)$$

где c_{trial} и φ_{trial} – значения величины сцепления и угла внутреннего трения, при которых сходимость решения не обеспечивалась.

При выполнении оценки устойчивости отвала методом конечных элементов, расхождение решения может произойти не только вследствие образования поверхности сдвига в теле отвала и роста значительных пластических деформаций, но и с математическими особенностями решения нелинейных систем уравнений. Таким образом, необходимо каждое полученное численное решение проанализировать с точки зрения качественного совпадения полученного результата с ожидаемым. В рассматриваемой работе за потерю устойчивости принимался момент резкого роста скорости горизонтальных перемещений на участке выхода поверхности сдвига на поверхность откоса отвала.

Расчет устойчивости откоса отвала выполнялся для двух вариантов расчетных схем: отвал на прочном и отвал на слабом основании. При этом рассматривались условия нагруженного автосамосвала и ненагруженного откосов в объемной и плоской постановке.

Граничные условия для всех рассмотренных численных моделей следующие:

- по торцам численных моделей – запрещены смещения (приравнены к нулевому значению) в направлении перпендикулярном рассматриваемому торцу модели;
- по нижней поверхности грани модели – запрещены смещения по всем направлениям;
- начальное поле напряженного состояния формируется согласно гравитационному закону распределения;
- гравитационная нагрузка и давление p , вызванное весом самосвала, прикладываются на различных этапах численного моделирования;
- величина давления от самосвала p определялась, как отношение веса нагруженного самосвала к площади его основания. Предварительные результаты расчета показали, что значительного отличия в характере формирования поверхности сдвига в отвале и величине коэффициента запаса не наблюдается, если сравнить принятый в работе метод задания нагрузки от

самосвала, и когда вес самосвала передается на поверхность отвала через пятно контакта каждого из колес самосвала;

- величина давления p для плоских и пространственных моделей принята равной 100 кПа;

Расчет устойчивости откоса отвала для всех представленных вариантов расчетов выполнялся в три этапа (рисунок 4.5-4.12):

- Формирование начального поля напряженного состояния отвала и подстилающего его слоя.
- Приложение внешних нагрузок (нагрузка от самосвала).
- Определение коэффициента запаса устойчивости откоса отвала.



Рисунок 4.5 - Варианты расчетных схем в плоско-деформационной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слабый слой грунта (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала



Рисунок 4.6 - Варианты расчетных схем в плоско-деформационной постановке для случая, когда тело отвала опирается на прочное основание (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала

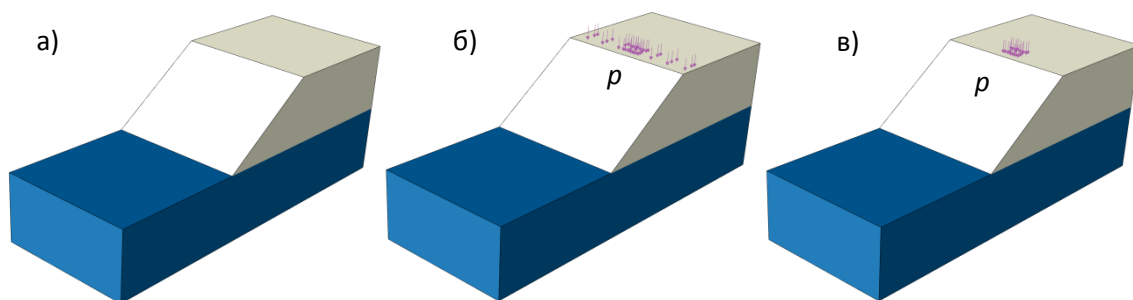


Рисунок 4.7 - Варианты расчетных схем в пространственной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слабый слой грунта (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала; в – нагрузка от самосвала распределена на площадь его основания

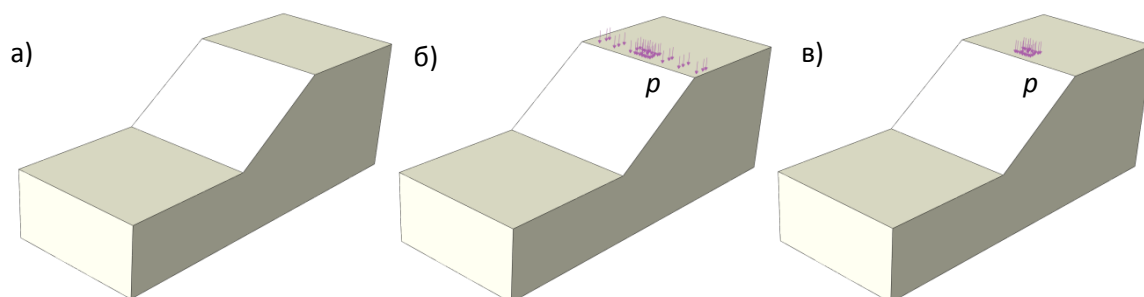


Рисунок 4.8 - Варианты расчетных схем в пространственной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слой прочных пород (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала; в – нагрузка от самосвала распределена на площадь его основания



Рисунок 4.9 - Варианты расчетных схем в плоско-деформационной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слабый слой грунта (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала



Рисунок 4.10 - Варианты расчетных схем в плоско-деформационной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слой прочных пород (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала

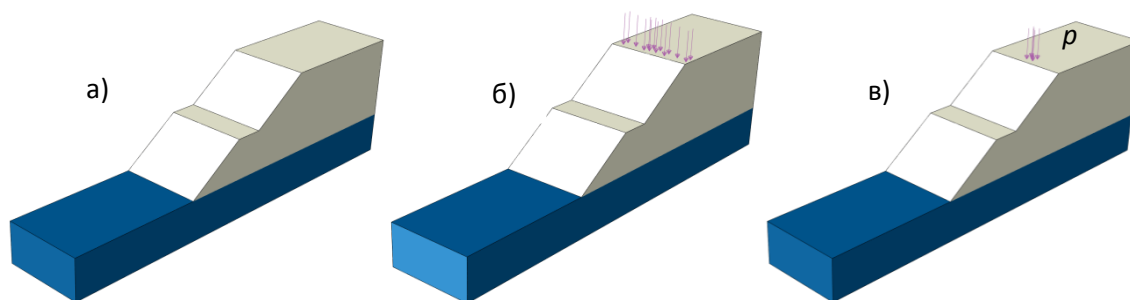


Рисунок 4.11 - Варианты расчетных схем в пространственной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слабый слой грунта (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала; в – нагрузка от самосвала распределена на площадь его основания

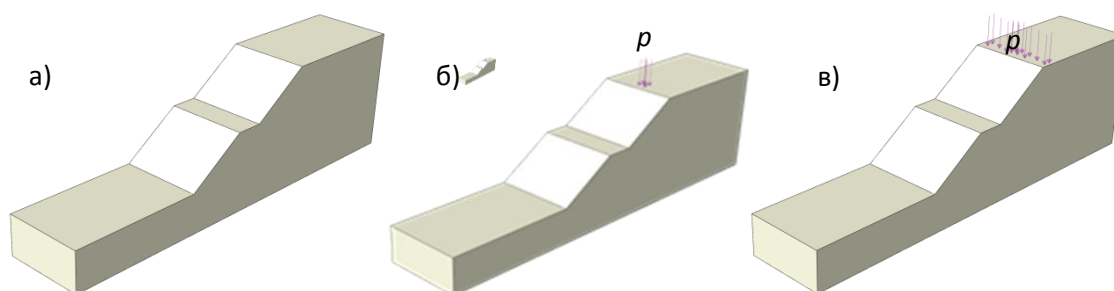


Рисунок 4.12 - Варианты расчетных схем в пространственной постановке для случая, когда тело отвала опирается на слой прочных пород (граничные условия условно не показаны): а – нагрузка от самосвала отсутствует; б – нагрузка от самосвала распределена по всей ширине отвала; в – нагрузка от самосвала распределена на площадь его основания

Физико-механические свойства отвальных пород, прочного и слабого естественного основания сведены в таблицу (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Физико-механические свойства пород

Наименование слоя	Плотность ρ , т/м ³	Модуль деформации E_0 , МПа	Коэффициент поперечной деформации ν	Угол внутреннего трения φ	Сцепление C , кПа
Породы отвалов и прочного основания	1,85	10	0,4	32	15
Породы основания (слабый слой)	2,0	0,5	0,4	10	15
Породы основания (слабый слой)	2,0	10	0,4	16	20

Результаты численного моделирования показали, что задание нагрузки на поверхность отвала под каждое из колес и задание равномерно распределенной нагрузки под всей площадью основания самосвала приводит к практически одинаковым результатам в рассматриваемых условиях (рисунки 4.13-4.16).

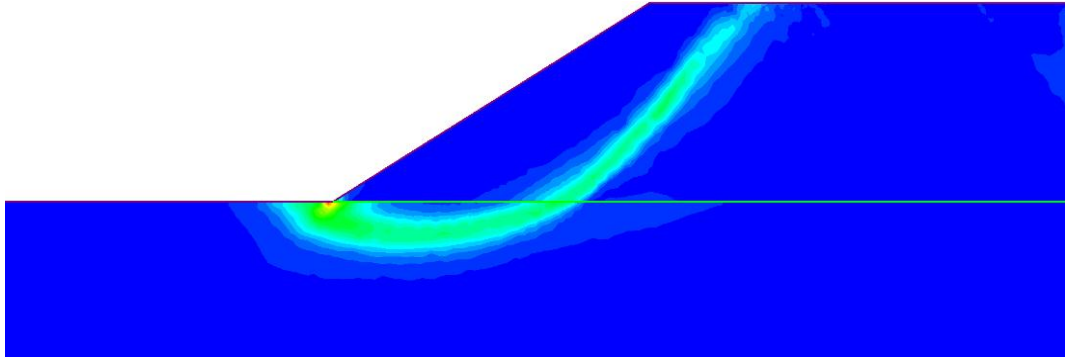


Рисунок 4.13 - Поверхность скольжения при наличии слабого основания без нагрузки от веса самосвала

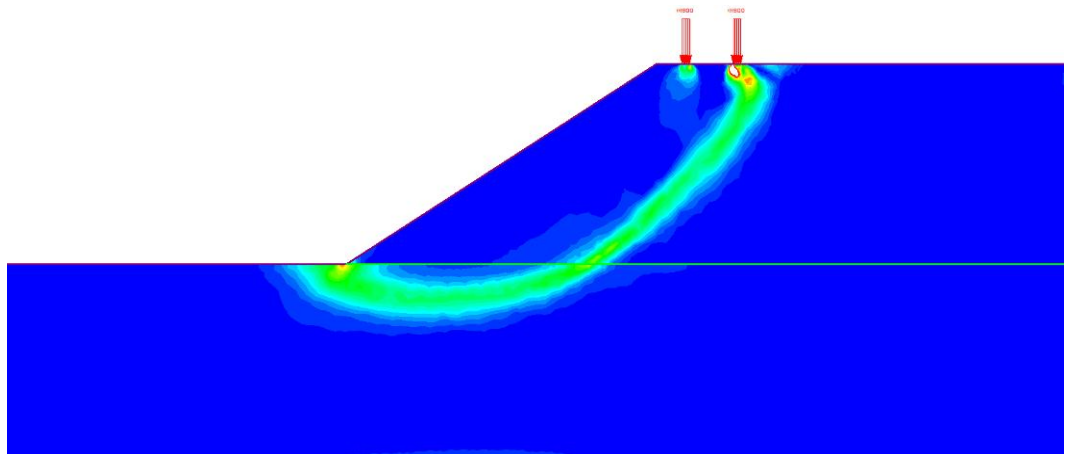


Рисунок 4.14 - Поверхность скольжения при наличии слабого основания с нагрузкой от веса самосвала

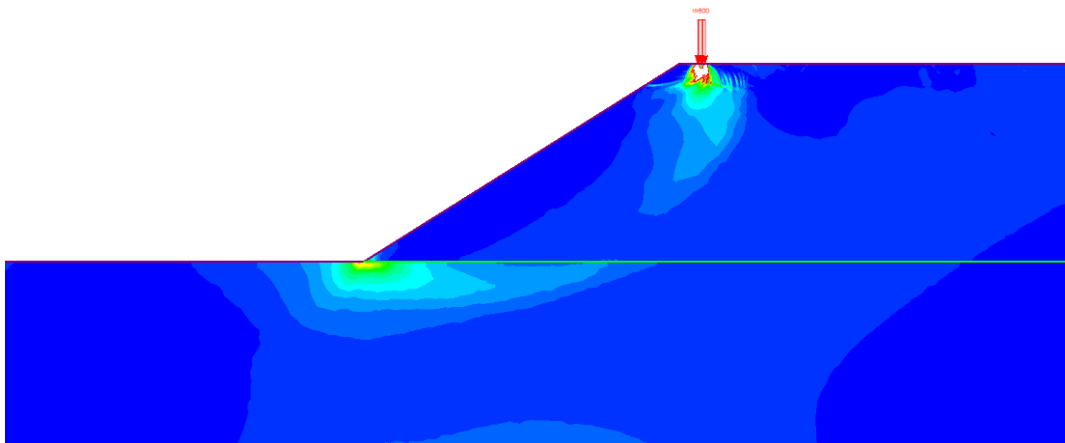


Рисунок 4.15 - Интенсивность касательных деформаций на момент потери общей устойчивости (3 схема, быстрое образование отвала)

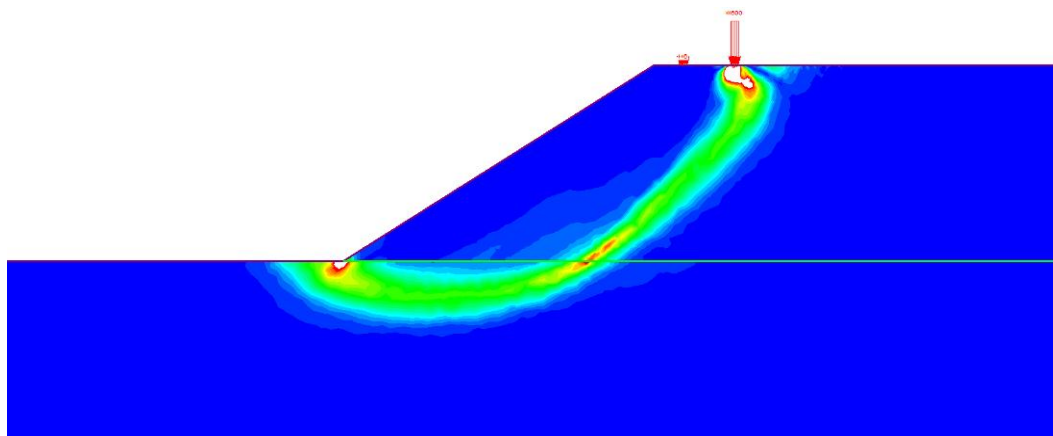


Рисунок 4.16. Интенсивность касательных деформаций на момент потери общей устойчивости с учетом нагрузки от отвала

Для того чтобы оценить влияние расстояния от края бровки до места разгрузки самосвала на устойчивость отвала, был выполнен ряд расчетов (таблица 4.). Минимальное значение коэффициента запаса по устойчивости отвала получено при расположении самосвала на самом краю бровки. На расстоянии 10 м от края бровки отвала, получен коэффициент запаса устойчивости равный 1,24, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости отвала, когда нагрузка от самосвала не учитывается. Таким образом, для данного типа самосвала, его разгрузка на расстоянии более 10 м от края бровки не оказывает влияния на устойчивость отвала.

Таблица 4.6 - Зависимость коэффициента устойчивости откоса отвала от расстояния до места разгрузки самосвала (тело отвала опирается на слабый слой грунта, быстрое образование отвала)

Номер расчета	Расстояние от бровки отвала до места разгрузки самосвала, м	Коэффициент запаса устойчивости
1	0	1,10
2	2	1,11
3	4	1,15
4	6	1,18
5	8	1,21
6	10	1,24
7	-	1,27

Задавшись расстоянием 6,5 м от края бровки отвала до колеса самосвала и изменяя величину равномерно распределенного давления по всей площади основания самосвала, были рассчитаны соответствующие значения коэффициента запаса по устойчивости отвала (таблица 4.7). Как и следовало

ожидать, с увеличением веса автосамосвала коэффициент запаса по устойчивости снижается.

Таблица 4.7 - Зависимость коэффициента устойчивости откоса отвала от величины нагрузки самосвала (тело отвала опирается на слабый слой грунта, расстояние от бровки отвала 6,5м)

Номер расчета	Величина равномерно распределенного давления, кПа	Коэффициент запаса по устойчивости
1	-	1,27
2	100	1,21
3	200	1,15
4	400	1,11
5	800	1,01

Представляется интересным сравнение результатов численного моделирования в плоско-деформационной постановке и пространственной постановках. Расстояние от края бровки откоса до задней оси самосвала 6,5 м. Рассмотрим расчетный случай, когда отвал опирается на прочное основание (

таблица 4.4.10). Видно, что результаты расчетов в плоско-деформационной постановке и пространственной постановке отличаются друг от друга при одинаковых граничных условиях не значительно. Значение коэффициента запаса выше при численном моделировании в пространственной постановке по сравнению с плоской. Схожие результаты были получены и другими исследователями. Если посмотреть на то, как влияет задание нагрузки от самосвала в плоской и пространственной постановках, то видно, что если вес самосвала распределить на площадь его основания, и затем полученное давления приложить по всей ширине отвала, то коэффициент запаса по устойчивости снижается с 1,465 до 1,39. Если же нагрузку от самосвала распределить по площади его основания и полученное давление приложить только на участок соответствующий его площади основания, то коэффициент запаса практически не изменяется. Отсюда можно сделать вывод о том, что влияние нагрузки от автосамосвала на устойчивость откоса составляет не бо-

лее 1%. Веса самосвала не достаточно, чтобы сформировать дополнительную поверхность сдвига в теле отвала.

Таблица 4.8 - Коэффициент запаса устойчивости при разных схемах нагружения и постановке задачи

Постановка задачи	Коэффициент запаса по устойчивости		
	Нагрузка от авто-самосвала отсутствует	Нагрузка от самосвала распределена по всей длине отвала	Нагрузка от самосвала распределена по площади непосредственно под ним
Плоско-деформационная	1,42	1,36	-
Объемная	1,465	1,39	1,455

Таблица 4.9 - Зависимость коэффициента устойчивости откоса отвала от расстояния до места разгрузки самосвала (отвал на слабом основании)

Номер расчета	Расстояние от бровки отвала до места разгрузки самосвала, м	Коэффициент запаса по устойчивости
1	3,5	1,12
2	4,5	1,18
3	6,5	1.23

Таблица 4.10 - Зависимость коэффициента запаса устойчивости от высоты яруса отвала (отвал на прочном основании)

Номер расчета	Высота второго яруса, м	Коэффициент запаса по устойчивости
1	30	1,4
2	40	1,32
3	50	1,24

На основании вышесказанного моделирование устойчивости нагруженных откосов МКЭ позволяет сделать следующие выводы (рисунке 4.17-4.20):

- Нагрузку от самосвала можно рассматривать, как отдельно передаваемую с каждого его колеса, так и в виде равномерно распределенной по всей площади его основания. Для рассмотренных условий отличие составляет не более 2-3%.
- При распределении нагрузки от самосвала на всю ширину отвала (плоско-деформационная постановка) коэффициент запаса устойчивости

имеет меньшее значение, чем в случае, когда нагрузка передается на участок равный площади основания самосвала (пространственная постановка).

- Для рассмотренных условий (расстояние от края бровки откоса до колеса самосвала 6,5 м и полный вес самосвала 5600 кН) влияние нагрузки от одиночного самосвала на устойчивость откоса отвала незначительное.
- Рекомендуемое расстояние от края бровки откоса отвала до оси задних колес самосвала 6,5 м.

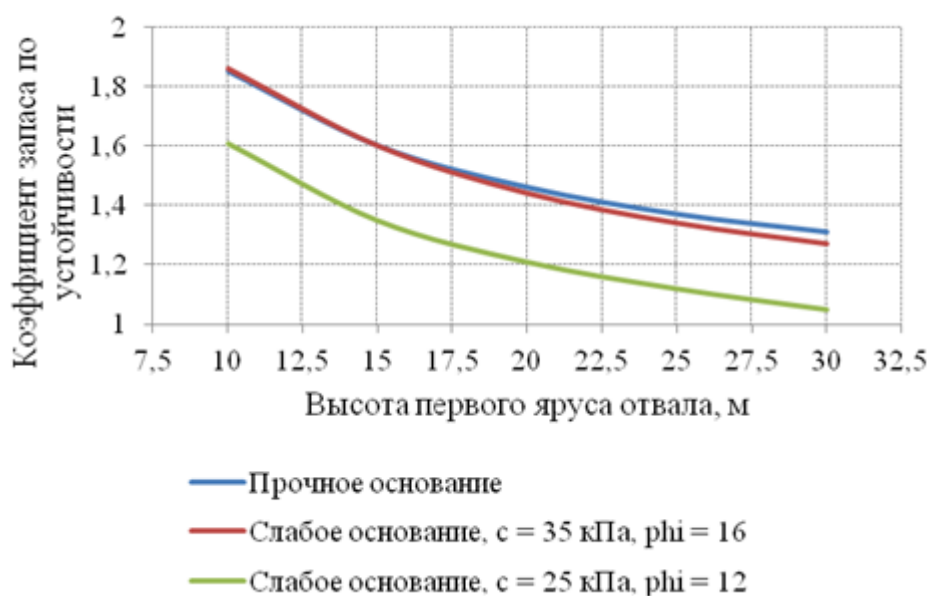


Рисунок 4.17 - Зависимость коэффициента устойчивости откоса отвала от его высоты (нагрузка от самосвала не учитывается)

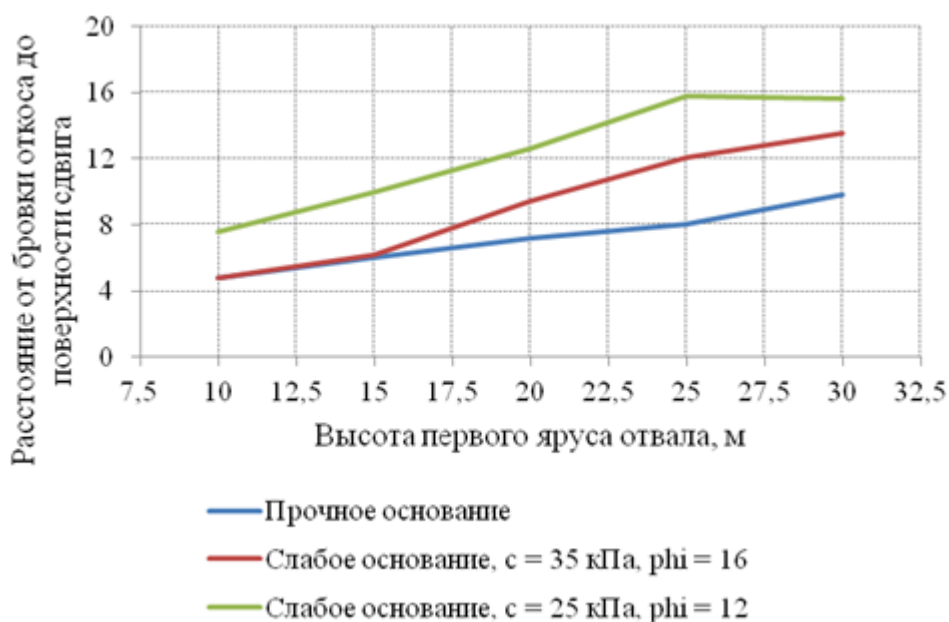


Рисунок 4.18 - Зависимость ширины призмы возможного оползания от высоты отвала (нагрузка от самосвала не учитывается)

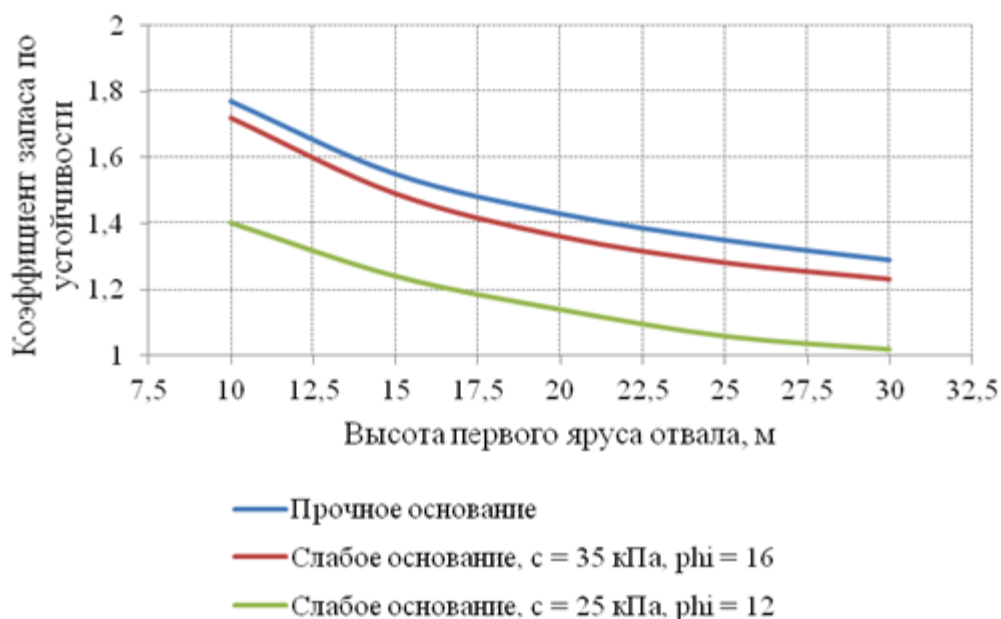


Рисунок 4.19 - Зависимость коэффициента устойчивости откоса отвала от его высоты (нагрузка от самосвала учитывается)

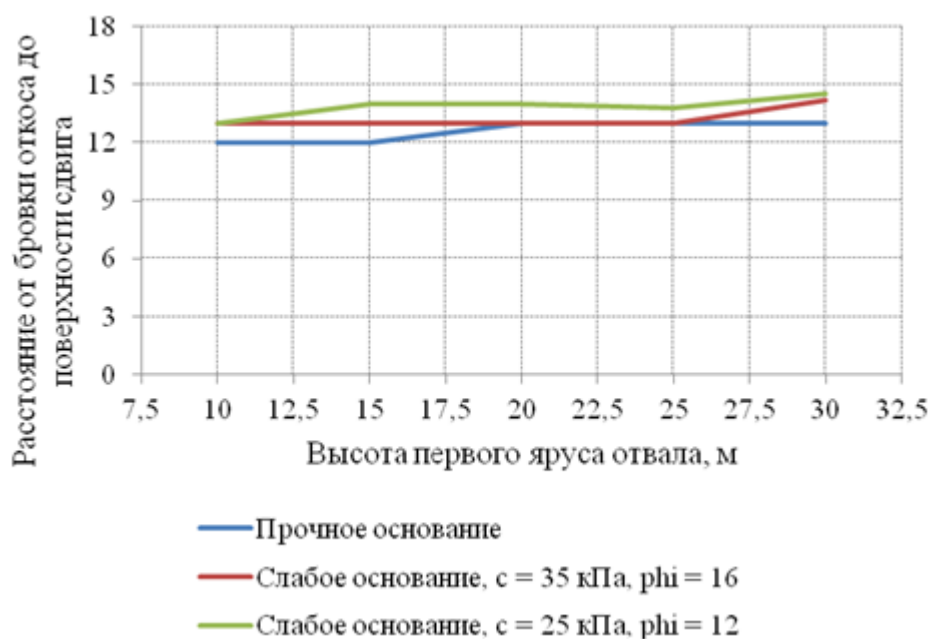


Рисунок 4.20 - Зависимость ширины призмы возможного оползания от высоты отвала (нагрузка от самосвала не учитывается)

4.4. Мониторинг безопасности ведения отвальных работ на гидроотвале

Введение в действие Федеральных Законов «О промышленной безопасности производственных объектов» (№ 116 ФЗ) и «О безопасности гидротехнических сооружений» (117 ФЗ) предопределило для опасных объектов горного профиля, к которым относятся ПТС «отвал+гидроотвал», организа-

цию и выполнение мониторинга безопасности на всех этапах их существования.

Целью мониторинга безопасности формирования и функционирования ПТС является обеспечение контроля состояния техногенных и естественных массивов, предупреждения возникновения аварийных ситуаций и создание безопасных условий существования.

Основными задачами мониторинга безопасности являются:

1. Контроль состояния устойчивости внешних откосов ПТС;
2. Наблюдения за деформациями откосов первого отвального яруса;
3. Контроль технологических процессов отвалообразования.

Цели и задачи мониторинга безопасности системы достигаются организацией системы периодичных измерений и наблюдений, обеспечивающих получение достоверной информации для предотвращения возникновения негативных последствий. При этом используются методы, средства и приборная база гидрогеологии, геодезии и маркшейдерии, инженерной геологии и геотехнологии.

Функциями мониторинга безопасности при отсыпке отвалов на гидроотвалах являются:

- наблюдения за деформациями откосов и поверхности ПТС;
- наблюдения за давлением в поровом пространстве породы во всех обводненных конструктивных элементов ПТС;
- периодическое определение состава, состояния и свойств пород намывных, насыпных и естественных массивов ПТС;
- регистрация и учет движения объемов вскрышных пород;
- контроль технологических параметров отвалообразования.

Перечень контролируемых параметров определяется на основании действующих нормативно-методических документов, проекта мониторинга безопасности объекта, рекомендации по результатам экспертных оценок состояния безопасности.

Основными наблюдаемыми параметрами при выполнении мониторинга безопасности являются:

- поровое давление в намывном массиве и породах основания;
- горизонтальные и вертикальные смещения поверхности и откосов гидроотвалов и отвальных насыпей;
- физико-механические свойства намывных и насыпных пород: влажность, плотность, консистенция, параметры прочности (j и C) и деформируемости (a , C_v) пород;
- пьезометрические параметры: отметки поверхности ПТС; углы заложения откосов, ширины межъярусных берм; высота отвала и отдельных его ярусов;
- интенсивность отвальных работ, порядок их развития.

Гидрогеологический мониторинг (ГМ) - система натурных исследований и наблюдений за изменением гидрогеологических условий намывного массива и естественного основания гидроотвала, управления гидродинамическими и гидрогеомеханическими процессами, развивающимися при ведении отвальных работ. Они необходимы для оценки и прогноза состояния устойчивости откосов ПТС «отвал+гидроотвал» на всех этапах формирования, разработки рекомендаций по оперативному управлению процессами отвалообразования.

Организация и функционирование гидрогеологического мониторинга предусматривает создание постоянно действующих станций наблюдений за гидродинамическим режимом в намывном массиве и естественном водонасыщенном основании. Это требует бурения скважин, отбора монолитов для инженерно-геологических исследований, закладки в скважины специальной аппаратуры - датчиков порового давления, оборудование оголовков и передающих устройств.

Каждая станция гидрогеологического мониторинга должна состоять наблюдательных скважин, пробуренных в откосной части сооружения по одной или нескольким профильным линиям перпендикулярно простиранию от-

коса. Организация подобных наблюдений осуществляется обычно на участках ПТС с наихудшими инженерно-геологическими условиями, а именно: характеризующиеся максимальной мощностью намывных пород или глинистых пород основания, в тальвегах логов и балок, на косогорах, в примыканиях в прудковой зоне, при наиболее высоком уровне депрессионной кривой и т. д.

В каждую их скважин устанавливаются контрольно-измерительные приборы – датчики давления воды для замеров в породах призмы возможного оползания откоса порового давления или напоров водоносных горизонтов в естественных массивах основания ПТС. Для измерения гидрогеологических параметров в наблюдаемых массивах следует использовать струнные датчики порового давления типа ПДС – 3, 10, выпускаемые ДИГЭС (г. Москва). Они позволяют дистанционно через кабель считывать информацию о частоте колебания струны, расположенной в измерительном устройстве прибора. При изменении порового давления в массиве в результате геомеханических и гидрогеологических процессов вода действует на мембрану измерительного устройства с предварительно натянутой струной, колеблющейся с определенной частотой, сжимает или растягивает ее, изменяя частоту колебания. Используя тарированный график, характеризующийся зависимостью частоты колебания от давления воды на мембране, производятся определения порового давления в породах. Съём информации с датчиков производится через кабель специальными приборами типа ПЦП конструкции ДИГЭС. ООО НПФ «КАРБОН» разработана для данного типа датчиков устройство съёма и накопления информации с датчиков, осуществляющее дистанционную ее передачу через модем на базовый компьютер по сотовой связи.

Приборы в контролируемый породный массив устанавливаются скважины, пройденные в водонасыщенных намывных и естественных породах. Их количество и места установки определяются «Проектом мониторинга...» с учетом требования о необходимости получения полной информации о поле нейтральных напряжений или напоров в массиве на контролируемом участке

сооружения в пределах призмы возможного обрушения, его эволюции во времени в результате развития гидрогеомеханических, геодинамических и гидрогеологических процессов. Датчики могут устанавливаться и в насыпное тело первичной плотины, дамбы обвалования и насыпной техногенный массив с целью наблюдений за депрессионной поверхностью фильтрационного потока.

Параллельно с оборудованием скважин наблюдательной станции в процессе буровых работ следует выполнять инженерно-геологические исследования состава, состояния и свойств отобранных из скважин пород. Они необходимы для оценки строения массивов пород в откосах, уточнения и корректировки расчетных показателей. В процессе выполнения буровых работ производится отбор монолитов и описание керна. В лабораторных условиях затем производятся определение основных физико-механических и водных свойств.

Измерения порового давления с целью контроля устойчивости ликвидируемых намывных массивов рекомендуется производить, придерживаясь следующего регламента:

- в период ведения вскрышных работ - ежедневно;
- во время отсыпки отвалов в непосредственной близости от станции - ежедневно;
- в период отдыха - 1 раз в две недели.

При обнаружении деформаций поверхности намывного массива наблюдения выполняются с частотой, необходимой для установления причин, их вызвавших.

Оценка состояния устойчивости сооружения по результатам гидрогеологического мониторинга осуществляется одним из двух способов: прямой расчет устойчивости откоса ПТС и оценка его состояния по установленным ранее критическим значениям – критериям безопасности.

Расчет устойчивости откоса производится с использованием фактически замеренной по датчикам гидрогеологической ситуации на базе разрабо-

танной гидрогеомеханической модели объекта, характеризующейся строением и свойствами пород, геометрическими параметрами ПТС, полем нейтральных напряжений. В результате выполненных расчетов определяется коэффициент запаса устойчивости наблюдаемого откоса, соответствующий определенным гидрогеологическим условиям. Расчеты выполняются с использованием методов предельного равновесия или МКЭ на специализированных программных комплексах. Второй способ наиболее прост при выполнении мониторинга безопасности и заключается в измерении величин порового давления по датчикам и сравнения их с критериями безопасности, обоснованными ранее путем моделирования определенных ситуаций по устойчивости откосов. Критерии назначаются предельно-допустимые двух уровней и критические, когда коэффициент запаса равен 1.

Маркшейдерский мониторинг безопасности решает следующие задачи:

- контроль соответствия параметров ПТС: высоты отвала, ярусов, пригрузов, углов откосов и межъярусных берм;
- наблюдение за деформациями поверхности земли конструктивных элементов ПТС по репам и маркам;
- геометризация оползней и других деформаций на откосах ПТС и в основании.

Контроль соответствия параметров ПТС проектным значениям выполняется с применением маркшейдерской съемки в масштабах 1:2000, 1:5000. Объектами съемки являются: рельеф поверхности, контуры отвальных ярусов, подъездные пути к отвалам, постоянные линии электропередач и связи, а также другие коммуникации [46, 56, 63, 64, 85].

Для съемки используют методы тахеометрической, аэрофотограмметрической и наземной стереофотограмметрической съемки. Периодичность дополнительной съемки в процессе ликвидации сооружения устанавливается проектом в зависимости от скорости развития вскрышных работ, но не реже одного раза в год.

Определение перемещений реперов, установленных на ограждающих конструкциях ПТС, выполняют с помощью:

- геодезических наблюдений на пунктах наблюдательной станции со средней квадратической погрешностью положения пикета $\pm 0,015\text{м}$;
- кратковременные маркшейдерские наблюдения при интенсивном развитии деформаций со средней квадратической погрешностью определения положения пикета $\pm 0,60\text{м}$;
- наблюдения за осадкой техногенных массивов со средней квадратической погрешностью $\pm 0,05\text{м}$;
- съемку для геометризации оползней и других проявлений геодинамических процессов для выполнения обратных расчетов прочностных свойств пород со средней квадратической погрешностью положения пикета в плане и по высоте $\pm 0,4-0,5\text{ м}$.

Технологический контроль безопасности ПТС «отвал+гидроотвал» включает контроль соблюдения проектной технологии отвальных работ, который, в свою очередь, содержит:

- контроль соответствия применяемых технических средств, агрегатов и механизмов, принятых проектом;
- контроль направления и интенсивности отвальных работ на гидроотвале;
- контроль распределения пород в отвальные насыпи;
- контроль соблюдения принятой в проекте интенсивности отсыпки отвалов;
- контроль пульпопроводов и трубопроводов, транспортных магистралей на отвале, электрических сетей, связи и пр.

Инженерно-геологический мониторинг при формировании ПТС «отвал+гидроотвал» включает комплекс работ и исследований по изучению изменения инженерно-геологических условий отвалообразования, а именно: строения, состояния и свойств намывных, насыпных и естественных пород, а также наблюдения за характером протекания геодинамических и гидрогео-

механических процессов. Для выполнения работ данного направления необходимо производить буровые работы, сопровождающиеся отбором пород из буровых скважин с последующим их изучением в лаборатории.

В состав мер по обеспечению безопасности и эксплуатационной надежности ПТС «отвал+гидроотвал» должны входить разработки критериев оценки безопасных условий ее функционирования. Критерии безопасности ПТС для каждого этапа существования сооружения обосновываются отдельным документом или в разделе в составе проекта, использоваться при выполнении мониторинга на протяжении всего этапа.

Основными критериями оценки устойчивости водонасыщенных откосов формируемых и функционирующих откосов ПТС «отвал+гидроотвал» являются: коэффициенты запаса устойчивости, напор в массивах и поровое давление в породах откосной части ПТС, горизонтальные и вертикальные деформации откоса ПТС. Сохранность конструкции, размеров и формы породных массивов ПТС в пределах ее границ, установленных проектом, может определяться при выполнении мониторинга сравнением соответствия фактических критериев устойчивости предельно-допустимым.

Нормативные значения коэффициентов запаса устойчивости откосов ПТС назначаются в соответствии требованиями нормативно-методического документа ВНИМИ по таблице [49]. Фактический коэффициент запаса устойчивости откосов ПТС определяется на основании расчетов устойчивости с применением методов предельного равновесия и численного моделирования МКЭ.

Контролирование состояния устойчивости внешних откосов ПТС при наличии в составе водонасыщенных массивов (намывных и естественных) может осуществляться по значению напора или порового давления в породах ($P_{пр}$), а также через коэффициент порового давления (r_u), определяемый как отношение нейтрального давления в измеряемой точке к полным напряжения, обусловленным весом вышележащих пород.

Для оперативного контроля устойчивости и управления ею на откосах ПТС необходимо иметь многоуровневую систему обоснования критериев безопасности, включающую критерии первого и второго уровня, а также критическое значение ($P_{кр}$), при котором откос находится в предельном состоянии и коэффициент запаса устойчивости равен 1. Критерии первого уровня - предельно допустимые значения порового давления ($P_{пр}^1$), которое обеспечивает нормативное значение коэффициента запаса устойчивости откоса ПТС. Критерии второго уровня – предельно допустимые значения порового давления ($P_{пр}^2$), которое обеспечивает нормативное значение коэффициента запаса устойчивости откоса ПТС при особом сочетании нагрузок (с учетом дополнительных внешних воздействий временного характера).

Оценка безопасности (устойчивости) внешних откосов ПТС также может осуществляться по допустимым и критическим деформациям. Допустимыми являются смещения откоса в вертикальной и горизонтальной плоскости, не представляющие угрозы нарушения его устойчивости. При выполнении наблюдений за характером и динамикой их развития они легко устраняются за счет применения простейших мероприятий (отсыпки и планировки) или прекращения горных работ по формированию ПТС. Допустимыми деформациями являются:

- осадки отвала, связанные с консолидацией пород под собственным весом, включая уплотнение за счет гидрогеомеханического процесса (фильтрационной консолидации);
- горизонтальные смещения локальных участков откоса при неравномерных осадках поверхности;
- горизонтальные смещения откосов на стадиях до развития критических величин и при затухающей ползучести.

Критические деформации откосов ПТС – горизонтальные их смещения при нарастающих во времени скоростях или превышении критических скоростей, вызваны развитием процессов прогрессирующей ползучести и приводят к образованию оползней, не допустимы на откосах ПТС, поэтому при

их выявлении устанавливаются причины и разрабатываются мероприятия по их стабилизации.

Предельно-допустимые значения вертикальных смещений (осадок) намывных и естественных глинистых водонасыщенных массивов следует определять расчетами с применением решений теории фильтрационной консолидации. Скорости и величины горизонтальных смещений, вызванных развитием сдвиговых деформаций, зависит от большого количества факторов, поэтому предельно-допустимые и критические значения для каждой конкретной ПТС выбираются на основании результатов маркшейдерско-геодезических наблюдений.

Основными критериями безопасности отвалообразования на гидроотвалах являются несущая способность пород, деформации насыпи и поверхности намывного массива. Несущая способность пород – максимальная нагрузки от насыпи с учетом работающего на отвале оборудования, воспринимаемая без существенных осадок и сдвиговых деформаций. Оценка несущей способности осуществляется с использованием решений механики грунтов [98,99], включающих угол внутреннего трения и сцепления пород.

Показатели несущей способности используются обычно для оценки безопасности отсыпки отвальных насыпей только в случаях обеспечения устойчивости их откосов. При ведении отвальных работ первым ярусом на поверхностях гидроотвалов допускается развитие определенных деформаций. При этом в качестве критериев безопасности следует использовать как качественные, так и количественные характеристики деформационных процессов на откосах отвальных насыпей. Качественные характеристики деформационного процесса – отсутствие признаков, так называемой, критической ситуации, выражающейся в оконтуривании оползневого тела трещиной отрыва, образовании вала выпирания в основании отвала у нижней бровки откоса, прогрессирующим характером скоростей развития геодинамических процессов. Количественные показатели – предельно-допустимые и критиче-

ские скорости процессов деформирования насыпей, отсыпаемых на гидроотвалах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований представляют собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи – обоснование параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ.

Основные выводы и практические результаты исследований:

1. Выполнен анализ применяемых при открытой разработке МПИ технологий отвальных работ на гидроотвалах, параметров ПТС «отвал+гидроотвал» и их инженерно-геологических условий. Доказано применение при отвалообразовании на гидроотвалах наиболее эффективной, технико-экономически обоснованной схемы автомобильно-бульдозерного отвалообразования. Показано, что функционирующие в настоящий момент времени в Кузбассе ПТС «отвал+гидроотвал» имеют высоту менее 100 м и сформированы при низкой интенсивности горных работ.

2. Установлены закономерности формирования ПТС «отвал-гидроотвал» посредством теоретического рассмотрения вопросов технолитогенеза, гидрогеомеханики и геодинамических процессов, а также экспериментального их изучения на конкретном объекте. Выявлены основные факторы, определяющие устойчивость внешних откосов ПТС, выделены инженерно-геологические элементы ИГЭ и обоснованы показатели физико-механических свойств для выполнения геомеханических расчетов.

3. Изучены закономерности деформационного поведения отвальных насыпей при их отсыпке непосредственно на поверхность гидроотвала и в откосных частях сооружения. Разработана методология прогноза изменения формы и строения намывного массива гидроотвала при отсыпке на нем сухого отвала в режиме постоянного деформирования откосов, предполагающая использование численного моделирования МКЭ в Эйлеровой постановке. Получена картина формоизменения и трансформирования структуры намывного массива гидроотвала на реке Еланный Нарык в зависимости от интенсивности его нагружения.

4. Выполнен прогноз напряженно-деформированного состояния намывного массива при его нагружении отвалами «сухой» вскрыши в зависимости от интенсивности горных работ с применением двухмерной схемы консолидации и использованием численного моделирования МКЭ. Получены распределения избыточного порового давления в намывном массиве при различном режиме нагружения. Установлены максимальные его значения в глинистой зоне. Данная гидрогеомеханическая информация использовалась в расчетах устойчивости откосов ПТС «отвал - гидроотвал», которые позволили обосновать отсыпку 4-х ярусов: 20, 20, 20,30 метров при результирующих углах 15° .

5. Учитывая специфику намывных пород и особенности их деформационного поведения при отсыпке на них отвалов, обоснована технология отвальных работ на гидроотвале с применения бульдозеров и автосамосвалов повышенной грузоподъемности. Она базируется на принципах обеспечения устойчивости откосов ПТС, но допускает осуществлять формирование первого яруса в режиме контролируемого деформирования откосов. Предложены высоты и порядок формирования первого и последующих отвальных ярусов.

6. С использованием стандартных методик и численного моделирования МКЭ нагруженного оборудованием отвала с применением плоских и объемных задач определена призма возможного оползания и обосновано безопасное расстояние между верхней бровкой откоса и задними колесами автосамосвалов БелАЗ 75306 и БелАЗ 75600 грузоподъемностью до 320 тонн. Оно позволяет производить разгрузку автосамосвалов под откос, находясь у предохранительного вала высотой 2 м.

7. Обязательным мероприятием обеспечения безопасности формирования и функционирования ПТС «отвал - гидроотвал» - как опасного производственного объекта является организация и выполнение мониторинга безопасности на всех этапах ее существования. Определены цели, задачи и виды мониторинга при отсыпке отвалов на гидроотвале.

8. Результаты работы могут быть использованы проектными организациями при разработке проектов ликвидации гидротехнических сооружений, производственными предприятиями, осуществляющими отсыпку отвалов на гидроотвалах, а также научными учреждениями, разрабатывающие обоснование функционирования сложных ПТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия. Месторождения. Кузнецкий угольный бассейн [Электронный ресурс]. - 2015. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/k/kuzneckij-ugolnyj-bassejn>.
2. Дьяков Ю.И. и др. Угольный Кузбасс: страницы истории / Ю.И. Дьяков. - Администрация Кемеровской области, департамент ТЭК Кемеровской области. - Кемерово, 2005. – 428 с.
3. Колесников В.Ф. и др. Технические решения по вскрытию рабочих горизонтов разрезов Кузбасса / В. Ф. Колесников, В.И. Кузнецов, А.С. Ташкинов. - Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. - 172 с.
4. Кузбассразрезуголь [Электронный ресурс] //Официальный сайт УК «Кузбассразрезуголь». 2015. – Режим доступа: <http://www.kru.ru/ru/about>.
5. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030г.: [утв. распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2014г. N 1099-р]. [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – 2014. – Режим доступа: [http://www.garant.ru/products/ipo\[prime/doc/70584602](http://www.garant.ru/products/ipo[prime/doc/70584602).
6. Кутепов Ю.И. Научно-методические основы инженерно-геологического обеспечения отвалообразования при разработке угольных месторождений. Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. - М, МГГУ, 1999.
7. Кутепов Ю.И. Исследование физико-механических свойств гидроотвалов Кузбасса. - Л.: Записки ЛГИ, 1981, т.83, с 91-97.
8. Кутепов Ю.И., Ляхов В.Д., Сыроватская Н.А. Управление откосами отвалов при ведении горных работ на намывных территориях. //Труды ВНИМИ, сб. «Сдвигение горных пород». – Л.: 1982, с.71-78.
9. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Основные закономерности деформирования «сухих» отвалов при размещении их на гидроотвалах. //Труды ВНИМИ, сб. «Совершенствование методов расчета сдвижения и деформаций горных пород, сооружений, бортов разрезов при разработке угольных пластов в сложных горногеологических условиях». – Л., 1985. - с.66-72.

10. Годлевская Г.И., Кутепов Ю.И., Норватов Ю.А. Определение в натуральных условиях показателей фильтрационной консолидации пород гидротвалов. - М.: Инженерная геология. – 1985. -№2.- с.109-114.
11. Шешко Е.Ф. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом. - М.: Углетехиздат, 1949, 450 с.
12. Зурков П.Э. Отвальные работы на карьерах. - М.: Углетехиздат, 1951, 354 с.
13. Ржевский В.В. Проектирование контуров карьеров. - М.: Metallurgizdat, 1956.
14. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра,-1965. - 378 с.
15. Мельников Н.В. Механизация отвальных работ на открытых разработках. - М.: Углетехиздат, 1954, 504 с.
16. Русский И.И. Отвальное хозяйство карьеров. -М.: Недра, 1971.
17. Русский И.И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. - М.: Недра, 1979. - 221 с.
18. Мельников Н.Н. Методы выбора параметров драглайнов и технология их нового применения на открытых работах. Авт. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. - М., 1974.
19. Мельников Н.Н. Теория и принципы механизации отвалообразования на карьерах. - М.: Наука, 1968. 385 с.
20. Васильев Н.В., Сисин А.Н., Тимофеев. Опыт бульдозерного отвалообразования на рудных карьерах. - М.; 1966, 72 с.
21. Нурок Г.А. Гидромеханизация горных работ. - М.: Углетехиздат, 1959, 391 с.
22. Нурок Г.А. Гидромеханизация открытых разработок. - М. Недра, 1970.
23. Нурок Г.А. Процессы технология гидромеханизации открытых горных работ. - М. Недра, 1985. - 470 с.

24. Меламут Д.Л. Гидромеханизация в мелиоративном и водохозяйственном строительстве. - М., Стройиздат, 1981. - 332 с.
25. Харин А.И. Гидромеханизация в мелиоративном строительстве. - М., Колос, 1982.
26. Ялтанец И.М. Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. – М.: МГГУ, 1994. - 680 с.
27. Кононенко Е.А. Научное обоснование гидровскрышных технологий, комплексно обеспечивающих формирование и сбережение ресурсов. - дис. на соискание степени докт. техн. наук. - М.: МГГУ, 1999. - 306 с.
28. Гальперин А.М., Шафаренко Е.М. Реологические расчеты горно-технических сооружений. - М., Недра, 1977.
29. Гальперин А.М. Управление состоянием намывных массивов на горных предприятиях. - М., Недра, 1988.
30. Гальперин А.М. Гидромеханизированные природоохранные технологии. - М., Недра, 1993.
31. Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. – М.: Из-во МГГУ, 1997. - 534 с.
32. Крячко О.Ю. Управление отвалами открытых горных работ. - М.: Недра, 1980.
33. Иванов И.П. Инженерно-геологические исследования в горном деле. - Л: Недра, 1987. - 252 с.
34. Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов - М.: Недра, 1973. - 232 с.
35. Певзнер М. Е., Попов В. Н., Макаров А. Б. Геомеханика. М., изд. МГГУ, 2012. – 345 с.
36. Стрельцов В.И., Ильин А.И., Гальперин А.М. Управление долгосрочной устойчивостью откосов на карьерах - М.: Недра, 1985. - 245 с.
37. Малюшицкий Ю.Н. Устойчивость насыпей отвалов.- К.: Будивельник, 1975. - 176 с.

38. Загоруйко Л.П. Повышение устойчивости отвалов с помощью технологии открытых горных работ. - К.:УКРНИИНТИ, 1969. - 68 с.
39. Кутепов Ю.И. Инженерно-геологические условия устойчивости техногенных пород. Авт. на соиск. уч. ст. канд. геол.- мин. наук. - Л.: ЛГИ, 1981.
40. Кутепова Н.А. Инженерно-геологические условия формирования свойств техногенных отложений углеобогачительных фабрик. Авт. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. - Л.: ЛГИ, 1987.
41. Мосейкин В.В. Геолого-экологическая оценка намывных техногенных массивов хранилищ горнопромышленных отходов. - Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. - М, МГГУ, 2000.
42. Кириченко Ю.В. Управление состоянием массивов гидроотвалов для эффективного использования намывных территорий. – Авт. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: МГГУ, 1983.
43. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. - М. Недра, 1974.
44. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. - М., Недра, 1982. - 405 с.
45. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: Недра, 1972. - 165 с.
46. Методические указания по определению деформаций бортов разрезов и отвалов, интерпретация их результатов и прогноз устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987. - 116 с.
47. Руководство по дренированию карьерных полей. -Л.: Из-во ВНИМИ, 1968. - 167 с.
48. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости (утв. Госгортехнадзором СССР 21.07.1970). – Л.: ВНИМИ, 1969.

49. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. (Минтопэнерго РФ, РАН, Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научн. центр ВНИМИ). - СПб, 1998. - 208 с.

50. Инструкция по проектированию гидроотвалов из глинистых грунтов и прогнозирование их устойчивости (ВСН 291-72 ММСС СССР). - М.: ЦБНТИ, 1977. - 77 с.

51. Обеспечение охраны водной среды при производстве работ гидро-механизационным способом (ВСН 486-86[ММСС СССР]. – М.: ЦБНТИ, 1987. - 33 с.

52. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых, шламовых и гидроотвальных хозяйств. Белгород: НИИ ВИОГЕМ Минпрома России, 1997.

53. Временные методические рекомендации по расчету зон при внезапном прорыве ограждающих дамб хвостохранилищ. - Белгород: ВИОГЕМ, 1981

54. Методические указания по определению параметров гидроотвалов угольных разрезов. – Л.: ВНИМИ, 1975, 100 с.

55. Порядок разработки и дополнительные требования к содержанию декларации безопасности гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях (организациях) (утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 25.03.99)

56. Инструкция о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России (РД 03-259-98). – (Утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 12.01.98 №2).

57. Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. Л.: Из-во ВНИМИ, 1985, 82 с.

58. Кутепов Ю.И. Кутепова Н.А. Закономерности формирования техногенных пород при отвалообразовании. Сборник научных трудов ВНИМИ “Исследование сдвижения горных пород и гидрогеомеханических про-

цессов в массивах сложной структуры при разработке месторождений. - СПб, ВНИМИ, 1992, с.83-96.

59. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Закономерности формирования порового давления в гидроотвалах. Тезисы докладов Международного симпозиума по проблемам прикладной геологии, горной науки и производства. - СПб, 1993, с.92-95.

60. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Подольский В.А. Методика прогноза напряженного состояния обводненных песчано-глинистых массивов. //Сб. научных трудов «Горная геомеханика и маркшейдерское дело. Издательство ВНИМИ. - СПб, 1999. - с. 94-103.

61. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Техногенез намывных отложений. М.: Геоэкология, 2003. - № 5. - С.405-413.

62. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Подольский В.А. Прогноз гидрогеомеханических процессов в прибортовых массивах при затоплении карьеров. Горный информационно-аналитический бюллетень № 5. - М.: Издательство МГГУ. – 2004. - с.65-72.

63. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть I. Изучение гидрогеомеханических условий строительства, эксплуатации и рекультивации отвальных сооружений. - Л.: ВНИМИ, 1989.

64. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть II. Обоснование оптимальных параметров отвальных сооружений. Л.: ВНИМИ, 1990.

65. 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.

66. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Мосейкин А.М. Гидрогеомеханические аспекты освоения техногенных массивов на горных предприятиях //

Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). Отдельный выпуск №1, Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2014», 2014.

67. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Ермолов В.А., Кутепов Ю.И. Инженерно-геологическое обеспечение экологически безопасного освоения горнопромышленных природно-технических систем. – М.: Геоэкология, 2012. - № 6. - с.520-526.

68. Саркисян А.Х. Инженерно-геологическая оценка и обоснование параметров гидроотвалов на различных этапах существования (на примере гидроотвалов Кузбасса): Автореферат дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 2004. - 20 с.

69. Лапочкин Б.К. Инженерно-геологическая оценка намывных глинистых грунтов для увеличения емкости гидроотвалов: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - М, 1978.

70. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Карасев М.А., Фоменко Н.Г. Геомеханическое обоснование отсыпки отвалов «сухих» пород на гидроотвалах. – М.: Геоэкология, инженерная геология, геокриология, 2015 - №2. - с.128-133.

71. Жданов С.Е. Инженерно-геологическое дешифрирование аэрофотосъемочных материалов при оценке состояния намывных массивов. Авт. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М., 1989.

72. Кириченко Ю.В. Инженерно-геологическое обеспечение экологической безопасности формирования техногенных массивов. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н.. - М., 2001.

73. Щербакова Е.П. Инженерно-геологическое и геоморфологическое обоснование техногенного рельефа намывных территорий гидроотвалов. Авт. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М., 1989.

74. Ивочкина М.А. Инженерно-геологическое обеспечение устойчивости отвалов фосфогипса. Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М.: 2013.

75. Павленко В.М. Оценка влияния гидровскрышных работ на эффективность дренирования карьерных полей в сложных гидрогеологических условиях: Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук в форме научного доклада. - М., 1992.

76. Токтыбаев К.М. и др. Вопросы, возникающие при использовании гидроотвалов для повторного отвала скальных пород. //В сб.: Горное дело, вып. 10. - Алма-Ата, 1974. - с. 162-165.

77. Дергилев М.А., Жариков В.С., Бабец А.М. О применении комбинированного отвалообразования в условии КМА. - В кн.: Вопросы устойчивости и технологии образования отвалов. - Губкин, 1971. - с. 16-20.

78. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях // А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов и др. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. - - 336 с.

79. Хашин В.Н. Технологические способы повышения устойчивости внутренних отвалов на разреза Кузбасса. - Авт. на соискание ученой степени канд. техн. наук - М, 1984. - 18 с.

80. Мочалов А.М. Исследование деформаций бортов карьеров при оценке их устойчивости. Авт. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - Л, 1968. - 23 с.

81. Демин А.М., Шушнина О.И. Усовершенствованный способ расчету устойчивости отвалов с учетом их напряженного состояния. //Научн. сообщ. ИГД им. Скочинского. - М., 1977. - вып. 153. - с.27-30.

82. Демин А.М., Шушнина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов на карьерах. - М., Недра, 1978. - 187 с.

83. Заворина Е. Н. Прогноз устойчивости отвалов угольных разрезов, Новосибирск, «Наука», 2015г., -256 с.

84. Зотеев В.Г., Фролов А.В. Совершенствование технологий отвалообразования на Ковдорском ГОКе. – М.: Горный журнал, 1981. - № 4.

85. Ермошкин В.В. Разработка методики геолого-маркшейдерского обеспечения безопасности гидроотвалов вскрышных пород (На примере гидроотвалов Кузбасса). - Авт. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М, 2001.
86. Могилин А.В. Инженерно-геологическое обоснование технологии формирования отвальных насыпей на гидроотвалах. - Авт. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М, 2001.
87. Жариков В.П. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование эксплуатации и рекультивации гидроотвалов вскрышных пород Центрального Кузбасса. – Авт. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2005.
88. Федосеев А.И. Инженерно-геологическое обоснование частичной ликвидации гидроотвалов вскрышных пород: Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - М.: 2006.
89. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т. Геологическая среда как часть окружающей среды / Е.М. Сергеев // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты. - М.: Недра, 1985. - с. 27-32.
90. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. - М.: Недра, 1982. - 256 с.
91. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Литомониторинг – система контроля и управления геологической средой / Е.М. Сергеев // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты. - М.: Недра, 1985, с. 243-250.
92. Бондарик Г.К, Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг / Г.К. Бондарик // Инж. геол. – 1990, № 5. - с. 3-9.
93. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. - М., 1990;
94. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. - М., 1994.
95. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Изучение порового давления в намывных массивах. – М: Геоэкология, 2006. - №2. - С. 205-215.

96. Прогноз скоростей осадок оснований сооружений / Н.А. Цытович, Ю.К. Зарецкий, М.В. Малышев и др. - М.: Стройиздат, 1967.-330 с.
97. Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом. - ПБ 05-619-03.
98. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1979. - 272 с.
99. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве. М.: Высшая школа, 1981. - 317 с.
100. Abaqus. Theory manual. (ссылка на документацию к программному комплексу [http://50.16.176.52\[v6.13\]](http://50.16.176.52[v6.13])).
101. Нурок Г.А., Луговинов А.Г., Шерстюков А.Д. Гидроотвалы на карьерах. - М.: Недра, 1977. - 308 с.
102. Мониторинг состояния автоотвала на гидроотвале № 3 в ходе его формирования филиала ОАО «УК» Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез»: отчет о НИР / Н.А. Кутепова. – СПб: ООО НПФ «Карбон», 2013. – 58 с.
103. Dutta S., Hawlader B., Phillips R. Finite element modeling of partially embedded pipelines in clay seabed using Coupled Eulerian–Lagrangian method. // Canadian Geotechnical Journal. 2014. - No. 52 (1).- C. 58-72.
104. Dutta S., Hawlader B., Phillips R. Numerical Investigation of Dynamic Embedment of Offshore Pipelines. // Proceedings of the 18 International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, 2013. - C. 2347-2350.
105. Dey R., Hawlader B., Phillips R., Soga K. Progressive failure of slopes with sensitive clay layers. // Proceedings of the 18 International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, 2013. - C. 2177-2180.
106. Khoa H.D.V. Numerical Simulation of Spudcan Penetration Using Coupled Eulerian-Lagrangian method. // Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics. Taylor & Francis Group. – London, 2014. - C. 199-204.

107. Qiu G., Grabe J. Explicit modeling of cone and strip footing penetration under drained and undrained conditions using a visco-hypoplastic model. // Geotechnik. 2012. - Vol. 34. - С. 205–217.

108. Qiu G., Henke S., Grabe J. Application of Coupled Eulerian-Lagrangian Method to Geotechnical Problems with Large Deformation. // SIMULIA Community Conference, 2009. - 16 с.

109. Pichler T., Pucker T., Hamann T., Henke S., Qiu G. High-Performance Abaqus Simulations in Soil Mechanics Reloaded - Chance and Frontiers. // SIMULIA Community Conference, 2012. - 30 с.

110. Van den Abeele F., Spinewine B., Ballard J-C, Denis R. Advanced Finite Element Analysis to Tackle Challenging Problems in Pipeline Geotechnics. // SIMULIA Community Conference, 2013. - 16 с.

111. Фоменко Н.Г. Обоснование параметров отвальных насыпей, размещаемых на гидроотвалах. // Горный информационно-аналитический бюллетень, №5. – 2015. – С. 401-405.

112. Фоменко Н.Г. Геологическое обеспечение отсыпки отвалов сухих пород на гидроотвале «Еланный Нарык» в Кузбассе. // Деп. рук. №1069/6-16 от 14.03.16 (6 с.) //Горный информационно-аналитический бюллетень.

113. Фоменко Н.Г. Инженерно-геологическое обоснование формирования отвальных насыпей на гидроотвалах при высокой интенсивности горных работ // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники» (г. Самара, апрель 2016 г.). – Самара: 2016 г. (<http://izron.ru/conference>)