

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»**

На правах рукописи



ПОЛИНОВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОТКОСОВ
ОТВАЛОВ И БОРТА КАРЬЕРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Научный руководитель
профессор, доктор технических наук
Иван Алексеевич Пыталев**

Магнитогорск 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	8
1.1 Тенденции формирования и использования источников природной и техногенной возобновляемой энергии при ведении открытых горных работ.....	8
1.2 Анализ видов природной и техногенной возобновляемой энергии, способов, оборудования и механизмов их использования при производстве горных работ	18
1.3 Опыт целенаправленного формирования и использования техногенных георесурсов и ландшафтов при ведении открытых горных работ.....	31
1.4 Анализ состояния научно-методической базы определения параметров горнотехнической системы при совмещении работ по добыче полезных ископаемых и формированию техногенных георесурсов	37
1.5 Цель, задачи и методы исследования	43
Выводы по главе 1	45
2 РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ УЧАСТКА НЕДР В ПЕРИОД ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	47
2.1 Обоснование концепции ведения открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии	47
2.2 Обоснование параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке при обеспечении безопасности охраняемых зон с установками использования солнечных панелей и ветрогенераторов	54
2.3 Регулирование режима горных работ при монтаже солнечных панелей и выполаживании откосов борта карьера с учетом направления и скорости их понижения	60
2.4 Разработка способа определения целесообразности одновременного ведения горных работ и рекультивации земель для эффективного использования солнечной и ветровой энергии.....	66
Выводы по главе 2	72

3	ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	74
3.1	Исследование влияния конструкции и параметров откоса борта карьера на объемы горных работ при использовании солнечных панелей	74
3.2	Исследование влияния конструкции и параметров отвалов на объемы горных работ при использовании солнечной и ветровой энергии.....	94
3.3	Исследование необходимых объемов аккумулирующей техногенной емкости и способов ее формирования как источник техногенной возобновляемой энергии	113
3.4	Алгоритм обоснования параметров открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии	120
	Выводы по главе 3	125
4	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ОТКОСОВ КАРЬЕРА И ОТВАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ХОДЕ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ	128
4.1	Экономическое обоснование эффективности выполаживания откосов отвалов и верхних уступов карьера при установке на них солнечных панелей.....	128
4.2	Экономическое обоснование эффективности формирования поверхности отвала для установки ветрогенераторов	132
4.3	Расчет экономической эффективности внедрения рекомендаций на железорудном месторождении Малы́й Куйбас.....	137
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	145
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	147
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Интенсивное развитие открытого способа добычи твердых полезных ископаемых в последние десятилетия в стране и мире является следствием одновременного роста спроса на минеральное сырье и повсеместного усложнения горно-геологических и горно-технических условий разработки месторождений, выражающихся в снижении содержания полезных компонентов, увеличении глубины ведения горных работ, коэффициента вскрыши, потребности в территориях для размещения отвалов вскрышных пород. Все это вынуждает горнодобывающие предприятия осуществлять постоянный поиск и проработку технических решений, направленных на повышение эффективности их функционирования в том числе за счет целенаправленного использования пород вскрыши при строительстве техногенных емкостей для минимизации затрат на размещение отходов добычи и обогащения полезных ископаемых. В связи с постоянным ростом объемов переработки горной массы в рамках горно-обогатительного комбината особо актуальным становится вопрос поиска технических решений, направленных не только на снижение, но и компенсацию потребляемой энергии, в первую очередь электрической.

В горной промышленности имеется положительный опыт строительства и эксплуатации солнечных и ветряных электростанций на территории горнодобывающего предприятия и разрабатываемых месторождений. Однако подавляющее большинство отечественных и зарубежных примеров сводится к реализации возможности установки солнечных панелей и ветрогенераторов на землях, нарушенных горными работами в рамках их рекультивации, или на отдельно отчуждаемых территориях. Поэтому отсутствие научно-методических рекомендаций и технологических решений по рациональному использованию выработанного пространства карьера и пород вскрыши для вовлечения в эксплуатацию источников техногенной возобновляемой энергии сдерживает целенаправленное формирование техногенных емкостей и ландшафта в качестве областей концентрации природной энергии и устройств, компенсирующих ее непостоянство.

В связи с этим создание и реализация условий использования природной и техногенной возобновляемой энергии непосредственно в процессе добычи по-

лезных ископаемых позволит повысить эффективность добычи, экологическую безопасность горнодобывающих предприятий и комплексность освоения участка недр при одновременной рекультивации нарушенных земель.

Поэтому обоснование параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии при увязке направления и скорости ведения добычных, вскрышных и отвальных работ является актуальной научно-практической задачей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование конструкции горнотехнической системы и параметров открытой геотехнологии обеспечивает создание условий концентрирования в заданных областях осваиваемого участка недр источников природной и техногенной возобновляемой энергии, использование и компенсация непостоянства которых достигается формированием в процессе ведения горных работ из пород вскрыши техногенных емкостей, функционирующих на основе разности геодезических высот при перепуске карьерных вод.

2. Опережающая постановка верхних уступов северного борта карьера с выполаживанием его результирующего угла до 25° и оформление южных откосов внешних отвалов под углом 20° в условиях месторождений, расположенных в пределах $51-53^\circ$ северной широты, обеспечивает повышение концентрации солнечной энергии на 15% при совмещении рекультивационных работ и снижении сроков передачи земель в последующее пользование, при этом безопасность и эффективность ведения горных работ на данных участках горнотехнической системы достигается производством буровзрывных работ с соблюдением размера охраняемой зоны в плане и по глубине карьера.

3. Создание условий использования природной и техногенной возобновляемой энергии обеспечивается заблаговременной подготовкой технологических проездов и площадок для размещения ветрогенераторов и гидроаккумулирующего пруда на верхней площадке внешних отвалов и достигается регулированием режима горных работ с учетом физико-механических характеристик вскрышных пород и конструкционных параметров отвалов.

Достоверность результатов обеспечивается: мировым опытом эксплуатации различных видов источников альтернативной энергетики; надежностью и

представительным объемом исходных данных; использованием современных программных продуктов и комплексов при расчетах и компьютерном моделировании; подтверждается: согласованностью данных, полученных различными методами исследования, между собой и с данными промышленных испытаний; положительными результатами применения научно-методических положений диссертации в учебном процессе и промышленных условиях.

Научная новизна:

1. Систематизация горнотехнических сооружений, возводимых для использования природной и техногенной возобновляемой энергии по способу формирования и осваиваемому источнику энергии, применение которой позволяет выбрать конструкцию и обосновать параметры верхних уступов карьера, внешних отвалов и техногенных емкостей.

2. Методика обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии, определяющая конструкцию верхних уступов карьера и откосов внешних отвалов, их форму в плане, необходимые объемы вскрышных пород, а также их физико-механические характеристики и пространственное положение в природном массиве и в горнотехнической системе.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; систематизации техногенных емкостей; обосновании способов и условий выбора конструкций инженерной системы защиты ограждающей дамбы техногенной емкости; создании алгоритма формирования техногенной емкости горнотехнической системы при комплексном освоении участка недр; разработке методики определения параметров формируемой техногенной емкости с заданными технологическими характеристиками; моделировании горнотехнической системы.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методических основ обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии, обеспечивающих повышение полноты и комплексности освоения участка недр Земли.

Практическая значимость работы заключается в разработанных технологических схемах изменения результирующего угла откосов верхних уступов

карьера и формирования внешних отвалов заданной конструкции и формы в плане, а также аккумулирующих техногенных емкостей, применение которых позволяет концентрировать в заданных областях горнотехнических сооружений солнечную и ветровую энергию с полной компенсацией их непостоянства; в обосновании рациональных параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии для снижения негативного воздействия ведения горных работ при повышении их эффективности; рекомендациях по постановке верхних уступов карьера в предельное положение и совмещению во времени добычных работ и эксплуатации установок по преобразованию солнечной и ветровой энергии, смонтированных на отвалах и верхних уступах карьера.

Эффективность разработанных технологических решений по использованию природной и техногенной возобновляемой энергии подтверждена актом внедрения результатов диссертационного исследования на Руднике ГОП ПАО «ММК» с указанием экономического эффекта.

Реализация результатов исследования

Результаты и научно-практические рекомендации диссертационного исследования использованы в проектах разработки месторождений, являющихся минерально сырьевой базой ПАО «ММК», расположенных в Челябинской и Кемеровской областях; при разработке основных технических решений Наследнинского месторождения. Материалы диссертации использованы в учебном процессе по дисциплинам: «Процессы открытых горных работ», «Комплексное освоение недр», «Комплексная оценка технологических решений», «Применение ЭВМ при проектировании открытых горных работ» специальности 21.05.04.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: XXIX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2023 г.); XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2023 г.); 81-й, 82-й Международных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2023, 2024 гг.); IV Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» (г. Челябинск, 2024 г.).

1 АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

1.1 Тенденции формирования и использования источников природной и техногенной возобновляемой энергии при ведении открытых горных работ

Функционирование горно-перерабатывающих предприятий, осуществляющих разработку месторождений твердых полезных ископаемых, обеспечивается потреблением значительного количества различных видов энергии. По мере развития открытых горных работ в течение последнего столетия наблюдался переход от использования исключительно мышечной силы человека и животных до применения атомной энергии [47, 63, 31, 95]. Постоянно усложняющиеся горно-геологические и горнотехнические условия разработки месторождений на фоне устойчивой тенденции мирового роста потребления минерально-сырьевых ресурсов приводит к увеличению масштабов воздействия горного производства на окружающую среду. С целью компенсации объемов выпуска конечной продукции в результате снижения природного качества добываемой руды горные предприятия вынуждены увеличивать объемы ее добычи и переработки, что ведет к росту требуемых земель не только для размещения отвалов вскрышных пород, хвостохранилища, но и непосредственно под карьер и инженерную инфраструктуру [18, 87]. Рост масштабов ведения горных работ, объемов переработки горных пород и техногенного преобразования ландшафта осваиваемого участка недр делает горнодобывающую отрасль одним из основных потребителей всех видов энергии. При этом от принятых технических решений по развитию горных работ и осуществлению мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель зависит эффективность функционирования горнодобывающего предприятия, полнота и комплексность освоения участка недр Земли.

В последние два десятилетия активно развиваются работы по внедрению в производство технических решений, обеспечивающих реализацию на практи-

ке идей, заложенных в трудах академика М.И. Агошкова, который в 1982 году разработал классификацию техногенных георесурсов и определил основные направления перспективного их использования [1]. Результатом работы отечественных ученых явилось научно обоснованные решения по целенаправленному формированию выработанных пространств карьеров и отвалов в качестве техногенных георесурсов, обеспечивающих снижение себестоимости не только процесса добычи твердых полезных ископаемых, размещения продуктов их переработки, но и восстановления нарушенных земель за счет осуществления параллельной рекультивации [11, 24, 39, 40, 56, 60, 72, 73, 106, 112, 114, 116].

Коллективом авторов под руководством член-корреспондента Д.Р. Каплунова в результате крупномасштабных и многолетних исследований осуществлено расширение классификации георесурсов с включением в нее новой, VII самостоятельной группы георесурсов – возобновляемых природных и техногенных источников энергии [32]. Данное исследование, с одной стороны, раскрывает потенциал горнотехнической системы по использованию возобновляемых природных и техногенных георесурсов, с другой ставит перед горнодобывающей отраслью задачу скорейшего поиска технических и технологических решений, обеспечивающих практическую реализацию данного потенциала с учетом возможности его целенаправленного формирования. При этом данные решения позволят значительно сократить сроки на проведение рекультивационных работ и повысить качество их выполнения в соответствии с предъявляемыми требованиями [68, 92].

В результате анализа ряда технических проектов разработки месторождений твердых полезных ископаемых в Республике Башкортостан, Челябинской, Свердловской и Оренбургской областях выявлена тенденция изъятия земель для размещения инженерной инфраструктуры горнодобывающих предприятий, отвалов вскрышных пород, хвостохранилищ, складов различного назначения и непосредственно занятых под выработанным пространством карьеров [135]. За последние два десятилетия потребность горнодобывающих предприятий в площади земельного отвода увеличилась более чем в 2 раза (рисунок 1.1). Это, в свою очередь, требует решений и дополнительных затрат на их рекультивацию.

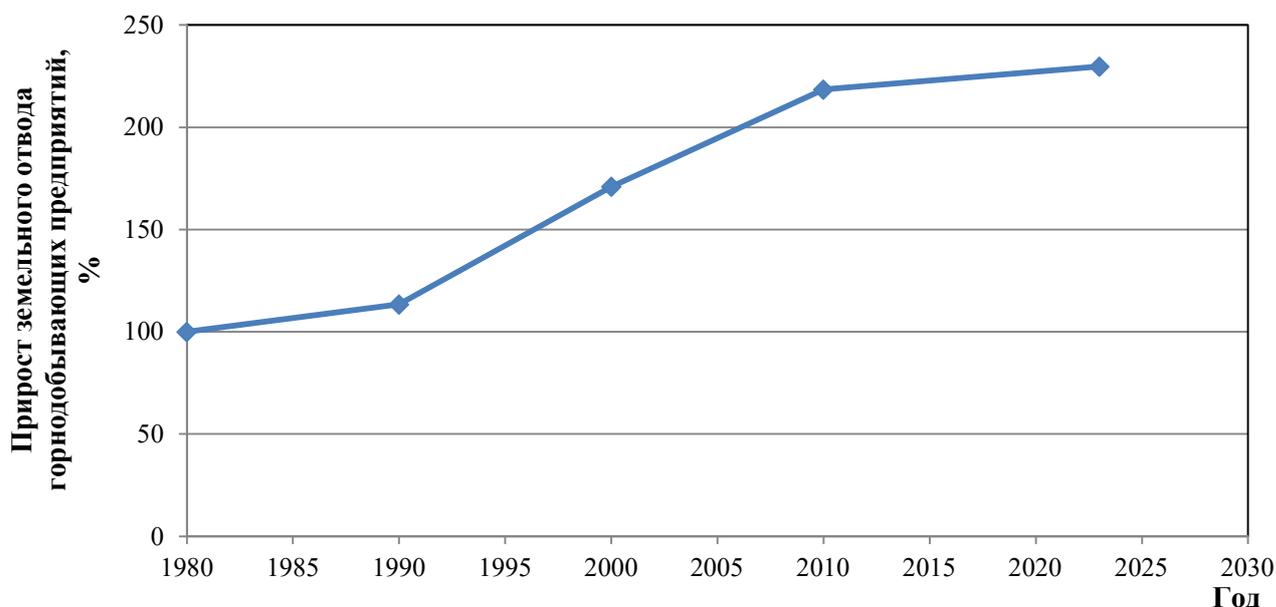


Рисунок 1.1 – Динамика изменения площади земельного отвода горнодобывающих предприятий Южного Урала

Тенденция роста объемов добычи обуславливается применением высокопроизводительного и эффективного горнотранспортного оборудования. При этом сегодня подавляющее большинство решений, принятых в технических проектах на разработку месторождений твердых полезных ископаемых, предусматривает перемещение 95% извлекаемой из недр горной массы в отвалы вскрышных пород, рудные и иные склады и хранилища отходов недропользования [4, 28, 39, 70]. Согласно статистике, для получения 1 т только медной руды перерабатывается около 100 т горной массы, из которой 99 т складированы на земной поверхности в отвалы вскрыши и хвостохранилища.

Изменение данной ситуации является приоритетной задачей в области недропользования, что подтверждается внесенными изменениями в Закон РФ «О Недрах», предусматривающими не только особое выделение отходов недропользования, но направлений их использования [23]. В связи с этим особую значимость приобретают работы, направленные на целенаправленное формирование и использование техногенных георесурсов, создаваемые в процессе освоения балансовых запасов, разрабатываемых месторождений при совмещении добычных работ с мероприятиями по восстановлению нарушенных земель. При этом повышение полноты и комплексности освоения участка недр должно обеспечивать экономическую эффективность функционирования горнодобывающих предприятий, что воз-

можно достичь внедрением решений, направленных на использование природных и техногенных возобновляемых георесурсов и снижение затрат на рекультивацию.

Поиск решений по снижению затрат на рекультивацию земель, нарушенных горными работами, и повышению их эффективности позволил на ряде месторождений внедрить идеи по использованию поверхностей хвостохранилищ для размещения солнечных панелей и ветрогенераторов. В работах [13, 139] отмечается опыт использования альтернативной энергетики на открытых небольших водоемах в Великобритании, Франции, Швейцарии и Индии. Пример строительства и запуска в 2014 году в Великобритании, в городе Беркшир, плавающей электростанции, преобразующей солнечную энергию в электрическую, представлен на рисунке 1.2, а. Примером использования поверхности зеркала воды затопленного карьера является Ле-Бо-де-Прованс (рисунок 1.2, б), где запущена плавающая солнечная электростанция, включающая 47 000 фотоэлектрических панелей суммарной мощностью 17 МВт электроэнергии [141].



а



б

Рисунок 1.2 – Плавающие солнечные электростанции

Современные фотоэлектрические панели могут быть размещены практически на любых поверхностях, в том числе водных. Поэтому они могут быть использованы в прудовой зоне хвостохранилищ, затопленных карьерных и целенаправленно созданных техногенных емкостей. Следует отметить, что дополнительным преимуществом при монтаже панелей на водной глади является то, что плавающие солнечные электростанции способствуют уменьшению испарения воды в водоемах.

В Японии в 2018 году в городе Тайва, префектура Мияги, на территории отработанного карьера по добыче строительного камня построена солнечная электростанция мощностью 28 МВт (рисунок 1.3, а).

В Швейцарии, недалеко от деревни Квинтен, на базе отработанного карьера по добыче строительного камня, данное месторождение является нагорным практически с отвесным бортом площадью 80 000 м², на котором смонтированы солнечные панели суммарной мощностью 9 МВт, расчетный период эксплуатации которых составляет 25-30 лет (рисунок 1.3, а). Практически вертикальное расположение солнечных панелей предполагает их максимальную производительность в весенний и осенний период, именно в это время года компенсируя незначительную производительность других солнечных энергетических установок в эти периоды (рисунок 1.3, б).



а



б

Рисунок 1.3 – Солнечные электростанции на базе отработанных карьеров

На территории Российской Федерации также имеется опыт строительства и эксплуатации солнечных и ветряных электростанций, в том числе и применительно к горному производству. При этом все они сортированы и работают независимо от горнотехнической системы, то есть для их размещения дополнительно изымаются территории в непосредственной близости от месторождения или используются крыши административных зданий и производственных цехов.

Летом 2016 года в поселке Накын, Республика Саха (Якутия), на Нюрбинском горно-обогатительном комбинате на площадке цеха энергоснабжения и автоматизации было установлено 150 солнечных панелей отечественного производителя «Яsolar». Получаемая энергия альтернативного теплоснабжения включена в схему горячего водоснабжения вахтового посёлка на месторождении «Нюрбинская». Мощности солнечных панелей достаточно для подогрева воды в летнее время, при этом существующая котельная находится в резерве. Внедрение солнечных панелей для подогрева воды позволяет ежегодно сокращать потребление привозной нефти не менее чем на 45 т [131].

Одной из стран, где эффективно и масштабно применяются возобновляемые источники энергии, является Чили, в том числе и для обеспечения быстро развивающейся горнодобывающей отрасли. Преимущественно используется энергия солнца и ветра. Только на руднике «Chuquibambilla» по добыче медных руд построена крупная фотоэлектрическая солнечная электростанция «Catama Solar» мощностью 1,1 МВт, генерирование электроэнергии осуществляется с использованием 4080 фотоэлектрических панелей, размещенных на площади 6,25 га, при этом годовой объем выработки электроэнергии не менее 2,62 ГВт, расчетный срок службы станции 25–35 лет. Она построена исключительно для обеспечения электроэнергией только горнодобывающее предприятие.

Совместный проект Дании и Чили, реализуемый соответственно компаниями «Sunmark» и «Energía Llayma», направлен на строительство на месторождении меди термосолнечной электростанции «Pampa Elvira» (рисунок 1.4). Проект, находящийся на стадии строительства, должен обеспечить электропитание процесса получения меди электролизом. Станция включает 2620 солнечных панелей, размещенных на площади 39,3 тыс. м², при этом мощность 51 800 МВт тепловой энергии. Данная станция «Pampa Elvira» обеспечит 85 % потребления топлива при электролизе.



Рисунок 1.4 – Термосолнечная электростанция «Pampa Elvira»

Кроме того, в Чили активно используются территории не пригодные для хозяйственной деятельности. Так в пустыне Атакама на стадии строительства находится солнечная электростанция «Amanesce» мощностью 100 МВт.

В странах, удаленных от экватора, где отсутствуют в достаточном количестве территории, пригодные для строительства солнечных и термосолнечных электростанций, но присутствуют преобладающие ветра, в промышленных масштабах функционируют ветровые электростанции. Так, в Канаде на руднике по добыче алмазов «Diavik» установлена ветровая электростанция мощностью 9,2 МВт, способная генерировать не менее 17 ГВт·ч в год.

На севере провинции Квебек (Канада) на никелевом руднике «Raglan» строится крупная ветровая электростанция включающая не только ветровые турбины, но и специальную систему хранения вырабатываемой энергии. Это решение обеспечит выработку электроэнергии круглогодично на уровне не менее 3 МВт, что позволит сократить потребность в традиционном топливе не менее чем на 2,5 млн л в год.

В Бразилии, в штате Риу-Гранди-ду-Норти, горнодобывающая компания «Vale» совместно с австралийским предприятием «Pacific Hydro» строит две ветровых электростанции, суммарная мощность которых составит 140 МВт, а срок эксплуатации 20 лет. В таблице 1.1 представлен рейтинг десяти крупнейших ветроэлектростанций, эксплуатируемых и проектируемых в Бразилии.

Таблица 1.1 – Рейтинг десяти ветроэлектростанций в Бразилии

Название	Штат	Установленная мощность, МВт
Complexo eólico Alto Sertão II	Баия	386
Complexo eólico Alto Sertão I	Баия	294
Complexo eólico Delta 3	Мараньян	221
Usina de Energia Eólica Capão do Tigre	Риу-Гранди-ду-Сул	180
Parque eólico União dos Ventos	Риу-Гранди-ду-Норти	170
Parque eólico de Osório	Риу-Гранди-ду-Сул	150
Parque eólico Morro dos Ventos	Риу-Гранди-ду-Норти	145
Parque eólico de Água Doce	Санта-Катарина	143
Parque Eólico Bons Ventos	Сеара	138
Parque Eólico de Trairi	Сеара	125

В Австралии, в 540 км от Перта, на руднике по добыче лития «Mt Cattlin» компания «Galaxy Resources» использует солнечную электростанцию, обеспечивающую 15% электропотребления. С учетом климатических характеристик

района, преимущественно скорости ветра в течение года, руководством компании принято решение о строительстве трех ветровых электростанций мощностью по 1,2 МВт и дополнительной солнечной электростанции мощностью 1 МВт. Согласно расчетам, данный рудник будет полностью функционировать при использовании возобновляемых источников энергии. Таким образом, станции ВИЭ суммарной мощностью не менее 6 МВт обеспечат 100% потребности рудника в электроэнергии.

Наибольший опыт строительства электростанций альтернативной энергетики на землях, нарушенных горными работами, накоплен в Соединенных Штатах Америки. Этому способствует, с одной стороны, продолжительный период ведения горных работ по добыче твердых полезных ископаемых, с другой – жесткие требования по защите и сохранению окружающей среды. Так, на отвалах вскрышных пород молибденового рудника «Molycorp» в 2011 году была введена в эксплуатацию фотоэлектрическая электростанция мощностью 1 МВт, следует отметить, что это крупнейший объект такого рода в США. Аналогичное решение реализовано на отвалах медного рудника «ASARCO Mission Mine» (Аризона) и угольном разрезе «McKinley» (Нью-Мексико). На руднике по добыче золота «Summitville Mine» (Колорадо) в период рекультивации построена гидроэлектрическая станция. На карьере по добыче серы «Leviathan» (Калифорния) одновременно функционируют ветровая и солнечная электростанции. Строится крупная солнечная электростанция на месторождении с низким содержанием золота в Суринаме. Компания «Iamgold» на руднике по добыче золота «Rosebel» в Суринаме (Южная Америка) ввела в эксплуатацию солнечную электростанцию производительностью 5 МВт, в состав которой входит 16 тыс. солнечных панелей общей стоимостью около 12 млн \$. Кроме «Rosebel», в компании планируют внедрить похожее решение на руднике «Essakane» в Буркина-Фасо (Африка).

В России из всех видов ВИЭ традиционно используют гидроэлектростанции. Большое количество ГЭС было построено в СССР. Они обеспечивают электроэнергией многие горные и металлургические предприятия.

Возможностям использования других источников возобновляемой энергии в СССР уделялось сравнительно мало внимания. Это связано, прежде всего, с огромными запасами и низкой ценой традиционного энергетического сырья. В России в последние годы ситуация стала меняться. Рост цен на энергоносители, вовлечение в отработку удаленных месторождений - эти и другие причины способствовали росту интереса к использованию возобновляемой энергии как со стороны государства, так и горных предприятий [44].

По данным Министерства Энергетики РФ, объем технически доступных ресурсов ВИЭ в России составляет не менее 24 млрд т условного топлива. Весной 2013 года Россия запустила программу поддержки зеленой энергетики на оптовом рынке. К 2025 году в стране может появиться около 1,5 ГВт солнечных станций, 3,6 ГВт ветряков и 900 МВт малых ГЭС: правительство гарантировало девелоперам возврат инвестиций в эти объекты. Одним из мер поддержки выступает Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» [67].

Пилотным проектом АО «Полиметалл» стало строительство и ввод в эксплуатацию в марте 2019 года на месторождении Светлое в Охотском районе Хабаровского края солнечной электростанции. Станция располагается в труднодоступном горно-таежном районе в зоне вечной мерзлоты. На территории в 3 га установлено 2788 фотоэлектрических модулей с монокристаллическими кремниевыми пластинами. От СЭС до распределительного устройства энергокомплекса ДЭС-4000 проложена кабельно-воздушная линия 6 кВ протяженностью 450 м. Все оборудование солнечной электростанции объединено в единую систему управления и контроля типа SCADA, которую поставил производитель станции. Солнечная электростанция на месторождении Светлое стала одной из крупнейших автономных солнечных электростанций и первой в России, которая снабжает электроэнергией месторождение. При этом она позволяет получать в год до 1,25 млн кВт/ч электроэнергии, что обеспечивает экономию до 270 т/год дизельного топлива ежегодно. Проект был реализован меньше чем за 1 год. Солнечная электростанция представлена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Солнечная электростанция на месторождении Светлое

Таким образом, в мировой практике строительство электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, является устойчивым трендом последних десяти лет. Данные решения сочетают в себе возможность выработки электроэнергии и использования территорий, как правило, не пригодных для хозяйственной деятельности. Реализованные проекты подтверждают перспективность масштабирования строительства солнечных и ветровых электростанций с выходом на 100% объемов, необходимых для бесперебойного функционирования горнодобывающего предприятия. В Российской Федерации строительство солнечных и ветровых электростанций в первую очередь осуществляется для сокращения объемов традиционных источников энергии при эксплуатации горнодобывающего предприятия. Однако с учетом масштабов ведения горных работ в стране и площадей нарушенных земель формирование горнотехнической системы для использования природной и техногенной возобновляемой энергии является весьма перспективно. Поэтому необходимо провести анализ видов природной и техногенной возобновляемой энергии, способов, оборудования и механизмов их использования при производстве горных работ.

1.2 Анализ видов природой и техногенной возобновляемой энергии, способов, оборудования и механизмов их использования при производстве горных работ

Ведение открытых горных работ требует значительных объемом различных видов ресурсов, количество и величина которых в удельном выражении на единицу готовой продукции практически не зависит от производительности карьера по полезному ископаемому. Преобладающим видом потребляемых ресурсов являются энергетические. Следует отметить, что каждый технологический процесс предусматривает потребление энергии. Если рассматривать с точки зрения экономических затрат, то основная их доля приходится на дизельное топливо и электрическую энергию. С учетом развития современного автомобилестроения, в том числе промышленных большегрузных автосамосвалов, в ближайшее десятилетие в мире появятся карьеры, на которых будет использоваться исключительно электрический транспорт [94, 100]. На этапе обогащения полезных ископаемых в подавляющем большинстве случаев применяется электрический привод применяемого оборудования. Кроме того, в условиях месторождений, удаленных от источников электроэнергии, ее выработка осуществляется с использованием дизельных, газопоршневых и иных электростанций [46, 57]. В связи с этим следует констатировать, что эффективность ведения горных работ в обозримой перспективе будет обуславливаться наличием доступных энергетических ресурсов.

В соответствии с установившейся мировой тенденцией увеличения объемов добычи и переработки минерального сырья в результате усложнения горно-геологических и горнотехнических условий, ведение горных работ обуславливает преобразование участка недр за счет перемещения вещества литосферы из природного массива в техногенные массивы при одновременном формировании горнотехнических сооружений в виде отвалов и выработанных пространств карьера. При этом параметры и конфигурация горнотехнической системы позволяют располагать на поверхностях ее конструктивных элементов устройства, обеспечивающие преобразование альтернативных источников энергии в электрическую [13].

Фактически сегодня в мире сформировался рынок альтернативной энергетики, при этом возобновляемые источники энергии обеспечивают до 30% объема мирового потребления электроэнергии [8, 20, 34, 91, 101].

Основными источниками альтернативной энергетики, используемыми в промышленных масштабах, является солнце, движущиеся водные и воздушные массы.

Солнечная энергетика в качестве возобновляемого источника предусматривает технические решения, направленные на использование непосредственно света и теплового излучения. В связи с этим все устройства по преобразованию солнечной радиации в электрическую энергию условно разделены на две группы, реализующие фотоэлектрические и термальные принципы, на основе которых построены системы прямого преобразования и ступенчатого:

– Прямое преобразование солнечной радиации обеспечивается солнечными фотоэлектрическими системами, построенными на основе фотоэлектрических панелей, состоящих из полупроводниковых материалов, обеспечивающих преобладание световой энергии в электрическую.

– Ступенчатое преобразование солнечной радиации предусматривается в солнечных термальных системах, где используется тепловая энергия солнца для нагрева воды или иных рабочих жидкостей, которые, в свою очередь, обеспечивают привод парогенераторов для выработки электроэнергии.

Принципиальная схема солнечной фотоэлектрической станции представлена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Принципиальная схема солнечной фотоэлектрической станции

Принцип любой солнечной фотоэлектрической электростанции заключается в использовании энергии фотонов для получения дрейфового тока, протекающего в цепи с использованием обратного смещения р-п-переходного диода (комбинация кремния р-типа и n-типа), как правило, реализованного на основе кремниевого полупроводника [7, 43]. При этом сама станция состоит непосредственно из солнечных панелей, преобразователя напряжения – инвертора, накопителя энергии – аккумулятора и контрольно-измерительной аппаратуры. Полученный на солнечных панелях постоянный ток через контрольно-измерительную аппаратуру поступает на инвертор, который преобразует его в переменный ток для питания потребителей. В связи с непостоянством солнечной энергии в течение суток колебание вырабатываемой электрической энергии компенсируется аккумулятором, который также обеспечивает бесперебойную подачу энергии в ночное время и пасмурную погоду. Контрольно-измерительная аппаратура обеспечивает в автоматическом режиме балансирование и переключение потребителей между внешней и автономной сетью, а также заряд аккумулятора при недопущении его перезаряда. При этом в качестве аккумуляторов используются устройства, основанные на электрохимической реакции металлов и электролитов.

Основой солнечной фотоэлектрической станции являются солнечные панели на основе модулей, которые соединяются друг с другом в последовательные и параллельные цепи, в совокупности работающие как единый источник тока. Существует несколько разновидностей по типам и размерам солнечных панелей. Наиболее широко применяемые — это кремниевые фотоэлектрические модули из 60 или 72 целых элементов или из 120 или 144 половинных элементов, имеющих мощность от 250 до почти 700 Вт. Совершенствование солнечных панелей ведется постоянно, помимо улучшения характеристик изменению подвергаются и габаритные размеры пластин. При этом размеры солнечных элементов стандартизированы, количество элементов в панелях тоже. В начале второго десятилетия XXI века солнечные элементы размером менее 166 мм практически не производятся. Современные солнечные модули делаются из элементов размером 182 и 210 мм. Динамика изменения размеров солнечных модулей и панелей представлена на рисунке 1.7.

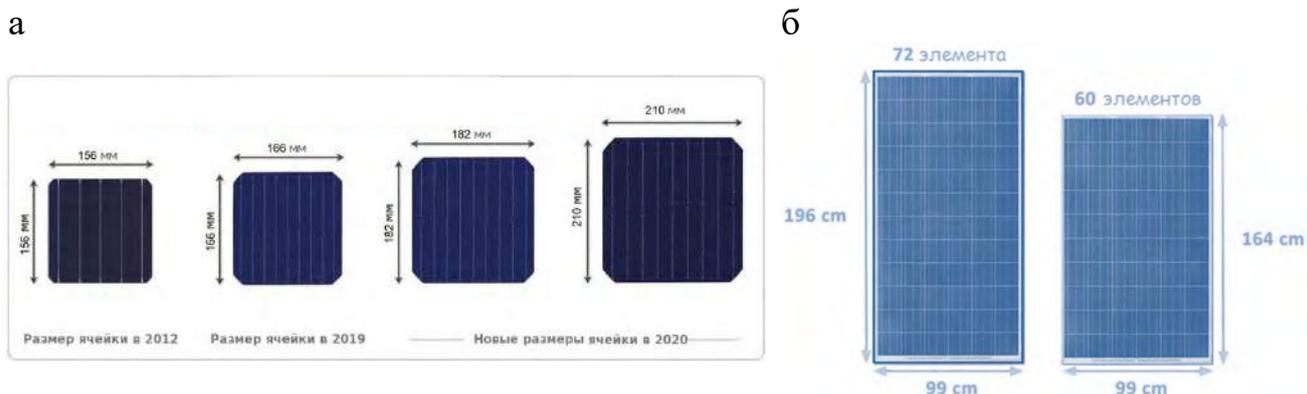


Рисунок 1.7 – Динамика изменения размеров солнечных модулей и панелей

Реальный КПД представленных на рынке солнечных батарей находится в диапазоне 17 до 23%. При этом отдельные экземпляры обеспечивают КПД до 24%. Перспективной задачей производителей солнечных панелей является доведение их КПД до 30%.

Следует отметить, что солнечные батареи на базе кремния как альтернативный источник электрической энергии проверены временем, они отличаются надежностью и безопасностью, компактностью и доступностью. Нормативный срок их эксплуатации составляет 20-30 лет и более. Однако кремниевые фотоэлектрические элементы со временем деградируют, что выражается в снижении на 10% от первоначального номинала за каждые 10 лет активной эксплуатации, получаемой при полном освещении мощности. По этой причине при проектировании солнечных фотоэлектростанций установленная мощность системы определяется запасом по току. Панели, выполненные из тонкопленочных элементов, в первые же годы имеют скорость деградации многократно выше, чем у монокристаллических и поликристаллических кремниевых элементов. Кроме того, при нормальной эксплуатации монокристаллические и поликристаллические солнечные панели не требуют замены элементов или специального обслуживания. Они просты в установке, не содержат движущихся частей, при этом поверхность, обращенная к солнцу всегда имеет защитное механически прочное покрытие, а темный цвет и способность поглощать инфракрасное излучение позволяют реализовывать частичное самоочищение от снега и измороси при эксплуатации в условиях отрицательных температур.

С целью обеспечения мобильности реализованы решения использовать

автономные гибридные электростанции, которые, помимо фотоэлектрических солнечных панелей, оснащены системами накопления энергии для обеспечения бесперебойного энергоснабжения объекта, а их работа синхронизирована с дизель-генераторной установкой. На практике данные решения применяются при необходимости обеспечения электроэнергией временные объекты, которые находятся на значительном удалении от основных источников электроэнергии, а также как аварийно-резервный источник энергоснабжения (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 - Мобильные автономно-гибридные энергоустановки

Автономные гибридные электростанции часто применяются добывающей и нефтегазовой промышленностью. В частности, на изолированной территории крупной золотодобывающей компании в Хабаровском крае установлена станция мощностью 1 МВт, при этом энергоснабжение объекта обеспечивается мощной дизель-генераторной установкой.

Использование тепловой энергии солнца на территории Российской Федерации нашло значительно меньшее распространение. В первую очередь это связано с низкой плотностью населения и отсутствием засушливых территорий, требующих электроснабжения. Однако в мире широко используются установки, обеспечивающие тепловую энергию солнца, которые делятся на два типа: высоко- и низкотемпературные коллекторы. Принцип действия таких солнечных электростанций заключается либо в нагреве непосредственно коллектора и передачи теплоносителем тепла в необходимую область, либо в фокусировании посредством линз и зеркал солнечного света для нагрева рабочей среды коллектора до 300°C и создания давления до 2 МПа, которое используется для выработки электроэнергии на генераторе [26, 104, 105, 108, 129].

Отдельным техническим решением по использованию солнечного тепла в качестве природной возобновляемой энергии являются соленые соляные пруды. Солнечный соляной пруд по своей сути представляет собой бассейн глубиной 2–4 м с крутым рассолом в нижней его части. В качестве рассола используется насыщенный раствор, состоящий из 95% хлорида магния и 5% хлорида кальция. Для сокращения тепловых потерь через грунт предусматривается теплоизоляция дна и стенок бассейна [5, 36].

Соляной пруд является солнечным коллектором, то есть тепловой ловушкой. В пруду часть солнечного излучения инфракрасного спектра полностью поглощается верхним слоем пресной воды, коротковолнового поглощается более низкими слоями воды, а непоглощенная часть излучения, прошедшего сквозь воду, темным дном. Энергия, отраженная от дна, частично поглотится водой на обратном пути. В обычном бассейне теплая и холодная вода перемешиваются благодаря естественной конвекции. Теплая вода имеет меньшую плотность, и она поднимается к поверхности. Насыщенный соляной раствор имеет плотность около $1,5 \text{ т/м}^3$ и поэтому при нагревании не поднимается вверх. Энергия солнечного излучения, которая проходит через толщу раствора, практически полностью задерживается в нижнем слое пруда, что приводит к резкому повышению температуры соляного раствора, которая может достигать 100°C . В отличие от обычных солнечных коллекторов, в которых роль тепловой ловушки играют имеющие незначительный объем колбы, объем и теплоемкость соляного пруда ограничены только его размером. Это позволяет применять соляной пруд в качестве аккумулятора тепловой энергии при коэффициенте использования установленной мощности около 0,73. Электрическая мощность соляного пруда составляет около 8 Вт/м^2 . В то же время с учетом площади водохранилища Красноярской ГЭС снимаемая мощность с 1 м^2 составляет 3 Вт при коэффициенте использования установленной мощности 0,38. В районе Мертвого моря в Израиле удалось снять 20 Вт с 1 м^2 соляного озера [86]. В связи с огромным потенциалом солнечной тепловой энергетики и развитием материаловедения и машиностроения в последнее десятилетие разрабатываются и выпускаются специальные низкотемпературные турбины [51].

Использование тепловой солнечной энергии в горнодобывающей отрасли практически не представлено в практике по причине сложности конструкции системы, требующей фактически создание отдельного хозяйствующего субъекта, а также значительных затрат на обеспечение исключения тепловых потерь в каждом узле такой станции. В связи с чем наиболее востребованными сегодня являются установки прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

В отличие от солнечной радиации, все промышленные устройства, обеспечивающие использование энергии ветра, функционируют по единому принципу: установка на пути потока лопастей, которые приводят в движение либо ротор, либо часть конструкции, заставляя ее колебаться, что обеспечивает выработку электроэнергии [25, 37, 62, 107].

Энергия ветра – это энергия, получаемая из движения воздушных масс ветром. Ветрогенераторы, или ветротурбины, используются для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию и затем в электрическую энергию. Основным компонентом ветрогенератора является ротор, который состоит из лопастей и вращается под воздействием ветра. Лопасти имеют аэродинамическую форму, которая позволяет им извлекать максимальную энергию из движущегося воздуха. При вращении ротора генератор преобразует механическую энергию в электрическую.

Оптимальным местом для установки ветрогенераторов являются открытые равнины или ветроуспокаивающие районы, где воздушные потоки наиболее постоянные и сильные. Скорость ветра определяет количество энергии, которая может быть преобразована в электрическую. При монтаже ветрогенераторов учитывается их размещение относительно друг друга с целью исключения влияния взаимного затенения. Ветроэлектростанция предусматривает установку нескольких ветрогенераторов, собранных в одном или нескольких местах и объединенных в единую сеть [115, 119].

Принцип действия ветроэлектростанции основан на использовании ветровой энергии для преобразования ее в электрическую. Она состоит из нескольких основных компонентов: ветрогенераторов, роторов, генераторов и системы управления.

1. Ветрогенераторы представляют собой конструкции, состоящие из основания (вышки) и ротора с лопастями. Лопасти создают подъемную силу при воздействии на них потоков ветра. Принципиальная схема работы ветрогенератора роторного типа представлена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Принципиальная схема работы ветрогенератора роторного типа

2. Набегающие на лопасти воздушные потоки вызывают вращение ротора вокруг вертикальной или горизонтальной оси. При этом кинетическая энергия ветра превращается в механическую энергию вращения.

3. Энергия, полученная от вращающихся роторов, передается генератору, который преобразует механическую энергию вращения ветрогенераторов в электрическую энергию.

4. Полученная электрическая энергия отправляется в систему передачи и распределения электрической энергии.

5. Система управления обеспечивает контроль работы ветроэлектростанции и всех компонентов системы и осуществляет регулировку вращения роторов и генерации электричества, оптимизируя их производительность в зависимости от скорости и направления ветра, а также обеспечивает остановку для предотвращения аварийной ситуации.

Принципиальная схема работы ветроэлектростанции аналогична солнечной электростанции, в связи с чем не редко они монтируются и эксплуатируются

ся совместно. Крупные ветровые станции включают в себя от 10 до 100 ветряков, но также имеются примеры установки 1000 ветрогенераторов.

Основной проблемой ветроэлектростанций является нестабильность ветра. Исходя из конструктивных особенностей ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения минимальная скорость ветра составляет 4-5 м/с при мощности более 200 кВт и 2-3 м/с при мощности менее 100 кВт.

Ранее, до открытия сибирских нефтегазовых месторождений в СССР активно разрабатывали план по внедрению альтернативных источников энергии.

Производителем ветроустановок в то время был Государственный авиационный центр – Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), созданный в 1918 году. В 1925 году были созданы отечественные ветроустановки с мощностью до 30 кВт, а одна из конструкций уже имела гидравлический аккумулятор энергии — маховик-накопитель. При переизбытке энергии ветряк поднимал воду до высоты мачты, а когда ветер снижался – сливал воду обратно.

Использовали эти ветроагрегаты в самых далеких уголках Советского Союза. Но уже в 1931 году под Балаклавой был построен самый мощный ветрогенератор мощностью около 100 кВт. Размах лопастей составлял практически 30 м, а общий вес конструкции составлял 9 т.

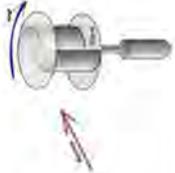
Существует несколько видов ветряков для выработки электричества:

1. Ветряные турбины с горизонтальной осью. Это наиболее распространенный тип ветряков. Они имеют горизонтальную ось вращения и состоят из больших лопастей, установленных на высокой башне. Ветер, поступающий в них, вызывает вращение лопастей, что приводит к генерации электричества с помощью генератора.

2. Ветряные турбины с вертикальной осью. Ветряные турбины с вертикальной осью также известны как даррилические ветряки. Они имеют ось вращения, направленную вертикально, и выглядят как большие столбы с лопастями, установленными вокруг него, и могут быть установлены на низкой высоте и более компактны, но их использование ограничено из-за низкой эффективности и сложности технической реализации.

Систематизация ветрогенераторов представлена в таблице 1.2 [25, 50, 62, 130].

Таблица 1.2 – Систематизация применяемых типов ветрогенераторов

Тип ветрогенератора	Описание и вид конструкции		Преимущества	Недостатки
Вертикальный – турбина расположена вертикально по отношению к плоскости земли, что исключает необходимость настраивать ее на направление ветра, при этом низкая частота вращения не обеспечивает высокого КПД.	Генераторы с ротором Сауониса Состоят из двух цилиндров. Постоянное осевое вращение и поток ветра не находятся в зависимости друг от друга. Даже при резких порывах он крутится с заданной изначально скоростью.		Отсутствуют ограничения по скорости ветра	Конструкция лопастей в виде цилиндров обеспечивает только 25% полезной площади, что обеспечивает даже при максимальной скорости ветра преобразовать не более 30% энергии ветра
направление ветра, при этом низкая частота вращения не обеспечивает высокого КПД.	Генераторы с ротором Дарье Имеют две или три лопасти. Увеличение мощности достигается увеличением числа лопастей		Конструкция простая и надежная. Простота монтажа	Начинает работать только при принудительном запуске. Не высокая мощность работы. Сильная вибрация при большом количестве лопастей
	Геликопдный ротор Подшипники не подвержены быстрому износу, что значительно продляет срок эксплуатации.		Равномерное вращение ветрогенератора благодаря закрученным лопастям. Низкая нагрузка на подшипники, продолжительный срок эксплуатации	Сложная технология изготовления и монтажа. Высокая стоимость конструкции
	Ортогональный ротор		Эффективная работа при скорости ветра от 0,7 м/сек. Низкий уровень шума. Продолжительный срок службы	Громоздкая конструктивная и сложные монтажные работы
	Многолопастный ротор Вертикально – осевая конструкция с большим количеством лопастей.		Высокая чувствительность даже при низкой скорости ветра. Высокий КПД и эффективность	Высокая стоимость. Высокий звуковой фон
Горизонтальный – ось ротора вращается параллельно земной поверхности. Имеет большую мощность преобразования энергии ветра.	Лопастные Разные модификации горизонтальных установок имеют от одной до трех лопастей и более.		Высокий КПД. Широкий диапазон крутящего момента, определяемый количеством лопастей, которых может быть 50.	Необходимость ориентировать ось ротора по направлению ветра. Наличие массивной мачты и большая масса

В последние годы активно ведется разработка турбокомпрессорных ветрогенераторов, которые объединяют принципы работы ветряных турбин и компрессоров. Они используются для одновременной генерации электричества и производства сжатого воздуха. Воздух сжимается при помощи вращающихся лопастей и подается на генератор для производства электричества. Однако данные решения носят экспериментальный и опытно-промышленный характер и их появление на рынке ожидается не раньше конца текущего десятилетия.

В отличие от солнечной и ветровой энергии, установки для преобразования которых в большинстве случаев могут быть установлены совместно без существенных дополнительных подготовительных работ, гидроэнергетика является обособленным техническим решением, эффективно реализующим потенциал возобновляемых источников энергии. Гидроэнергия — это вид возобновляемой энергии, получаемой при движении и использовании воды. Это один из старейших и наиболее распространенных из применяемых человечеством источников энергии на планете [52, 61, 99].

Принцип работы гидроэнергетических установок основан на преобразовании энергии потока воды в механическую энергию, а затем в электрическую энергию. Различают два основных типа гидроэнергетических установок:

1. Гидроэлектростанция с накопительным водохранилищем, которое создается для накапливания воды во время избытка энергии и расходуется в периоды повышенного спроса. При помощи гравитации вода спускается из резервуара через турбины, что приводит к преобразованию кинетической энергии воды при ее падении на лопасти турбины, приводя во вращение вал с присоединенным к нему генератором.

2. Гидроэлектростанция без накопительного водохранилища. Это тип станций использует потоки рек или приливные движения для вращения турбин и выработки электроэнергии.

Независимо от типа гидроэнергетических установок у них единый принцип работы: напор воды направлен на лопасти гидротурбины, заставляя вращаться ее вал, соединенный с генератором. Генератор вырабатывает электроэнергию, которая подается на трансформаторную станцию и далее на линии электропередач (рисунок 1.10).

а



б



Рисунок 1.10 – Схема работы гидроэлектростанции:

а – гидрогенератор; б – принцип работы гидроэлектростанции

Гидроэлектростанции по вырабатываемой мощности классифицируются на:

- мощные – вырабатывают от 25 МВт и выше;
- средние – до 25 МВт;
- малые гидроэлектростанции – до 5 МВт.

Мощность гидроэлектростанции зависит от напора и расхода воды, а также от КПД используемых турбин и генераторов. В связи с сезонностью и различным количеством осадков уровень воды постоянно меняется, мощности гидроэлектрической станции постоянно изменяются, в связи с чем различают годичный, месячный, недельный или суточный циклы ее работы.

Гидроэлектростанции также делятся в зависимости от максимального использования напора воды на:

- высоконапорные – более 60 м;
- средненапорные – от 25 м;
- низконапорные – от 3 до 25 м.

Самые распространенные плотинные гидроэлектростанции имеют в основе плотину, которая перегораживает русло. За плотиной вода поднимается, накапливается, создавая водяной столб, за счет этого давление и напор воды повышаются, обеспечивая повышение мощности станции. Самая высокая плотина в мире достигает высоту 305 м, находится она на Цзиньпинской ГЭС мощность 3,6 ГВт, на реке Ялунцзян, в западной части Сычуань, на Юго-Западе Китая [15, 21, 27].

Вне зависимости от вида осваиваемого альтернативного источника энер-

гии их основной проблемой является непостоянство и значительный диапазон колебания так называемой первичной энергии: солнца, ветра и водных масс. Наиболее распространенными инженерными решениями, обеспечивающими компенсацию таких колебаний, является аккумуляторы, функционирующие на различных физико-химических принципах. При этом надежными и объемными по запасу энергии являются гидроаккумуляторы, применение которых возможно во всех рассмотренных случаях использования возобновляемых источников энергии. Так, в Соединенных Штатах Америки имеется положительный опыт ведения горных работ с использованием пород вскрыши для строительства ограждающих дамб гидроаккумулятора электростанции Таум Саук (Taum Sauk) в штате Миссури. Целью использования техногенного пространства является воспроизводство возобновляемой энергии на основе разности геодезических отметок начала и конца перемещения масс воды (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Гидроаккумулялирующая электростанция Таум Саук

Анализируя опыт применения и широкое внедрение устройств по преобразованию возобновляемых источников энергии в электрическую, возможно сделать вывод, что горнотехническая система может рассматриваться как объект целенаправленной подготовки техногенного ландшафта и емкостей для реализации потенциала природной и техногенной возобновляемой энергии. При этом конфигурация горнотехнических сооружений может способствовать повышению концентрации солнечной и ветровой энергии в целенаправленно созданные техногенные емкости для накопления и регулируемого расхода водных масс с заданной разностью геодезических отметок, позволит реализовать потенциал техногенной возобновляемой энергии.

Таким образом, рассматривая горнотехническую систему с внешними от-

валами и выработанным пространством карьера при выборе мест для установки устройств, обеспечивающих преобразование солнечной и ветровой энергии, она является практически очевидной и аналогичной базой тех решений, которые применяются в условиях их монтажа в естественном ландшафте. Так, солнечные панели не должны размещаться на южном борте карьера и северных откосах отвалов, при этом ветрогенераторы возможно размещать на любой горизонтальной поверхности в пределах земельного отвода. Но с учетом того, что техногенный ландшафт подвергается трансформации в процессе освоения балансовых запасов, необходимы исследования, направленные на обоснование рациональных параметров горнотехнической системы с использованием природной и техногенной возобновляемой энергии. В связи с этим отдельно требуется изучить отечественный опыт целенаправленного формирования и использования техногенных георесурсов и ландшафтов при ведении открытых горных работ, в том числе не связанный с добычей полезных ископаемых.

1.3 Опыт целенаправленного формирования и использования техногенных георесурсов и ландшафтов при ведении открытых горных работ

Горнодобывающие предприятия с целью повышения эффективности функционирования, помимо решения вопросов качества добываемого сырья, постоянно находятся в поисках технических и технологических решений по снижению себестоимости ведения горных работ, затрат на восстановление нарушенных земель и экологической нагрузки на окружающую среду. При этом объемы перерабатываемого вещества литосферы и масштабы преобразования осваиваемого участка недр в ходе разработки балансовых запасов крупных современных месторождений исчисляются миллиардами тонн горной массы и тысячами гектар отчуждаемых земель.

В последние два десятилетия в отечественной практике успешно реализуются подходы и решения, направленные на снижение себестоимости ведения горных работ и размещения в техногенные емкости вскрышных пород, хвостов обогащения и продуктов переработки минерального сырья. При этом первоначальные решения базировались на ранее отработанных карьерах. Примерами

могут служить карьер «Объединенный», на котором добывались медно-цинковые руды и на борт карьера железнодорожным транспортом подавались породы вскрыши, которые сбрасывались на глубину 180 м [35]. Аналогичный опыт реализован на Алексеевском карьере ОГОКа [38].

Одним из ярких примеров проведения работ по рекультивации выработанного пространства карьера путем его засыпки является карьер огнеупорных глин Болото Большой Падун. Разработанные мероприятия предусматривали исключение воздействия антропогенных факторов и включали в себя восстановление утраченных почвозащитных и водорегулирующих свойств древесно-кустарниковой растительности, а также улучшение рельефа местности [41].

Имеются примеры, когда кроме пород вскрыши при восстановлении рельефа использовались шлаки металлургического производства. При этом достигалась совокупность эффектов экологического и экономического характера как для горного предприятия, так и металлургического. В частности, на этапе проектирования мероприятий по рекультивации Центрального известнякового карьера Аккермановского месторождения флюсовых известняков, расположенного в Гайском районе Оренбургской области, с целью исключения загрязнения подземных вод, была предусмотрена изоляция дна и откосы карьера слоем глины мощностью не менее 1 м. Поверх отсыпанных шлаков накатывался глиняный экран мощностью не менее 0,5 м, при этом снижение пыления шлаков обеспечивалось совещанием работ по опережающей отсыпке и формированию экрана из глины [113].

Целенаправленное формирование техногенного ландшафта на базе выработанного пространства карьера с использованием металлургических шлаков осуществлено на легендарном железорудном карьере «Западный», расположенном на горе Магнитной в городе Магнитогорске Челябинской области. На карьере добыча руды велась в период с 1929 по 1984 годы. В связи с тем, что данный карьер находится непосредственно в границах города и в непосредственной близости находятся площадки для накопления металлургических шлаков, руководством ПАО «ММК» было принято решение рекультивировать карьер с использованием доменных шлаков (рисунок 1.12).



(состояние на 01.10.2010 г.)



(состояние на 01.06.2018 г.)



(состояние на 01.05.2024 г.)

Рисунок 1.12 – Этапы рекультивации карьера «Западный» ПАО «ММК»

Работы по рекультивации карьера «Западный» начались в 2010 году и ведутся по настоящее время. После их завершения на территории ПАО «ММК» будет сформирован техногенный ландшафт с горизонтальной площадкой размером около 260 га. Данная практика оказалась весьма эффективной, в связи с чем в настоящее время на ПАО «ММК» параллельно ведутся аналогичные работы по рекультивации выработанного пространства карьера «Восточный» с использованием продуктов переработки металлургических шлаков (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Рекультивация карьера «Восточный»

ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», являясь производством полного цикла, включающим структурное подразделение, обеспечивающее добычу твердых полезных ископаемых, на сегодняшний день является лидером в Российской Федерации по управлению отходами производства и целенаправленному формированию техногенного ландшафта. В частности, опыт рекультивации карьеров «Западный» и «Восточный» горы Магнитной позволили принять решение об использовании металлургического шлака для строительства уникального на континенте техногенного объекта – Парк «Притяжение». Местом для строительства выбран участок в спальном районе города, на котором ранее частично находилось теплично-садовое хозяйство. Общая площадь парка составляет 400 га, включает зону детского и активного отдыха, фонтан, насыпной видовой холм высотой 36 м, всесезонную горнолыжную и тюбинговую трассу протяженностью 310 и 380 м, детскую водную площадку 4000 м²,

искусственное озеро площадью 12 га и глубиной 6 м (рисунок 1.14). Начало работ датируются 2022 годом и в настоящее время запущено две очереди, окончание работ планируется в 2025 году.



Рисунок 1.14 – Парк «Притяжение» как пример формирования техногенного ландшафта

Данный пример ярко иллюстрирует возможность и целесообразность формирования техногенного ландшафта не только с целью восстановления нарушенных земель, но и для реализации поставленных задач, к которым в том числе может относиться подготовка участка для преобразования природной возобновляемой энергии, компенсирование нестабильности которой обеспечивается созданием и использованием техногенных емкостей.

Следует отметить пример целенаправленного создания техногенной емкости для размещения отходов обогащения руд сгруппированных маломасштабных месторождений на базе карьера Юлалы, расположенного в Баймакском районе Республики Башкортостан, входящего в группу Восточно-Семеновского месторождения. На этапе проектирования данного карьера предусмотрено складирование пород вскрыши по периметру его борта с целью повышения приемной емкости в 2,8 раза для последующего складирования хвостов обогащения.

Следует отметить, что с 01 сентября 2023 года, согласно Закону «О недрах», все технические решения, направленные на использование пород

вскрыши для нужд недропользователя, в том числе формирования техногенных емкостей, являются приоритетным направлением по повышению полноты освоения недр [2]. Кроме того, данные решения обеспечивают выполнение требований Постановления правительства в части проведения рекультивации и консервации земель [68].

Таким образом, на основе анализа опыта ведения горных работ с целенаправленным использованием выработанного пространства карьера и формируемых техногенных ландшафтов как в период добычных работ, так и при рекультивации земель, нарушенных горными работами, можно сделать вывод, что горнодобывающие предприятия имеют возможность возведения горнотехнических сооружений любой сложности. Единственным ограничением в объеме рассматриваемых работ по созданию техногенных емкостей и ландшафта является экономическая целесообразность. С учетом ретроспективы изменения подхода недропользователей к проектированию горнотехнической системы, ее функционированию и последующей рекультивации нарушенных земель следует отметить смещение акцентов с максимального переноса сроков начала работ по восстановлению земель, на возможность их совмещения с добычей твердых полезных ископаемых. При этом уже сегодня экономическая целесообразность обеспечивается не только сокращением дальности транспортирования пород вскрыши путем обеспечения внутреннего отвалообразования, но и целенаправленного формирования техногенных емкостей преимущественно для размещения хвостов обогащения полезных ископаемых. Однако реализация подхода проектирования и формирования горнотехнической системы наряду с освоением балансовых запасов для использования природной и техногенной возобновляемой энергии требует развитие методик и рекомендаций по обоснованию параметров открытой геотехнологии. В связи с этим необходима проработка состояния научно-методической базы определения параметров горнотехнической системы при совмещении работ по добыче полезных ископаемых и формированию техногенных георесурсов, в частности техногенных емкостей как потенциальных горнотехнических сооружений, выполняющих функцию накопителя и балансира, в том числе техногенной возобновляемой энергии.

1.4 Анализ состояния научно-методической базы определения параметров горнотехнической системы при совмещении работ по добыче полезных ископаемых и формированию техногенных георесурсов

В современном понимании горнотехническая система – это совокупность горных конструкций, оборудования, технологических процессов горного производства во взаимодействии с вмещающими их участками недр [16]. Согласно данному определению, на этапе проектирования открытой геотехнологии руководствуются научно-методической базой, предусматривающей исключительно определение параметров элементов и конструкции горнотехнической системы, подбор горнотехнического оборудования и обоснование систем разработки месторождений. При этом в последние годы появляются научные исследования, направленные на расширение области открытых горных работ, в том числе при формировании техногенных георесурсов.

Исследования в области определения параметров открытой геотехнологии, повышения эффективности при разработке месторождений полезных ископаемых, формирования техногенных емкостей получили отражение в научных трудах ведущих ученых: академиком М.И. Агошкова, Н.В. Мельникова; В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова, В.Л. Яковлева, профессором., д.т.н. А.И. Арсентьева, С.Е. Гавришева, В.А. Галкина, И.А. Пыталева, М.В. Рыльниковой, Г.Г. Саканцева, Г.В. Стась, Г.А. Холоднякова, В.С. Хохрякова и многих других ученых и инженеров, внесших значительный вклад в развитие науки и горного производства.

Однако на сегодняшний день в отечественной практике открытых горных работ обоснование параметров геотехнологии при целенаправленном формировании отвалов и бортов карьера для обеспечения условий и использования природной и техногенной возобновляемой энергии на различных этапах разработки месторождений сдерживается отсутствием исследований влияния параметров горнотехнической системы на изменение показателей плотности энергии солнца и ветра в пределах ее границ, отсутствием проработанной методики обоснования параметров горнотехнической системы, учитывающих одновре-

менное ведение добычных работ, монтаж и эксплуатацию устройств, обеспечивающих использование природной и техногенной возобновляемой энергии, а также физико-механические характеристики и тепловые свойства горных пород для формирования гидро- и теплоаккумулирующих техногенных емкостей, обеспечивающих комплексное освоение участка недр и экологическую безопасность при завершении этапа восстановления нарушенных земель.

Исследование состояния научно-методической базы обоснования параметров открытой геотехнологии при увеличении функционала горнотехнической системы показал, что в мировой и отечественной практике проектирования отсутствует унифицированный метод определения параметров открытых горных работ, обеспечивающих совмещение добычных и рекультивационных работ при целенаправленном формировании техногенных емкостей и ландшафтов. Следует отметить, что выдающимися отечественными учеными в полном объеме сформирована научно-методическая база по обоснованию эффективных способов функционирования горнодобывающих предприятий при комплексном освоении запасов месторождений твердых полезных ископаемых (таблица 1.3)

Таблица 1.3 – Научно-методическая база обоснования параметров открытой геотехнологии [3, 24, 48, 53, 60–62, 64, 66, 73, 111, 102, 132]

Направление	Авторы	Результаты
Основы проектирования горнотехнических систем	Акад. К.Н. Трубецкой, В.В. Ржевский, чл.-корр. Д.Р. Каплунов, В.Л. Яковлев, проф., д.т.н. А.И. Арсентьев, С.В. Корнилков и др.	Методы обоснования параметров открытой геотехнологии, контуров карьера на основе технических и экономических показателей с учетом фактора времени
Повышение полноты, комплексности и эффективности добычи твердых полезных ископаемых	Акад. Н.Н. Мельников, проф., д.т.н. Г.А. Холодняков, В.А. Галкин, С.Е. Гавришев, С.В. Корнилков, Ю.И. Лель, В.С. Хохряков и др., доц., В.С. Федотенко, К.В. Бурмистров	Разработаны технологические и организационные способы интенсификации открытых горных работ, установлены закономерности формирования и развития рабочей зоны
Обоснование геотехнических процессов и оценки устойчивости откосов отвалов и бортов карьера	Проф., д.т.н. Л.Г. Фисенко, В.Г. Зотеев, О.В. Зотеев, А.Б. Макаров, С.И. Попов и др. доц., к.т.н. Т.С. Кравчук	Методики определения коэффициента запаса устойчивости на основе установленных закономерностях возникновения и развития деформационных процессов

Окончание таблицы 1.3

Направление	Авторы	Результаты
Обоснование параметров и эффективности ведения буровзрывных работ	Академик М.А. Садовский, В.В. Ржевский, проф., д.т.н. Ф.А. Баум, О.Е. Власов, А.Ф. Беляев, В.Н. Мосинец, Г.И. Покровский, А.Н. Ханукаев	Разработаны методики определения параметров и качества буровзрывной подготовки с учетом ограничивающих условий по негативным факторам
Основы комплексного освоения участка недр и целенаправленного формирования техногенных георесурсов	Акад. К.Н. Трубецкой, чл.-корр. Д.Р. Каплунов, проф., д.т.н. С.Е. Гавришев, М.В. Рыльникова, В.П. Сафронов, И.А. Пыгалев и др. доц., к.т.н. В.Ю. Заляднов, В.В. Якшина и др.	Разработаны геотехнологические способы максимального вовлечения перерабатываемого объема горной массы, обоснованы перспективные направления создания техногенных георесурсов и методики определения параметров технологических схем их формирования

На сегодняшний день сложилась практика проектирования горнотехнических систем, основанная на соблюдении и выполнении требований нормативных обеспечивающих добычу и переработку твердых полезных ископаемых с учетом минимизации затрат на добычные работы. При этом все работы по рекультивации земель, согласно данному подходу, как правило, относятся на максимально поздний период освоения месторождения. Именно в этом заключается основная проблема низкой эффективности восстановительных работ. С одной стороны, в период, когда горнодобывающее предприятие имеет парк горнотранспортного оборудования, ресурсы для ведения добычных работ, а главное стабильно получает прибыль выполнение рекультивационных работ не предусмотрено техническим проектом на разработку месторождения. С другой стороны, при наступлении стадии ликвидации и проведения рекультивационных работ финансовое состояние горного предприятия не способно реализовать эффективные решения по восстановлению земель, тем более обеспечить повышение качества изъятых земель в сравнении с первоначальным их состоянием. При данном подходе в проигрышной ситуации оказываются все субъекты, связанные с осваиваемым участком недр: недропользователь, государство и общество, несмотря на стимулирование контрольными и надзорными органами в последние годы повышение полноты и комплексности освоения месторождения. Данная ситуация происходит вследствие того, что технические решения по добыче полезных ископаемых и рекультивации разнесены во времени, кроме того

их, как правило, разрабатывают различные проектные организации при отсутствии единого технического задания.

В результате анализа научно-методической базы проектирования горнотехнической системы выявлено, что ее становление и развитие характеризуется тремя условными стадиями:

- стадия первая – сравнение граничного коэффициента вскрыши с контурным, текущим, средним и другими коэффициентами вскрыши;

- стадия вторая – становление подходов и методов оценки экономической эффективности горнодобывающих предприятий и полноты освоения балансовых запасов с учетом организации горных работ, извлечения попутных полезных ископаемых и компонентов, а также фактора времени;

- стадия третья – комплексное определение параметров горнотехнической системы с учетом каждого его объекта и элемента, исходя их уникальных особенностей и задач разрабатываемого месторождения при обеспечении целенаправленного формирования техногенных георесурсов в процессе ведения горных работ.

На этапе проектирования и принятия инвестиционных решений в области добычи твердых полезных ископаемых при обосновании параметров горнотехнической системы основными применяемыми показателями являются чистая приведенная стоимость (NPV) и внутренняя норма доходности (IRR) [49, 71, 142]. Все геотехнологические решения по формированию техногенных емкостей и ландшафтов базируются на учете таких основных показателей, как физико-механические характеристики горных пород, при этом дифференцируя их на вскрышные и полезные ископаемые, величину отчуждаемых и доступных для использования земель, затраты на выполнение основных горных работ и их увеличение в связи с дополнительными работами.

Сегодня при обосновании параметров горнотехнической системы обеспечивается баланс между затратами на ведение добычных работ и стоимости добываемых полезных ископаемых с учетом минимальной рентабельности, без учета затрат на мероприятия по ликвидации и рекультивации. Данный подход является базовым и в полной мере позволяет эффективно учитывать внедрение передовых способов повышения эффективности добычи и переработки руд, то

есть решений, связанных непосредственно с полезными ископаемыми. По мере развития и расширения способов повышения эффективности ведения горных работ за счет целенаправленного формирования и использования техногенных георесурсов, в частности техногенных емкостей, стали формироваться основы и методики определения параметров горнотехнической системы при совокупном использовании природных и техногенных георесурсов. В исследованиях [24, 59, 73, 89, 111] отмечается, что любое горнодобывающее предприятия в процессе ведения открытых горных работ производит формирование техногенных георесурсов, однако в зависимости от цели, поставленной на этапе проектирования, они могут иметь определенную ценность, в отдельных случаях величина которой может превышать стоимость добываемого полезного ископаемого. То есть при отсутствии целеполагания в момент проектирования перемещаемая масса вскрышных пород в отвал, так же как и формируемое без определенной цели выработанное пространство карьера, является исключительно затратной статьей, однако их целенаправленное формирование требует дополнительных затрат, но создается объект заданного функционального назначения, использование которого способно обеспечить снижение суммарных затрат на добычу, переработку и рекультивацию. При этом напрямую затрагиваются вопросы формирования техногенного ландшафта путем преобразования природного ландшафта горнотехнической системой, в частности отвалами, карьерами, хвостохранилищами и иными горнотехническими сооружениями.

В работах [29, 75, 110, 109] предложены и обоснованы методики определения конструкционных и технологических параметров горнотехнических сооружений, в том числе и намывных. При этом хвостохранилища являются определяющими с точки зрения формирования техногенного ландшафта. На этапе проектирования хвостохранилищ основной задачей является обеспечить возможность складировать заданный объем хвостов обогащения на минимальной территории с учетом морфометрических параметров рельефа. На подавляющем большинстве отечественных и крупных зарубежных горнодобывающих предприятиях формируются хвостохранилища намывного типа, что объясняется экономической и эксплуатационной эффективностью [22, 77, 87, 125, 130, 139].

В настоящее время остро стоит вопрос получения земельных участков для ведения хозяйственной деятельности горнодобывающих предприятий. До недавнего времени нормативно-правовая база не содержала механизм регулирования получения участков земель, расположенных в пределах земельного отвода. Однако после внесения изменений в Закон «О недрах» [23] ситуация изменилась, все извлекаемое из недр вещество литосферы при ведении горных работ и не являющееся полезным ископаемым, может быть отнесено к отходам недропользования. При этом их складирование необходимо обеспечить в пределах земельного отвода, который, в свою очередь, должен быть включен в горный отвод по причине необходимости ведения горных работ в будущем на данных объектах. В связи с чем перед недропользователем возникает возможность проектирования горнотехнической системы с учетом целенаправленного формирования техногенного ландшафта для реализации создания и реализации потенциала техногенной возобновляемой энергии.

Таким образом, в последние два десятилетия в горной науке существенно пополнилась методологическая и методическая база проектирования открытой геотехнологии, учитывающая не только непосредственную разработку балансовых запасов, но и формирование и использование техногенных георесурсов. При этом по мере развития четко прослеживаются переход от общей идеологии комплексного освоения недр к целенаправленному формированию техногенных георесурсов для реализации конкретной заданной цели, в том числе связанной с размещением хвостов обогащения и продуктов их переработки. Формирование техногенных емкостей в процессе ведения добычных работ в качестве накопителя отходов различного фазового состояния является технологически понятным и реализуемым процессом, при этом обоснование потенциала использования природной и техногенной возобновляемой энергии проработано не в полной мере, что сдерживает повышение эффективности функционирования горно-перерабатывающих предприятий при комплексном освоении участка недр. Разработка технологических способов формирования горнотехнических сооружений в процессе ведения горных работ, обеспечивающих использование природной и техногенной энергии при совмещении рекультивационных работ, является актуальной научно-практической задачей.

1.5 Цель, задачи и методы исследования

В условиях постоянного роста объемов добычи твердых полезных ископаемых при повсеместной тенденции снижения их качества увеличивается потребность в электрической энергии на обогатительном переделе, в том числе и при складировании отвальных хвостов. Кроме того, ежегодно на 3% увеличивается потребность горно-перерабатывающих предприятий в территориях для размещения отвального и хвостового хозяйства, что требует дополнительных затрат на выполнение рекультивационных мероприятий. В последнее десятилетие одним из способов восстановления нарушенных земель является использование поверхности отвалов и хвостохранилищ для установки устройств, обеспечивающих преобразование энергии солнца и ветра в электрическую. Анализ опыта использования современных солнечных панелей и ветрогенераторов, а также площади земель, занятых под открытыми горными работами, показал, что сегодня возможно получение электрической энергии в объемах, достаточных для обеспечения технологических процессов.

Данный подход определяет необходимость поиска технологических решений, направленных на формирование горнотехнической системы с учетом использования природной и техногенной возобновляемой энергии в ходе ведения горных работ.

В результате глубокого анализа научно-методической базы целенаправленное формирование техногенных георесурсов базе отвалов и выработанного пространства карьера в качестве емкостей с использованием пород вскрыши для обеспечения возможности создания техногенного рельефа при формировании и реализации потенциала природной и техногенной возобновляемой энергии, выявлено, что данный вопрос является недостаточно изученным. Поэтому обоснование параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии является весьма актуальной научно-практической задачей, обеспечивающей повышение и комплексность освоения участка недр Земли при ведении открытых горных работ.

В связи с этим **целью работы является:** разработка методики обоснования конструкции и параметров откосов отвала и борта карьера, а также условий, обеспечивающих эффективное использование природной и техногенной возобновляемой энергии в ходе ведения горных работ и после их завершения, для повышения полноты и комплексности освоения участка недр.

Идея работы. Целенаправленное формирование верхних уступов карьера, формы отвалов в плане и угла их откосов с заданными параметрами обеспечивает создание необходимых условий для концентрации солнечной и ветровой энергии в заданных областях горнотехнической системы, эффективное использование которой достигается за счет обоснования безопасных охранных зон применения буровзрывных работ.

Сформулированы основные задачи исследования:

- анализ состояния, опыта и тенденций формирования и использования источников возобновляемой энергии при ведении открытых горных работ;
- систематизация факторов, определяющих условия использования природной возобновляемой энергии при открытом способе добычи;
- разработка способов управления конструкционными параметрами карьеров и отвалов при повышении эффективности использования солнечной и ветровой энергии в пределах формируемой горнотехнической системы;
- разработка алгоритма определения параметров верхних уступов карьера и отвалов вскрыши для концентрирования солнечной и ветровой энергии в заданной области горнотехнической системы;
- разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии при формировании горнотехнической системы с использованием солнечной и ветровой энергии;
- промышленная апробация рекомендаций и технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений. При решении поставленных задач необходимо произвести анализ и научное обобщение положительного опыта освоения запасов месторождений открытым способом с целенаправленным формированием и использованием техногенных георесурсов, возобновляемых природных и техно-

генных источников энергии; математическое, каркасное и имитационное моделирование технологических процессов; симуляции физических процессов при проведении подтверждающих экспериментов в промышленных условиях с использованием инструментальных замеров; технико-экономический анализ.

Выводы по главе 1

1. В результате выполненного анализа опыта использования источников природной энергии при разработке запасов твердых полезных ископаемых и рекультивации земель, нарушенных горными работами, выявлено, что в связи с высокой энергоемкостью горного производства и значительными площадями земельных участков одним из перспективных направлений является установка на них солнечных и ветряных электростанций. При этом все без исключения случаи ввода в эксплуатацию возобновляемых источников энергии на горнодобывающих предприятиях представлены либо на объектах при выполнении мероприятий по их рекультивации, либо на отдельных участках, расположенных в непосредственной близости от месторождения. Опыт целенаправленного формирования техногенных емкостей и ландшафтов для использования природной и техногенной возобновляемой энергии отсутствует в отечественной и мировой практике, при этом имеются примеры реализации части функционала техногенных георесурсов в виде площадок и аккумулирующих емкостей.

2. Рост объемов добычи на фоне постоянного усложнения горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых при неизбежном снижении качества добываемого сырья обуславливает необходимость поиска решений по снижению занимаемых земель и повышению качества их рекультивации при обеспечении минимальных затрат. При этом приоритетным направлением развития страны является увеличение доли альтернативной энергетики, основой для которой может служить осваиваемый участок недр.

3. Современные технические средства по преобразованию солнечной и ветровой энергии имеют существенный парк различных установок, обладающих

коэффициентом полезного действия до 30%. В мировой практике реализованы и проектируются решения, способные обеспечить до 100% объемов электроэнергии, необходимой для бесперебойного функционирования горнодобывающего предприятия. Однако эти решения требуют строительства электростанции альтернативной энергетики рядом с разрабатываемым месторождением.

4. На основе анализа условий эффективного использования солнечной и ветровой энергии выявлено, что в условиях горнотехнической системы солнечные панели не должны быть размещены на южном борте карьера и северных откосах отвалов, при этом ветрогенераторы на любой горизонтальной поверхности в пределах земельного отвода. При этом необходимы исследования, направленные на обоснование рациональных параметров горнотехнической системы с использованием природной и техногенной возобновляемой энергии.

5. Современные горнодобывающие предприятия при должном методическом обеспечении имеют возможность возведения горнотехнических сооружений любой сложности в процессе ведения горных работ, за счет целенаправленного использования выработанного пространства карьера и формируемых техногенных ландшафтов как в период добычных работ, так и при рекультивации земель, нарушенных горными работами.

6. Сегодня для отечественных горнодобывающих предприятий формирование техногенных емкостей в процессе ведения добычных работ в качестве накопителя отходов различного фазового состояния является технологически понятным и реализуемым процессом. При этом обоснование потенциала использования природной и техногенной возобновляемой энергии проработано не в полной мере. Это сдерживает повышение эффективности функционирования горно-перерабатывающих предприятий, полноту и комплексность освоения участка недр Земли при исключении возможности повышения качества рекультивационных мероприятий по восстановлению нарушенных земель.

2 РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ УЧАСТКА НЕДР В ПЕРИОД ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

2.1 Обоснование концепции ведения открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии

Концепция проектирования горнотехнической системы и ведения горных работ при формировании и использовании техногенной возобновляемой энергии в укрупненном плане заключается в том, чтобы на этапе разработки проектных решений по отработке балансовых запасов обоснование параметров открытой геотехнологии должно учитывать возможность целенаправленного концентрирования в определенных зонах карьера и отвалов природной энергии, аккумулярование и использование которой обеспечивается строительством и эксплуатацией объектов техногенной возобновляемой энергии [74, 42, 117].

В работе предлагается концепция ведения открытых горных работ, предусматривающая комплексное освоение участка недр, при котором в процессе добычи осуществляется формирование отвалов и выработанного пространства карьера в виде горнотехнических сооружений, обеспечивающих концентрацию природной энергии и ее аккумулярование с использованием техногенных емкостей в качестве инструмента реализации техногенной возобновляемой энергии (рисунок 2.1).

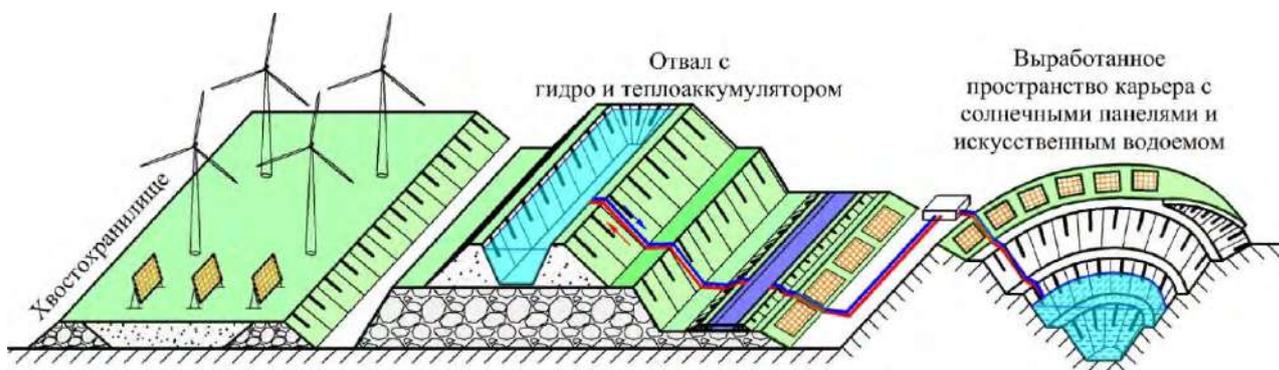


Рисунок 2.1 – Концепция комплексного освоения участка недр при формировании и использовании возобновляемых источников энергии

Реализация концепции базируется на проектировании и эксплуатации горнотехнической системы на основе общепринятого принципа устойчивого развития, целью которого является повышение благосостояния общества при одновременном снижении экологической нагрузки [10, 88, 128, 136, 140]. На практике воплощение концепции заключается в том, чтобы результатом ведения добычных работ являлось не только извлеченные из недр полезные ископаемые и их переработка, но и целенаправленно сформированные горнотехнические сооружения, эксплуатация которых не связана со сроком ведения горных работ и отработкой балансовых запасов. Кроме того, кадастровая стоимость земельных участков после завершения добычных работ не должна быть ниже кадастровой стоимости исходного состояния осваиваемого участка недр.

Таким образом, каждое горнотехническое сооружение следует рассматривать как целенаправленно сформированный объект, реализующий заданную функцию при комплексном освоении участка недр с использованием возобновляемой энергии. В частности, изменение конструкции отвалов вскрышных пород в рамках концепции следует рассматривать как способ управления потоками воздушных масс и концентрирования солнечной энергии в заданных областях горнотехнической системы (рисунок 2.2, а). При этом подготовка площадок для установок преобразования и аккумуляции энергии предусматривает изменение конструкции бортов карьера и откосов отвалов в сторону выполаживания их углов, что обеспечит повышение коэффициента запаса устойчивости отдельных уступов и общей устойчивости массива [65, 83]. Кроме того, создаваемая разность геодезических отметок поверхности отвала и его основания, а также горизонтов выработанного пространства карьеров позволяет обустраивать аккумулярующие емкости и генерирующие мощности при перекачивании определенного объема жидкости и тепла, в том числе в тело отвала (рисунок 2.2, б). В случае создания из пород вскрыши техногенной емкости, которая выполняет функцию соленного солнечного пруда, возможно прямое получение электрической энергии с использованием низкотемпературных ORC-модулей [77, 138]. В качестве аккумулятора тепловой энергии, получаемой от соляного пруда, возможно использо-

вать породы вскрыши, складированные с учетом их теплофизических свойств в специальные отвалы. При этом обеспечивается теплоизоляция поверхности отвала, а в его теле в процессе формирования монтируется система подачи воздуха, который используется в качестве теплоносителя (рисунок 2.2, в).

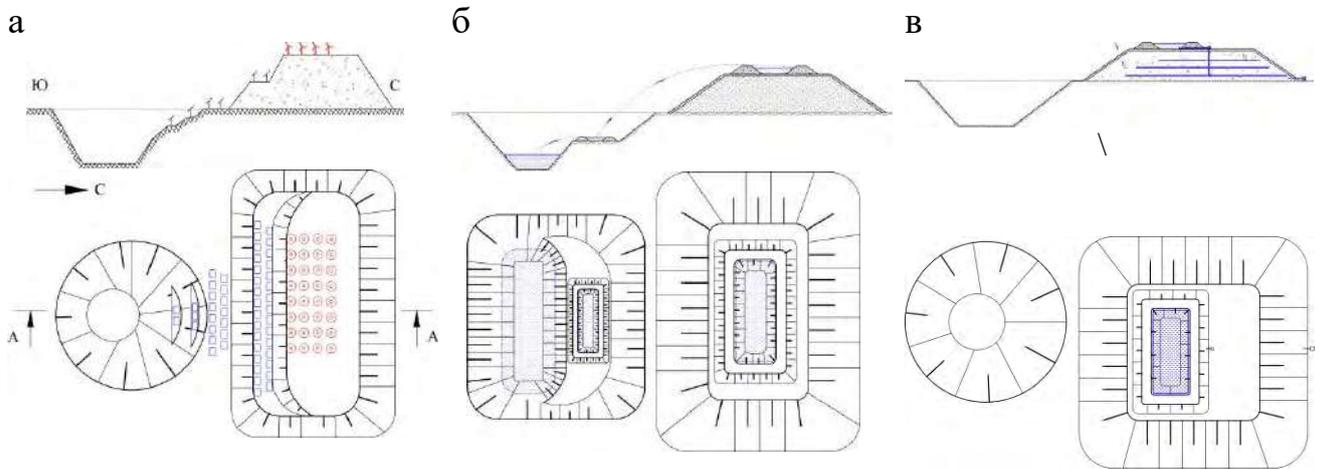


Рисунок 2.2 – Схемы формирования отвалов при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии

С целью определения возможных вариантов формирования отвалов и карьеров при комплексном освоении участка недр и использования техногенной возобновляемой энергии разработана систематизация горнотехнических сооружений для использования природной и техногенной возобновляемой энергии (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Систематизация горнотехнических сооружений, обеспечивающих использование возобновляемой энергии

Тип горнотехнического сооружения	По способу формирования	Вид источника энергии
Генерирующий	Отсыпка на поверхности и в выработанном пространстве карьера горных пород валовым способом	Потоки воздушных масс, солнечное излучение
	Выемка горных пород на заданных участках	Солнечное излучение
Аккумулирующий	Насыпные полнотелые	Потоки воздушных масс, солнечное излучение; техногенный массив из пород вскрыши
	Насыпные обвалованные	Солнечное излучение Техногенный (разность отметок)
Комбинированный	Насыпь из горных пород, дифференцированных по физико-механическим свойствам	Природный (ветер, солнце) Техногенный (массив пород вскрыши, разность отметок)
	Выемка горных пород на определенных участках с заданной конструкцией борта	

В рамках комплексного освоения недр при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии балансовые запасы месторождения следует рассматривать как основополагающее условие начала целенаправленного преобразования участка недр в ходе ведения добычных работ. Реализация концепции открытых горных работ при формировании и использовании природной и техногенной возобновляемой энергии должна базироваться на предварительном и детальном картировании горных пород в пределах карьерного поля по физико-механическим (прочностные и фильтрационные характеристики) и теплотехническим свойствам (теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность). Это позволит на этапе проектирования горнотехнической системы обеспечить учет и распределение необходимых объемов горных пород для формирования горнотехнических сооружений заданного функционального назначения, обеспечивающих генерирование или аккумуляцию энергии. На этапе ведения добычных работ управление объемами горных пород, извлекаемых из недр с учетом выполаживания верхних уступов карьера и укладываемых в необходимом порядке в требуемом количестве, предусматривается путем регулирования режима горных работ при обеспечении не только требуемых объемов вскрытых и подготовленных запасов, но и формируемых техногенных емкостей для использования природной и техногенной возобновляемой энергии.

Обоснование конструктивных параметров горнотехнической системы является определяющим с точки зрения эффективности использования солнечной, тепловой и ветровой энергии. При этом обеспечивается достижение совокупности положительных эффектов для открытой геотехнологии. Так, выполаживание откосов верхних горизонтов северного борта карьера позволяет исключить возникновение и развития деформационных процессов, возникающих на большинстве рудных месторождений, за счет повышения коэффициента запаса устойчивости при одновременном увеличении площади для размещения солнечных панелей. Управление формой отвала в плане, шириной площадок между его ярусами и ориентация поверхности их откосов в совокупности с результирующим углом относительно преобладающего направления ветра обес-

печивает концентрирование ветровой энергии для эффективного размещения ветрогенераторных установок (таблица 2.2). При этом формирование профиля отвала при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии одновременно обеспечивает выполнение технического этапа рекультивации.

Таблица 2.2 – Параметров карьера и отвала способствующих повышению эффективности использования возобновляемой энергии

Горнотехническое сооружение	Параметр	Назначение
Карьер	Угол откоса верхних горизонтов северного борта	Установка солнечных панелей
	Размер площадок и нижних горизонтов	Формирование техногенной емкости для аккумуляирования жидкости и ее перераспределения во времени
Отвал	Форма в плане, местоположение относительно карьера, угол откоса, ширина площадок	Концентрирование ветровых потоков для максимально эффективной установки ветрогенераторов с учетом их типа и количества, а также солнечных панелей
	Высота и конструкция	Основа для создания гидроаккумулирующих и генерирующих емкостей на площадках отвала, а также аккумуляция тепла в его массиве

Таким образом, на момент окончания отработки запасов твердых полезных ископаемых на осваиваемом участке недр будет создана горнотехническая система обеспечивающая непрерывную выработку электрической энергии. Это достигается за счет определения на этапе проектирования параметров генерирующих и аккумулярующих сооружений. Комплексность освоения природных и техногенных георесурсов в рамках предлагаемой концепции достигается обоснованием формы и параметров карьеров и отвалов, обеспечивающих условия использования техногенной возобновляемой энергии с учетом использования природной энергии. Это возможно достичь за счет концентрирования солнечной световой энергии на откосах карьера и отвала, а тепловой энергии – в соленых прудах, располагаемых на площадках отвалов и дневной поверхности, а также ветровой энергии вдоль откосов отвала, на его поверхности в приоткосной части.

Непрерывность генерирования электрической энергии в формируемой горнотехнической системе с учетом непостоянства и нестабильности альтерна-

тивных источников энергии может обеспечиваться за счет целенаправленного создания техногенных емкостей на поверхности отвала и в его основании или непосредственно в карьере. Это обеспечит максимальную разностью геодезических отметок и позволит осуществлять перекачку карьерных вод между ними для управления потенциальной техногенной возобновляемой энергией. Так, в период работы установок по преобразованию энергии солнца и ветра будет осуществляться ее подача потребителям в виде электроэнергии, а также для подъема вод в техногенную емкость, расположенную на отвале, после ее наполнения генерируемая электроэнергия будет в полном объеме использоваться для технологических нужд. В период бездействия установок при отсутствии солнца и ветра, в автоматическом режиме будет осуществляться сброс через турбину воды с верхней емкости в нижнюю. При этом вместимость техногенных емкостей должна обеспечивать запас воды, достаточный для непрерывной выработки электроэнергии с учетом среднегодовой инсоляции и скорости ветра в районе ведения горных работ. Кроме того, при использовании солнечных соляных прудов, тепловая энергия может нагнетательным способом подаваться либо напрямую на низкотемпературные турбины для выработки электроэнергии, либо через целенаправленно сформированный отвал-теплоаккумулятор, в породы которого также может утилизироваться избыточное и остаточное тепло от иных установок тепло- и электрогенерации.

В связи с этим ведение горных работ требует увеличение объемов основных и вспомогательных технологических процессов при этом добыча твердых полезных ископаемых может рассматриваться как основа преобразования осваиваемого участка недр с повышением его эксплуатационных характеристик, что увеличивает число целей горнодобывающего предприятия. В зависимости от интенсивности ввода генерирующих мощностей по мере освоения запасов месторождения предусматриваются параллельный и последовательный способы формирования горнотехнических сооружений:

– последовательный способ: создание генерирующих и аккумулирующих мощностей осуществляется из пород вскрыши, извлекаемых из недр в количестве, необходимом для обеспечения заданного объема готовых к выемке

запасов согласно календарному плану добычных с учетом установленного коэффициента вскрыши;

– параллельный способ формирования объектов горнотехнической системы предусматривает изменение режима горных работ с включением объема вскрыши с заданными физико-механическими и теплотехническими свойствами, необходимого для строительства генерирующего или аккумулирующего сооружения попутно с добычей.

Формирование техногенных емкостей объемом в несколько миллионов кубических метров для аккумуляции карьерных вод с максимальной разностью геодезических высот позволяет сократить затраты горнодобывающего предприятия на электроэнергию путем варьирования объемом ее потребления из внешней сети в течение суток с учетом установленных на нее тарифов. Это достигается за счет наполнения вышерасположенной емкости карьерными водами в период действия низких тарифов и генерации электроэнергии при ее сбросе через турбину в период повышенных тарифов. При этом по мере ввода в эксплуатацию устройства и объекты по аккумуляции, генерации и преобразования природной и техногенной возобновляемой энергии, фактически осуществляется восстановление земель, на которых они расположены, в соответствии со строительным направлением рекультивации.

Таким образом, увеличение затрат на формирование горнотехнической системы, обеспечивающей использование природной и техногенной возобновляемой энергии, компенсируются вводимыми в эксплуатацию мощностями по выработке электроэнергии, а также снижением затрат на рекультивацию нарушенных земель вследствие выполнения ее технического этапа непосредственно в период добычи балансовых запасов. При этом монтаж и эксплуатация солнечных панелей и ветрогенераторов непосредственно на борту карьера и в близости от его верхней бровки требует проработки вопроса обеспечения безопасных параметров буровзрывной подготовки массива горных пород к выемке.

2.2 Обоснование параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке при обеспечении безопасности охраняемых зон с установками использования солнечных панелей и ветрогенераторов

Проектирование и формирование горнотехнической системы, обеспечивающей в процессе ведения горных работ подготовку отдельных участков борта карьера и внешнего отвала для возможности монтажа и эксплуатации устройств, способных преобразовывать солнечное излучение и движение воздушных потоков, должно осуществляться с учетом выполнения календарного плана добычных работ. Эффективность комплексного освоения участка недр при установке на элементах горнотехнической системы солнечной и ветровой электростанций обеспечивается минимальным сроком ввода их в эксплуатацию. При этом выколаживание северного борта карьера требует помимо привлечения дополнительного горнотранспортного оборудования реализацию мероприятия по компенсации снижения производительности карьера по горной массе.

В диссертации с целью одновременного решения трех задач, обеспечивающих низкие сроки ввода в эксплуатацию солнечных панелей на северном борту карьера, безопасность их монтажа и эксплуатации без прекращения горных работ и исключение снижения производительности карьера по полезному ископаемому проведены исследования параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке при обеспечении безопасности охраняемых зон. При этом охраняемыми зонами являются верхние уступы карьера, на которых планируется установить солнечную электростанцию. С точки зрения опасных факторов взрыва для монтируемых солнечных панелей особую опасность представляет разлет кусков горной породы при производстве массовых взрывов вблизи верхних уступов северного борта карьера. Поэтому предложены и обоснованы мероприятия, обеспечивающие снижение трудоемкости классических решений, направленных на снижение зоны разлета кусков, к которым, как правило, относится укрытие непосредственно охраняемого объекта, а также укрытия места взрыва [9, 19, 58, 90].

С целью определения минимального расстояния от верхних уступов северного борта карьера с установленными солнечными панелями, на котором возможно вести горные работы с применением буровзрывных работ с учетом разности от-

меток горизонтов, разработана методика расчета минимального безопасного расстояния ведения БВР по разлету кусков. Принципиальная схема к расчету минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями представлена на рисунке 2.3.

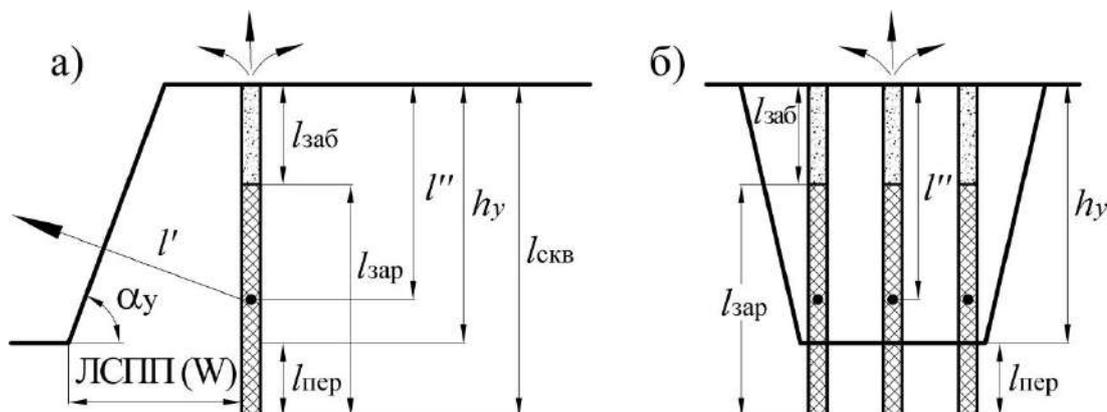


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема к расчету минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями при:

а – уступной отбойке; б – проходка траншеи;

l' – расстояние от центра заряда до откоса уступа; l'' – расстояние от центра заряда до устья скважины; ЛСПП (W) – наименьшая линия сопротивления по подошве; $l_{заб}$ – длина забойки; $l_{зар}$ – длина заряда; $l_{пер}$ – длина перебура;

$l_{скв}$ – длина скважины

Расчет минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями по разлету кусков базируется на минимальном разрешенном расстоянии [97] при ведении массовых взрывов в 200м. Согласно схеме рисунка 2.3, наиболее вероятное направление прорыва продуктов детонации и, как следствие, разлета осколков горных пород при взрыве возможно описать двумя условиями:

– в сторону устья скважины

$$r' > \left(\frac{r_{заб}}{2} + r_{заб} \right) = r_{заб} = r'' \rightarrow (r' > r'') = r_{заб}; \quad (2.1)$$

– в грудь забоя

$$\left(\frac{r_{заб}}{2} + r_{заб} \right) > r' = r_{заб} \rightarrow r' = r_{заб} < r''. \quad (2.2)$$

В соответствии с описанными формулами (2.1) и (2.2) условиями прорыва продуктов детонации, а также минимальными требованиями по разлету кусков в 200 м в работе определена первоначальная скорость полета куска для наиболее распространенных параметров БВР на месторождения Южного Урала:

- Высота уступа $h_y = 10$ м.
- Глубина вертикальных скважин $L_c = 11,5–12$ м.
- Диаметр скважин $d_c = 0,165–0,220$ м.
- Перебур $l_{п} = 1,5–2,0$ м.
- Сетка скважин $a \times b = 5 \times 5$ и $6,0 \times 6,0$ м.
- Угол откоса уступа $\alpha_y = 70$ градусов.
- Линия сопротивления по подошве уступа $W = 6$ м
- Масса заряда в скважине $Q_c = 123–304$ кг.
- Длина заряда в скважине $l_3 = 5,5–8,0$ м.
- Вместимость 1 м скважины при $\rho_{BB} = 1 \text{ м} / \text{м}^3$ $P = 21,4–38,0$ кг/м.
- Коэффициент заполнения скважины зарядом $\eta_3 = l_3 / L_c = 0,45–0,65$.
- Относительное расстояние между скважинами $a^* = a/d = 6/0,220–5/0,165 = 27,3–30,2$.
- Длина надзарядной (свободной от заряда) части скважины $l_{св} = L_c - l_3 = 4,0–6,0$ м.
- Коэффициент заполнения забойкой части скважины над зарядом $\eta_{заб} = h_{заб} / l_{св} = 1$, то есть $h_{заб} = l_{св} = 4,0–6,0$ м. В качестве забойки применяется буровая мелочь.
- Коэффициент крепости взрывааемых пород по М.М. Протодяконову, $f = 9–14$.

Охраняемая зона при производстве взрывных работ на одном или на ниже-лежащих горизонтах вблизи северного борта карьера с учетом установки на нем солнечных панелей определяется не только первоначальной скоростью куска, но и максимальной высотой его полета. Схема к расчету максимальной высоты разлета осколков взрыва представлена на рисунке 2.4.

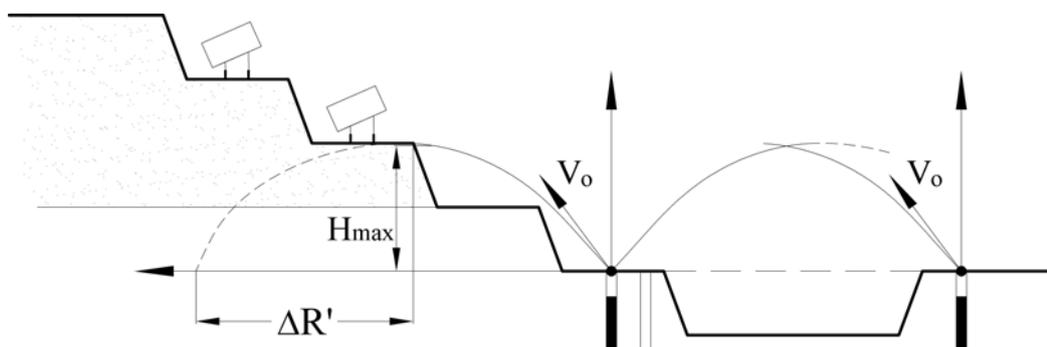


Рисунок 2.4 – Схема к расчету максимальной высоты разлета осколков взрыва:

$\Delta R'$ – проекция на горизонтальную плоскость траектории осколков взрыва
с учетом массива

Разлет кусков горной массы происходит по баллистической траектории в условиях действия гравитации, поэтому систему уравнений для определения максимальной высоты $h_{\text{max}}^{\text{разл}}$ и дальности $R_{\text{max}}^{\text{разл}}$ их полета можно представить в следующем виде

$$\begin{cases} h_{\text{max}}^{\text{разл}} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}; \\ R_{\text{max}}^{\text{разл}} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}, \end{cases} \quad (2.3)$$

где v_0 – первоначальная скорость полета куска, м/с;

α – угол вылета куска, град;

g – ускорение свободного падения, м/с².

В результате решения системы уравнений (2.3) возможно определить первоначальную скорость полета куска горной массы:

$$v_0 = \sqrt{\frac{h_{\text{max}}^{\text{разл}} \cdot g}{\sin^2 \alpha}}. \quad (2.3)$$

В соответствии с требованиями ФНиП [97] по минимальной зоне разлета кусков, равной 200 м и наиболее часто используемым параметрам БВР на карьерах Южного Урала, установлены минимальные первоначальные скорости разлета осколков взрыва при различных углах вылета (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Минимальные первоначальные скорости разлета осколков взрыва

$v_{\text{разл max}}$, м	α , град				
	45°	50°	60°	70°	80°
200	45	45	48	55	76
300	54	55	58	68	93
400	63	63	67	78	107

С учетом минимальной первоначальной скорости разлета максимальная высота осколков взрыва может быть определена по формуле

$$v_{\text{разл max}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}, \quad (2.4)$$

Результаты расчета минимальной первоначальной скорости разлета и максимальной высоты осколков взрыва представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Минимальная первоначальная скорость разлета и максимальная высота осколков взрыва от угла их вылета

v_0 , м/с	Угол вылета осколков α , град				
	45°	50°	60°	70°	80°
45	50/200	59/197	75/173	88/129	97/63
54	75/300	88/295	112/260	132/193	145/103
63	100/400	117/394	150/347	177/27	194/137

Схема к расчету минимальной охраняемой зоны с учетом ведения буровзрывных работ на одном или нижележащем горизонте представлена на рисунке 2.5.

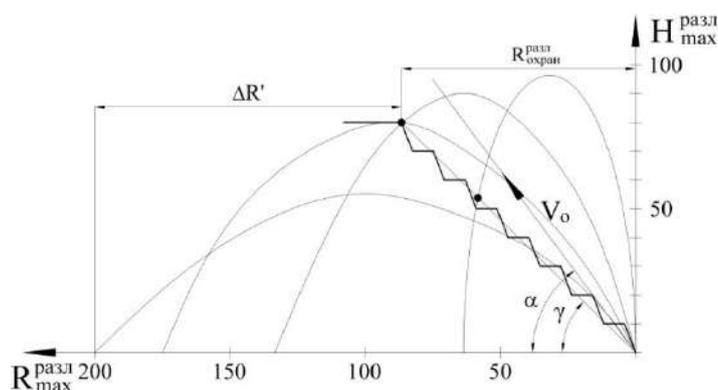


Рисунок 2.5 – Схема к расчету охраняемой зоны разлета кусков взрыва:

β – результирующий угол верхних уступов северного борта карьера, град

Проекция на горизонтальную плоскость траектории осколков взрыва с учетом массива определяется по формуле

$$\Delta \beta' = \frac{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha)}{g}. \quad (2.5)$$

Расчет охраняемой зоны $\varphi_{\text{охран}}^{\text{разл}}$ при монтаже и эксплуатации солнечных панелей с учетом ведения буровзрывных работ на одном или нижележащем горизонте следует определять по формуле

$$\varphi_{\text{охран}}^{\text{разл}} = \frac{\varphi_b \cos \varphi (\varphi_b \cos \varphi \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi) + \sqrt{(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi)^2 \cdot \varphi_b^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2 \varphi_o \varphi \operatorname{tg} \varphi}}{\varphi}, \quad (2.6)$$

где φ_o – расстояние от места взрыва до нижней бровки охраняемого уступа, м.

Результаты исследования размера охранной зоны от результирующего угла откоса верхних уступов северного борта карьера представлены на рисунке 2.6.

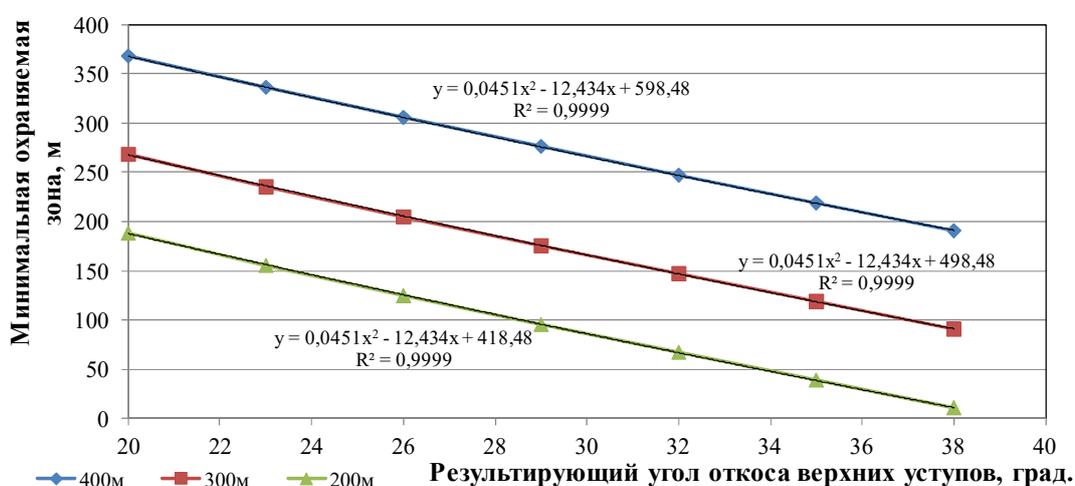


Рисунок 2.6 – Зависимость охраняемой зоны от результирующего угла откоса

Таким образом, установлено, что при установке солнечных панелей на верхних уступах северного борта карьера их безопасная эксплуатация при ведении буровзрывных работ без специальных мероприятий возможна на расстоянии 60 м и более в зависимости от конструкции откоса борта. Поэтому для обеспечения производительности карьера по полезному ископаемому и работ по выполаживанию верхних уступов северного борта карьера с целью установки и эксплуатации солнечных панелей необходимо оценить изменение режима горных работ при формировании горнотехнической системы, способствующей эффективному использованию солнечной и ветровой энергии.

2.3 Регулирование режима горных работ при монтаже солнечных панелей и выколаживании откосов борта карьера с учетом направления и скорости их понижения

Рациональная конструкция откосов южных участков отвала и северного борта карьера, обеспечивающая эффективное использование солнечных панелей и ветрогенераторов предусматривает дополнительный объем горных работ. В случае выколаживания верхних уступов северного борта карьера неизбежно увеличивается объем вскрышных пород, вынимаемых непосредственного из приконтурного массива. При этом возможно два варианта реализации мероприятий по подготовке борта карьера для монтажа и эксплуатации солнечных панелей: параллельный и последовательный относительно основных объемов горных работ.

При последовательном варианте формирования требуемой конструкции откоса северного борта карьера все работы на данном участке учитываются в календарном плане горных работ в период их непосредственного проведения согласно проектным решениям. Преимуществом данного варианта является отсутствие необходимости изменения последовательности добычи и существенного регулирования режима горных работ. Однако при этом монтаж и ввод в эксплуатацию солнечных панелей может быть отнесен на несколько лет согласно календарному плану, что значительно сократит эффективность использования альтернативных источников энергии при существенном снижении работ по вводу их в эксплуатацию.

При параллельном варианте выполнения работ по выколаживанию верхних откосов северного борта для повышения эффективности использования солнечных панелей и ведения добычных работ предусматривается регулирование режима горных работ с привлечением дополнительного горнотранспортного оборудования. Основным критерием изменения эффективного выполнения горных работ при изменении конструкции борта карьера является недопущение снижения объемов подготовленных, вскрытых и готовых запасов к выемке и производительности карьера по полезному ископаемому.

Как при последовательном, так и при параллельном варианте выполнения работ по выколаживанию верхних откосов северного борта происходит расширение функциональности горных работ, в части разделения вскрышных работ на непосредственно вскрышные работы и обеспечивающие расширение функций горнотехнической системы. Следует отметить, что непосредственно параметры горных работ не подлежат изменению в сравнении с принятым подходом [80], однако при проектировании корректируются их значения с учетом необходимости увеличения объемов вскрышных работ с целью подготовки участка борта карьера для монтажа солнечных панелей, при обеспечении подготовленных, вскрытых и готовых к выемке запасов. В этом случае основными показателями, определяющими эффективность ведения горных работ являются суммарные объемы вскрышных и добычных работ, а точнее их распределение во времени при освоении балансовых запасов месторождения. Данный подход полностью отвечает расширенному определению *режима горных работ*, под которым следует понимать *обоснованно установленную во времени очередность выполнения объемов вскрышных и добычных работ, обеспечивающую планомерное, своевременное, безопасное и экономически эффективное освоение участка недр за весь срок ведения горных работ* [73] и является частным случаем его реализации.

Поскольку регулирование режима горных работ обеспечивается календарным распределением объемов вскрышных и добычных работ при выколаживании верхних уступов северного борта, принципиально методический подход не меняется, при этом дополнительно предусматривается дифференцирование объемов вскрышных пород по показателям физико-механических свойств с целью их своевременного извлечения из массива и использования при создании аккумулирующих техногенных емкостей с заданными потребительскими свойствами. Схема к регулированию режима горных работ при целенаправленном опережающем выколаживании верхних уступов северного борта карьера представлена на рисунке 2.7.

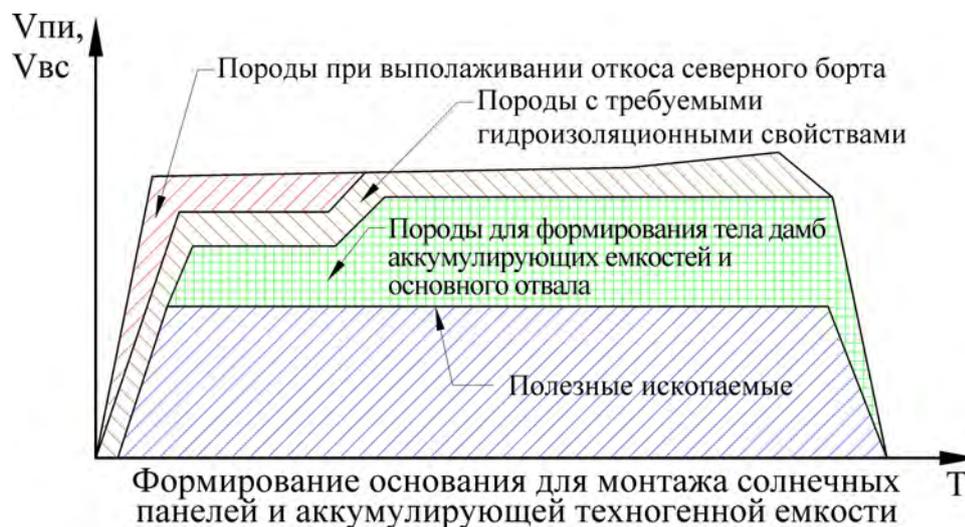


Рисунок 2.7 – Схема к регулированию режима горных работ при выколаживании верхних уступов северного борта карьера

В работе для обеспечения скорейшего выколаживания верхних уступов северного борта карьера предусматривается расширение функционала графика горных работ за счет регулирования объемов, дифференцированных по прочностным и изоляционным характеристикам пород вскрыши. При этом вынимаемые из недр дополнительные породы вскрыши рассматриваются как материалы для формирования ограждающей дамбы аккумулирующей техногенной емкости, поэтому регулирование режима горных работ сводится к обеспечению требуемого объема добычных работ, а также подготовке площадок для монтажа солнечных панелей и строительства емкости. В этом случае ведение горных работ не противоречит базовым закономерностям их развития и обеспечивает подготовленные, вскрытые и готовые к выемке запасов, однако при параллельном варианте происходит перенос экономических затрат на более ранний период. Поэтому распределение объемов горных работ сводится к созданию функциональной зависимости объемов полезного ископаемого и пород вскрыши от времени согласно календарному плану, с учетом дифференцирования вскрыши по требуемым показателям качества вскрышных пород и их количеству в требуемый промежуток времени.

С целью выколаживания верхних уступов северного борта карьера и формирования аккумулирующей техногенной емкости в процессе ведения горных работ на этапе проектирования после регулирования календарного графика

вскрышных и добычных работ необходимо провести анализ пород вскрыши на предмет возможности их использования в качестве строительных материалов для возведения ограждающей дамбы и достаточности объема с учетом применения различных противofильтрационных и прочностных конструкций и материалов.

Для трансформации графика режима горных работ на конкретном месторождении при использовании солнечной и ветровой энергии в календарный график вскрышных и добычных работ следует использовать существующие методы регулирования [110]:

- увеличение величины угла наклона рабочего борта карьера, что обеспечивает перенос части объемов вскрышных работ в последующие периоды ведения добычных работ;
- уменьшение угла наклона рабочего борта карьера, что обеспечивает перенос части объемов вскрышных работ с одного этапа на предыдущий;
- перенесение «пиковых» объемов начального периода разработки на строительный период или снижение производительности карьера по полезному ископаемому;
- постройка временного борта карьера. Этим обеспечивается перенос части объемов вскрыши на более поздний период. Для сохранения постоянной производительности по вскрышным породам в периоды t_2 и в карьере устраиваются уступы, и вскрыша с t_2 переносится на t_3 .

В диссертации предложено два варианта регулирования дифференцированных пород вскрыши при выполнении работ по выполаживанию верхних уступов северного борта карьера: первый – при последовательном варианте подготовки участка борта для монтажа солнечных панелей и аккумулирующей техногенной емкости – увеличение объемов вскрышных работ в период проектных сроков их ведения на северном борту карьера (рисунок 2.8, а); при параллельном варианте – дополнительный объем вскрышных пород выполняется непосредственно в момент принятия решения по выполаживанию северного борта карьера. При этом перенос данных объемов вскрышных пород является

целесообразным при значительной протяженности северного борта (рисунок 2.8, б).

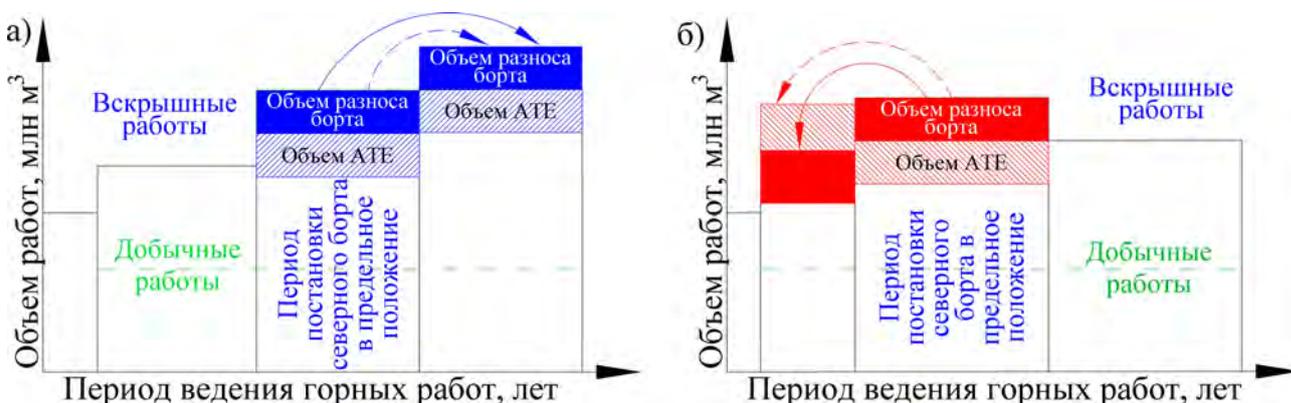


Рисунок 2.8 – Регулирование графика вскрышных работ при выполаживании северного борта карьера и формировании АТЕ:

а – последовательный вариант; б – параллельный вариант

В период ведения горных работ на верхних уступах северного борта не зависимо от варианта реализации данных мероприятий необходимо обеспечить минимальные затраты и отсутствие этапности их выполнения. Для этого в работе предложена оценка направления горных работ и скорости их подвигания при увязке с добычными работами. Для этого исследованы параметры рабочей зоны.

В общем виде скорость подвигания фронта горных работ записывается в виде [103]

$$v_{\phi} = v(\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta), \quad (2.7)$$

где v – скорость углубки, м/год;

α – угол рабочего борта, град.;

β – угол направления углубки, град.

При выполаживании откоса верхних уступов северного борта на заданную высоту от дневной поверхности скорость подвигания фронта горных работ следует определять по формуле

$$v'_{\phi} = v \left(\int_0^{h_y^{c3}} (\operatorname{ctg} \alpha_y^{c3} - \operatorname{ctg} \alpha) + \int_{h_y^{c3}}^{H_y} (\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta) \right), \quad (2.7)$$

где α_y^{c3} – угол откоса подступа, град;

$h_y^{cэ}$ – высота подступа, м;

q_y – высота выполняемого участка северного борта, м.

Параметры рабочей зоны находятся в функциональной зависимости

$$q = q(q_\phi; q; q). \quad (2.8)$$

В случае целенаправленного выполняемого участка северного борта карьера скорость углубки следует рассчитывать по формуле

$$q = q \left(q_\phi; \int_0^{h_y^{cэ}} q_y^{cэ}; \int_{h_y^{cэ}}^H q; q \right). \quad (2.8)$$

Среднегодовая скорость понижения горных работ при увеличении глубины от H_1 до H_2 за время T рассчитывается как

$$q = \frac{H_2 - H_1}{T}. \quad (2.9)$$

Годовая скорость понижения горных работ при отработке одного подступа

$$q = \frac{h_y^{cэ}}{q}, \quad (2.9)$$

где q – продолжительность подготовки подступа к эксплуатации, год.

С учетом необходимых объемов вскрышных пород при выполняемом верхних уступов северного борта карьера предлагается продолжительность подготовки подступа определять по формуле

$$q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{q_j^B}{q_{ij}} + \frac{q_j^{PT}}{q_{ij}} + \frac{q_j^0}{q_{ij}} + \frac{q_j^{эс}}{q_{ij}} \right), \quad (2.10)$$

где q – количество экскаваторов при выполняемом северного борта, шт.;

q – единица выемочного горнотранспортного оборудования;

q – номер разрезной траншеи;

q – количество разрезных траншей;

q^B – объем въездной траншеи, м³;

q^{PT} – объем разрезной траншеи, м³;

q^0 – объем для подготовки нового горизонта, м³;

$q^{эс}$ – объем при выполняемом угла откоса северного борта карьера, м³.

Определение направления и скорости углубки горных работ при выполаживании угла откоса верхних уступов северного борта карьера и формировании аккумулирующей техногенной емкости для обеспечения рационального регулирования режима горных работ необходимо осуществлять с учетом минимальных затрат на эксплуатацию экскаваторно-автомобильного комплекса. Прогнозирование и оценка количества топлива, затрачиваемого на выполнение горных работ целесообразно использовать программу расчета суммарного и удельного расхода топлива автосамосвалов с учетом руководящего уклона карьерных автодорог [30, 81].

Таким образом, выполаживание угла откоса верхних уступов северного борта карьера и формирование аккумулирующей техногенной емкости в процессе ведения добычных работ следует выполнять при управлении режимом горных работ, регулирование которого обеспечивает не только выемку требуемых годовых объемов полезного ископаемого, но и дополнительных пород вскрыши требуемого качества в заданный промежуток времени с целью реализации мероприятий по строительству ограждающей дамбы аккумулирующей техногенной емкости.

2.4 Разработка способа определения целесообразности одновременного ведения горных работ и рекультивации земель для эффективного использования солнечной и ветровой энергии

В рамках применяемого подхода к проектированию и эксплуатации горнотехнической системы в настоящее время практически не рассматриваются геотехнологические решения, направленные на повышение полноты освоения участка недр. Деятельность проектных организаций в основном сводится к обеспечению таких показателей эффективности разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых, как снижение потерь и разубоживания, повышение извлечения и количества извлекаемых из руды компонентов в процессе переработки, а также уменьшение площади под горнотехнические сооружения при необходимости рекультивации нарушенных земель [69]. В подавляющем большинстве случаев во-

просы земельных отношений сводятся исключительно к своевременному выделению необходимых земельных участков, определению графика их перевода в земли промышленности и последующему восстановлению по окончании горных работ. Предлагаемый подход предусматривает формирование в процессе ведения горных работ горнотехнических сооружений в качестве техногенных георесурсов, обеспечивающих расширение ассортимента продукции открытой геотехнологии [114]. Участок земли под данными сооружениями после их ввода в эксплуатацию следует оформлять как рекультивированный в соответствии с действующим законодательством. Кадастровая стоимость выводимых в самостоятельное пользование земельных участков должна определяться с учётом назначения созданного горнотехнического сооружения и его востребованности в районе ведения горных работ и в регионе.

Подход к оценке эффективности рекультивации земель, нарушенных горными работами при целенаправленном формировании горнотехнических сооружений в виде востребованных техногенных георесурсов, формализовано представляется следующим выражением [106]:

$$KC^{MC} \leq \sum_{i=1}^n KC_i^{YTPP}, \quad (2.11)$$

где KC^{MC} – кадастровая стоимость осваиваемого земельного участка недр до начала горных работ, руб.;

KC_i^{YTPP} – кадастровая стоимость земельного участка основания i -го техногенного георесурса, сформированного в виде ликвидного горнотехнического сооружения, руб.;

n – количество созданных в процессе ведения горных работ востребованных техногенных георесурсов, ед.

Комплексное освоение участка недр Земли при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых в современных условиях возможно достичь на основе разработки и внедрения геотехнологических решений, направленных на получение максимальной прибыли от ведения добычных работ в результате максимизации эффектов, получаемых от их реализации. Независимо от функционального назначения создаваемых техногенных георесурсов, земельные участки, на ко-

торых они формируются, характеризуются кадастровой стоимостью, величина которой определяется направлением рекультивации.

С учётом масштаба горных работ, конфигурации и параметров горнотехнических сооружений одним из наиболее сложных элементов на этапе выполнения технического этапа рекультивации является откос [6]. Площадь откоса может занимать более 15% общей площади поверхности созданного техногенного объекта, использование которой для организации сельскохозяйственной деятельности не представляется возможным при угле откоса круче 12° . Поэтому повышение комплексности освоения участка недр и экономической эффективности ведения добычных работ при целенаправленном создании востребованных техногенных георесурсов напрямую зависят от величины угла результирующего и отдельных откосов формируемых горнотехнических сооружений.

В части правового режима земельных участков для осуществления деятельности по добыче твёрдых полезных ископаемых недропользователь может вести деятельность только на землях промышленности. В подавляющем большинстве случаев для начала осуществления разработки месторождения необходимо осуществить перевод в категорию «земли промышленности».

Законодательная база перевода земельных участков в категорию земель промышленности выполняется решением местных властей, которое сопровождается изменениями данных о земельных участках, а также типах их разрешённого использования в рамках кадастровой базы Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН). Изменение категорий земель осуществляется на основе следующих правовых документов: «Земельный кодекс РФ» [6], «Региональное законодательство», ФЗ №172 «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» [112]. Перечень категорий, к которым могут относиться те либо иные участки, приводится в статье 7 Земельного кодекса РФ [6, 121]. Статья 8 того же Кодекса указывает на то, что сменой категорий сельскохозяйственных угодий занимаются земельные департаменты областных администраций. Подача ходатайств в органы власти, а также требования к подготовке предусмотренной документации и рассмотрения обращений, регламентируются Федеральным законом «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» от

21.12.2004 № 172-ФЗ [121]. Согласно пункту 2 статьи 2 этого закона, установлено, что местными законами определяются форма, а также регламент обращения лиц, которые заинтересованы в смене категории отдельного земельного участка.

Особая плодородность угодий сельскохозяйственного назначения является основанием для строгого контроля их оборота со стороны государственной власти. Перевод таких угодий в категорию «земли промышленности» весьма затруднителен, а порой маловероятен, если рассматриваемые угодья представляют особую ценность для государства по причине их повышенной плодородности, размещения на их территории заказников, заповедников и т. п.

Законодательство регламентирует следующие условия и требования к переводу угодий в категорию «земли промышленности». В случае, когда земля зарегистрирована как собственность юридического или частного лица, то согласно статье 40 Земельного Кодекса Российской Федерации с этих лиц снимаются все ограничения по законному использованию данных земель. Такие земли при необходимости беспрепятственно могут быть переведены в промышленную категорию. В остальных случаях сначала необходимо оформить земельный участок в собственность юридического или частного лица с целью дальнейшего перевода оформленных угодий в другую категорию.

Согласно практике перевода земель из сельскохозяйственной в промышленную категорию требуется предоставление подтверждения отсутствия в регионе интересующих наделов. Доказательствами могут служить выписки из местных земельных кадастров, а также расчёты экономической целесообразности, указывающие на неэффективность использования испрашиваемого земельного участка в сельскохозяйственных целях. Важным аргументом в пользу перевода земель в промышленную категорию является то, что размещение промышленных или горнодобывающих предприятий способно обеспечить дополнительные существенные налоговые отчисления в местный региональный, муниципальный и федеральный бюджеты.

Примером выступает решение Совета депутатов Агаповского сельского поселения Агаповского муниципального района Челябинской области «Об утвер-

ждении Положения "Об установлении земельного налога на территории Агаповского сельского поселения"» (в ред. решения от 09.06.2020 № 190), которым приняты налоговые ставки земельного налога на 2023 год (таблица 2.5) [79].

Таблица 2.5 – Ставки налогообложения земельных участков Агаповского муниципального района (Челябинская область)

Ставка, %	Объект обложения налогом	Вид налогоплательщи- ка*
0,3	Земельные участки, отнесённые к землям сельскохозяйственного назначения или к землям в составе зон сельскохозяйственного использования в населённых пунктах и используемые для сельскохозяйственного производства	ФЛ, ЮЛ
0,3	Земельные участки, занятые жилищным фондом и объектами инженерной инфраструктуры жилищно-коммунального комплекса (за исключением доли в праве на земельный участок, принадлежащей на объект, не относящийся к жилищному фонду и к объектам инженерной инфраструктуры жилищно-коммунального комплекса) или предоставленных для жилищного строительства (за исключением земельных участков, приобретённых (предоставленных) для индивидуального жилищного строительства, используемых в предпринимательской деятельности)	ФЛ, ЮЛ
0,3	Земельные участки, не используемые в предпринимательской деятельности, приобретённые (предоставленные) для ведения личного подсобного хозяйства, садоводства или огородничества, а также земельных участков общего назначения, предусмотренных Федеральным законом от 29 июля 2017 года N 217-ФЗ «О ведении гражданами садоводства и огородничества для собственных нужд и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»	ФЛ, ЮЛ
0,3	Земельные участки, ограниченные в обороте в соответствии с законодательством Российской Федерации, предоставленные для обеспечения обороны, безопасности и таможенных нужд	ЮЛ
1,5	Прочие земельные участки	ФЛ, ЮЛ

Исходя из данных [79, 98], ставка земельного налога за исследуемый участок категории земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земли иного специального назначения в 5 раз больше ставки сельскохозяйственного назначения и составляет 1,5% против 0,3%.

Налоговой базой выступает кадастровая стоимость объекта, самого земельного участка, установленная на момент начала налогового периода. В со-

ответствии со статьей 391 Налогового кодекса РФ, налоговый период начинается с первого января. Соответственно, именно с этой даты и происходит расчёт земельного налога на конкретный земельный участок. Налоговой базой для земельных участков служит кадастровая стоимость, определённая на момент регистрации в ЕГРН. Юридические лица самостоятельно рассчитывают налог в соответствии с данными из ЕГРН и уплачивают его по результатам каждого налогового и отчётного периода.

Кадастровую стоимость и ставку определяют государственные или муниципальные органы. Расчёт земельного налога осуществляется по формуле

$$C_n = KC \cdot H_{ст} \quad (2.12)$$

где C_n – сумма налогообложения, руб.;

KC – кадастровая стоимость земельного участка, руб.;

$H_{ст}$ – налоговая ставка на конкретной территории в отношении конкретной категории земельного участка.

В результате разработки месторождения твёрдых полезных ископаемых открытым способом и последующей рекультивации нарушенных земель происходит изменение кадастровой стоимости вовлекаемых земельных участков. На рисунке 2.9 представлена динамика суммы налогообложения за один квадратный метр по проектному варианту рекультивации и предлагаемым решениям комплексного освоения осваиваемого участка недр.

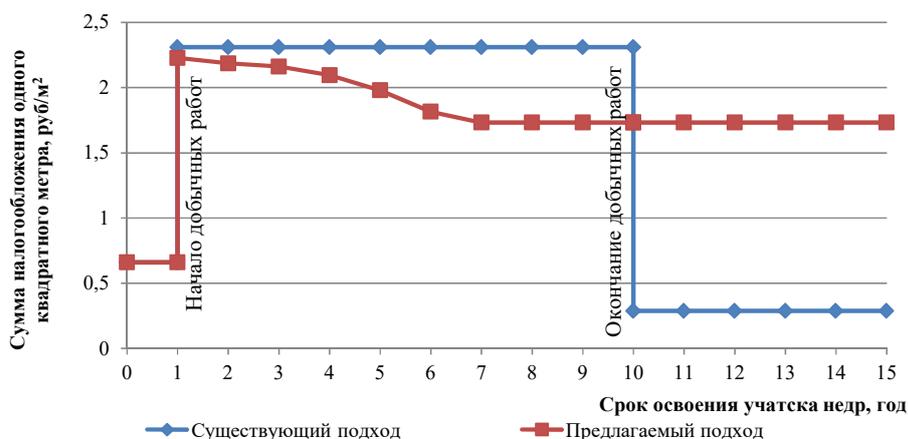


Рисунок 2.9 – Динамика суммы налогообложения за один квадратный метр в соответствии с проектным и предлагаемым вариантом рекультивации земель

В момент начала хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия для недропользователя неизбежно увеличение затрат на земли, что яв-

ляется благоприятным для муниципального района. В период ведения добычных работ путём целенаправленного формирования техногенных георесурсов недропользователь имеет возможность снизить затраты на земли, что менее благоприятно для муниципального района. Однако на момент отработки балансовых запасов и окончания работ по рекультивации нарушенных земель размер отчислений в местный бюджет увеличится по сравнению с проектным вариантом рекультивации земель в шесть раз.

Повышение полноты и эффективности комплексного освоения участка недр в современных условиях должно осуществляться путём целенаправленного преобразования территорий в рамках ведения открытых горных работ с целью вовлечения земель в новый хозяйственный оборот не только после отработки балансовых запасов, но и непосредственно при их добыче. Предлагаемый авторами подход способен при оптимально спроектированной горнотехнической системе обеспечить максимальный эффект всем субъектам, участвующим в разработке месторождения твёрдых полезных ископаемых: недропользователю – минимальные затраты на эксплуатацию месторождения и обеспечение экологических требований с возможностью параллельной рекультивации земель; муниципальному району – ввод в эксплуатацию новых производств; региональному и федеральному бюджетам – увеличение налоговой базы; обществу – дополнительные рабочие места при улучшении экологии региона.

Выводы по главе 2

1. В работе предложена концепция формирования горнотехнической системы, способствующей повышению эффективности использования природной и техногенной возобновляемой энергии, предусматривающая корректировку подхода к функциональному назначению горнотехнических сооружений. На основе выполненных исследований по способу формирования карьеров и отвалов систематизированы их параметры, обеспечивающие расширение функционального назначения и формирования в качестве генерирующего, аккумулирующего или комбинированного типа.

2. В результате анализа конструкции элементов карьеров и отвалов выявлены параметры, определяющие возможность использования солнечной и ветровой энергии и способствующие повышению эффективности использования воз-

обновляемой энергии. При этом количество уступов и угол их откоса является наиболее значимым при монтаже солнечных панелей.

3. Установлено, что исключение снижения производительности карьера по полезному ископаемому при формировании заданной конструкции северного борта карьера для эффективного использования солнечных панелей достигается параллельным способом ведения горных работ. При этом монтаж и безопасная эксплуатация установок преобразования солнечной энергии в электрическую достигается обеспечением охранной зоны при ведении взрывных работ. Разработана методика определения минимальной охраняемой зоны, величина которой при применяемых на большинстве горнодобывающих предприятиях Южного Урала составляет 150 м.

4. Установлено, что минимальная первоначальная скорость разлета осколков взрыва является определяющей при расчете охранной зоны для совмещения буровзрывных и монтажных работ на одном горизонте. На основе исследований типовых проектов на производство массовых взрывов для условий месторождений Южного Урала установлено, что минимальная первоначальная скорость разлета кусков для обеспечения безопасной зоны в 200, 300 и 400 м соответственно составляет 45, 54 и 63 м/с.

5. Обоснована необходимость регулирования режима горных работ при целенаправленном выколаживании откоса верхних уступов северного борта карьера и разработана методика определения скорости подвигания фронта горных работ.

6. Доказано что формирование заданной конструкции откоса верхних уступов северного борта карьера при исключении снижения объемов подготовленных, вскрытых и готовых к выемке запасов обеспечивается как при последовательном варианте подготовки участка борта для монтажа солнечных панелей и аккумулирующей техногенной емкости, так и при параллельном варианте, когда дополнительный объем вскрышных пород выполняется непосредственно в момент принятия решения по выколаживанию северного борта карьера.

7. Исследованиями доказано, что подготовка откоса верхних уступов северного борта карьера для монтажа и эксплуатации солнечных панелей обеспечивает параллельную рекультивацию земель, на которой они располагаются при повышении ее кадастровой стоимости до 6 раз.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

3.1 Исследование влияния конструкции и параметров откоса борта карьера на объемы горных работ при использовании солнечных панелей

Вращение Земли вокруг Солнца и своей оси обуславливает периодичность и интенсивность солнечного излучения, которое неравномерно распределяется по всей поверхности планеты. В связи с чем инсоляция отдельных участков конструкции борта карьера и откосов отвала одновременно может иметь максимальное и минимальное значения. Максимум инсоляции наблюдается на северных откосах отвалов, причем на всю его высоту и уступов карьера, при этом их количество зависит от расстояния в меридианном направлении между южным и северным бортом, а также результирующим углом последнего. Минимум инсоляции приходится на северный борт карьера и откосы отвала. Поэтому при проектировании и формировании горнотехнической системы для использования природной и техногенной возобновляемой энергии должно учитываться географическое положение разрабатываемого месторождения [65]. В работе предложена общая схема к определению высоты откоса северного борта карьера с максимальной инсоляцией в зимний период (рисунок 3.1).

Согласно схеме на рисунке 3.1 высоту участка северного борта карьера с учетом результирующего его угла и солнечного азимутного угла следует определять по формуле

$$h_y = \frac{2 \cdot S}{L} = \frac{2 \cdot \sqrt{a(a-b)(a-c)(a-d)}}{L}, \quad (3.1)$$

где S , p – площадь и полупериметр треугольника; a , b – стороны треугольника.

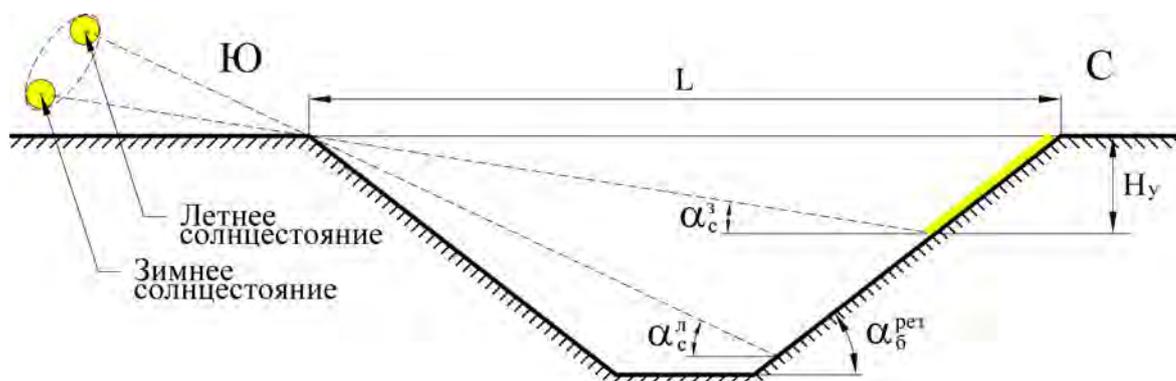


Рисунок 3.1 – Общая схема к определению параметров и профиля верхних уступов северного борта карьера и южных откосов отвалов при обеспечении их максимальной инсоляцией:

Ю, С – части света юг и север; L – расстояние между верхней бровкой карьера северного и южного бортов, м; H_y – высота откоса северного борта с максимальной инсоляцией в зимний период, м; α_c^z – солнечный азимутный угол зимой, град; α_c^l – солнечный азимутный угол летом, град; $\alpha_6^{\text{рез}}$ – результирующий угол северного борта карьера, град

$$\alpha = \frac{\alpha_c^l + \alpha_c^z + \alpha_6^{\text{рез}}}{2}, \quad (3.2)$$

$$a = \frac{\sin \alpha_c^z}{\sin(180^\circ - \alpha_c^z - \alpha_6^{\text{рез}})}, \quad (3.3)$$

$$b = \frac{\sin \alpha_c^l}{\sin(180^\circ - \alpha_c^l - \alpha_6^{\text{рез}})}, \quad (3.4)$$

$$c = \frac{\frac{\sin \alpha_c^z}{\sin(180^\circ - \alpha_c^z - \alpha_6^{\text{рез}})} + \frac{\sin \alpha_c^l}{\sin(180^\circ - \alpha_c^l - \alpha_6^{\text{рез}})} + \sin \alpha_6^{\text{рез}}}{2} \quad (3.5)$$

$$H_y = \frac{L \cdot \sqrt{\frac{\frac{\sin \alpha_c^z}{\sin(180^\circ - \alpha_c^z - \alpha_6^{\text{рез}})} + \frac{\sin \alpha_c^l}{\sin(180^\circ - \alpha_c^l - \alpha_6^{\text{рез}})} + \sin \alpha_6^{\text{рез}}}{2}}}{\sqrt{\frac{\frac{\sin \alpha_c^z}{\sin(180^\circ - \alpha_c^z - \alpha_6^{\text{рез}})} + \frac{\sin \alpha_c^l}{\sin(180^\circ - \alpha_c^l - \alpha_6^{\text{рез}})} + \sin \alpha_6^{\text{рез}}}{2}} + \frac{\sin \alpha_c^z}{\sin(180^\circ - \alpha_c^z - \alpha_6^{\text{рез}})}}} \quad (3.6)$$

Максимальная эффективность использования солнечного излучения при преобразовании ее в электрическую энергию на солнечных панелях достигается при ориентации их строго перпендикулярного потоку излучения. В связи с этим в работе исследуются параметры горнотехнической системы, обеспечивающие максимально эффективное поглощение энергии солнечной радиации.

Территория России в широтном направлении простирается от $41^{\circ}11''$ до $81^{\circ}51''$ северной широты. При этом подавляющее большинство разрабатываемых и находящихся в резерве месторождений Российской Федерации расположены между параллелями 50° и 60° северной широты. Поэтому в работе исследования проводились для данных условий, однако разработанная методическая база не имеет ограничения ни в северном, ни в южном полушариях Земли. Значения солнечных азимутных углов в зимний и летний период, характерные для территории России, представлены в таблице 3.1 и на рисунке 3.2. Величина солнечных азимутных углов для соответствующей координаты северной широты определялась с использованием онлайн калькулятора азимута и высоты солнца над горизонтом [134].

Таблица 3.1 – Значения солнечных азимутных углов в зимний и летний период

Параллель	С.Ш.	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Зима	α^3_c	26,47	21,48	16,49	10,75	6,5	1,5	–	–	–
Лето	α^1_c	72,38	67,67	62,68	57,99	53,1	48,18	43,24	38,3	33,35

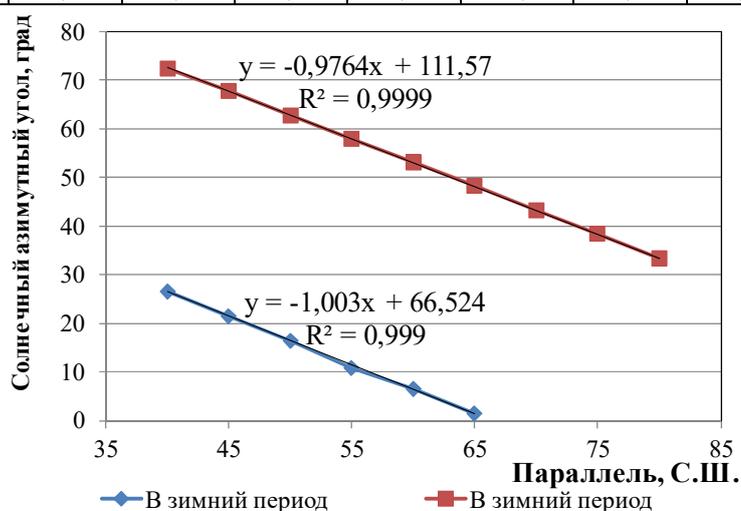


Рисунок 3.2 – Зависимость солнечных азимутных углов в зимний и летний периоды от месторасположения месторождения

С целью выявления зависимости высоты откоса северного борта с максимальной инсоляцией в зимний период H_y выполнено математическое и графическое моделирование для условий месторождений, расположенных в окрестностях города Магнитогорска на параллели 53°С.Ш. При этом величина результирующего угла северного борта карьера принята в диапазоне $30\text{--}50^\circ$, а расстояние между бровками северного и южного бортов – в диапазоне $200\text{--}1400$ м, что соответствует типичным значениям карьеров данного региона. Результаты моделирования высоты откоса северного борта представлены на рисунке 3.3.

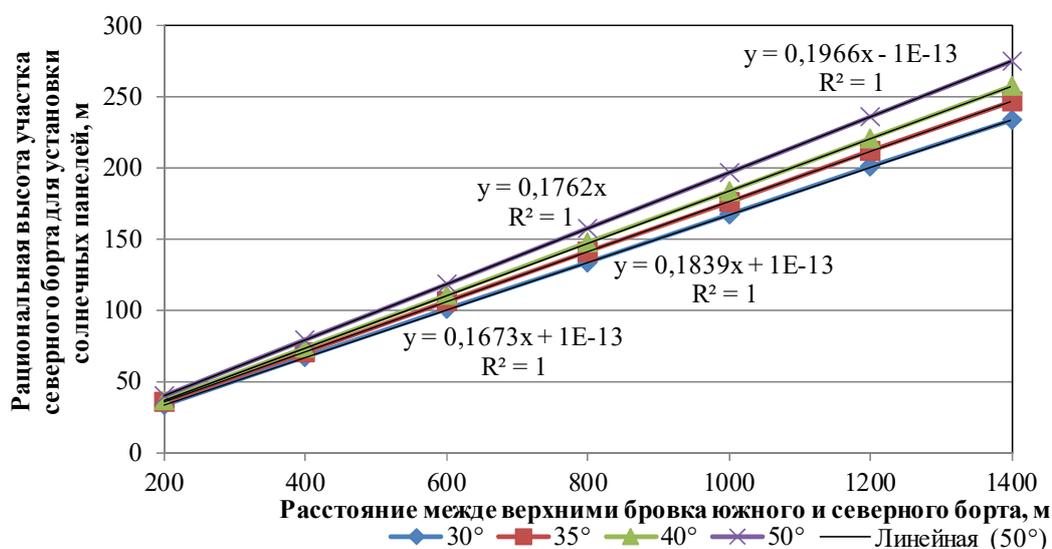


Рисунок 3.3 – Зависимость высоты участка северного борта с максимальной инсоляцией от длины карьера

Анализируя зависимость, представленную на рисунке 3.3, можно сделать вывод, что для условий месторождений Челябинской области при протяженности борта карьера с севера на юг свыше 600 м высота части северного борта, которая в зимнее время не находится в тени превышает 100 м. Однако мощность рыхлых скальных пород на Южном Урале в среднем варьируется в диапазоне от 20 до 40 м и лишь в редких случаях достигает 100 м. Поэтому при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии путем монтажа и эксплуатации солнечных панелей на северном борту карьера в данном регионе целесообразно ограничиться высотой, соответствующей мощности рыхлых вскрышных пород.

При определении высоты уступа северного борта карьера переменными величинами являются: расстояние между верхними бровками южного и северного

борта, результирующий угол северного борта, параллель, соответствующая положению месторождения на поверхности Земли относительно экватора. Несмотря на то, что в уравнении всего три изменяемых параметра, их сочетание порождает огромное множество значений. С целью оперативного определения минимальной высоты участка северного борта карьера, находящегося круглый год под действием солнечного излучения, разработана номограмма для определения высоты уступа северного борта карьера с круглогодичной инсоляцией (рисунок 3.4).

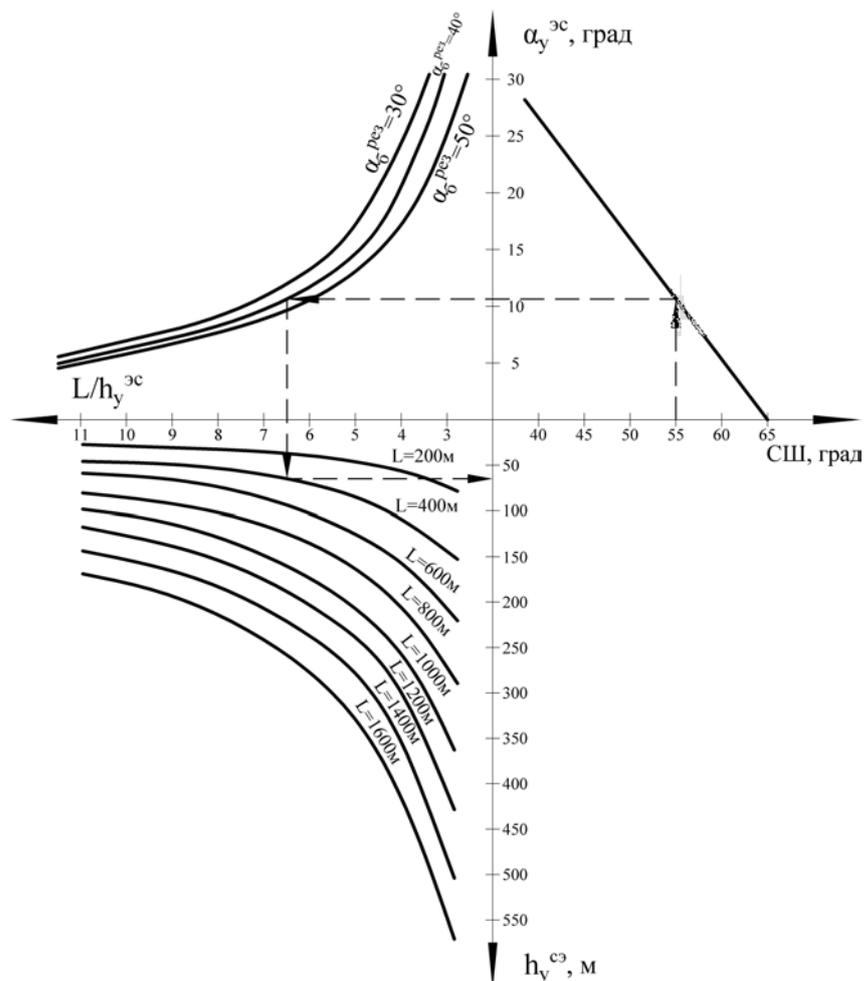


Рисунок 3.4 – Номограмма для определения высоты уступа северного борта карьера с круглогодичной инсоляцией

При традиционном подходе к обоснованию параметров карьера учитываются критерии, обеспечивающие безопасность и эффективность ведения горных работ и отвечающие требованиям экономической оптимальности. То есть конструктивные и технико-технические параметры горнотехнической системы балансируются по экономическим критериям с доходами от реализации полезного ископаемого. В связи с чем практически все технические решения направлены на сниже-

ние себестоимости готовой продукции. Однако в рамках настоящей работы предложенная концепция ведения открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии предусматривает целенаправленное изменение главных параметров карьера и отвалов для увеличения площади инсоляции их откосов. При этом увеличение объемов горных работ должно обеспечивать экономическую целесообразность их выполнения.

С целью исследования увеличения площади инсоляции поверхностей объектов горнотехнической системы разработана схема к определению конструкции профиля и расчету параметров откосов верхних уступов северного борта карьера (рисунок 3.5).

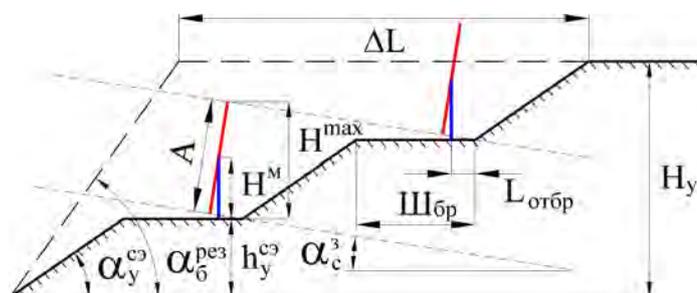


Рисунок 3.5 – Схема к определению конструкции профиля и расчету параметров откосов верхних уступов северного борта карьера:

A – полезная площадь инсоляции при установке солнечных панелей (СП);

ΔL – величина разноса верхней бровки при выполаживании уступа для монтажа

СП, м; H^M – высота мачты, м; H^{\max} – максимальная высота мачты

с установленной СП, м; $\alpha_y^{\text{сз}}$ – угол откоса подступа, град;

$h_y^{\text{сз}}$ – высота подступа, м; $\text{Ш}_{\text{бр}}$ – ширина бермы, м;

$L_{\text{отбр}}$ – расстояние оси мачты от нижней бровки подступа, м

Повышение эффективности работы солнечных панелей предусматривается путем использования опорно-поворотных мачтах (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Варианты установки солнечных панелей на опорно-поворотных мачтах

Определение размера области для эффективной установки солнечных панелей осуществляется согласно упрощенной схеме рисунка 3.5, которая представлена на рисунке 3.7.

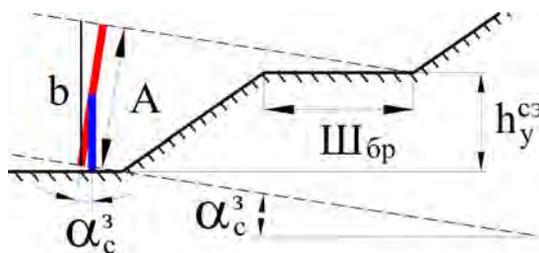


Рисунок 3.7 – Схема к определению размера области для установки СП

Расчет размера области для эффективной установки солнечных панелей осуществляется по формуле

$$A = b \cdot \tan \alpha_c^3, \quad (3.7)$$

$$b = h_y^{c3} + (\text{Ш}_{\text{бр}} + h_y^{c3} \cdot \tan \alpha_c^3) \cdot \tan \alpha_c^3, \quad (3.8)$$

$$A = (h_y^{c3} + (\text{Ш}_{\text{бр}} + h_y^{c3} \cdot \tan \alpha_c^3) \cdot \tan \alpha_c^3) \cdot \tan \alpha_c^3. \quad (3.9)$$

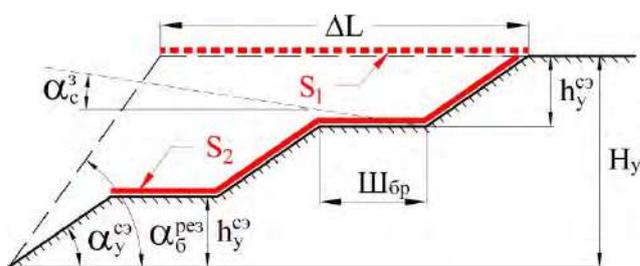
Высота мачты рассчитывается по формуле

$$H^M = \frac{A}{2 \tan \alpha_c^3} + b_{\text{отбр}} \cdot \tan \alpha_c^3. \quad (3.10)$$

Максимальная высота мачты с учетом установленных солнечных панелей рассчитывается по формуле

$$H^{\text{max}} = H^M + \frac{A}{2} \cdot \tan \alpha_c^3. \quad (3.11)$$

Поскольку при выколаживании результирующего угла верхних уступов северного борта карьера для установки солнечных панелей происходит смещение верхней бровки в сторону горного массива, необходимо исследовать изменение площади поверхности откосов и рельефа. С целью определения изменения площади инсоляции на поверхностях горнотехнической системы разработана схема для расчета площади поверхности выколаживаемого откоса верхних уступов северного борта (рисунок 3.8).



S_1 – площадь дневной поверхности в пределах разноса верхней бровки при выполаживании верхних уступов северного борта карьера, м²;
 S_2 – площадь поверхности откосов уступа северного борта карьера при его выполаживании, м²

Рисунок 3.8 – Схема для расчета площади поверхности выполаживаемого откоса верхних уступов

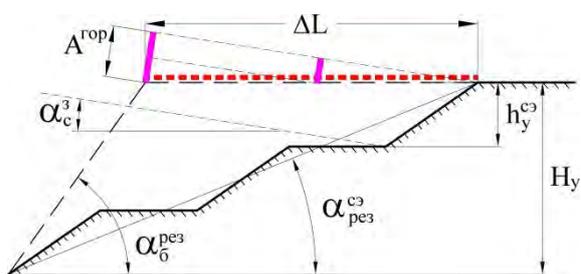
Основываясь на схеме плоской модели, площадь поверхностей эквивалентна линейным размерам исследуемых объектов. В связи с этим формулы для определения площади инсоляции для проектной формы и параметров северного борта карьера и при его выполаживании имеют следующую запись:

$$\varpi_1 = \Delta L = \varpi_y (\operatorname{ctg} \varpi_{\text{рез}}^{\text{сэ}} - \operatorname{ctg} \varpi_6^{\text{рез}}), \quad (3.12)$$

$$\varpi_2 = (\varpi_y - 1) \cdot \left(\text{Ш}_{\text{бр}} + \frac{h_y^{\text{сэ}}}{\sin \varpi_y^{\text{сэ}}} \right), \quad (3.13)$$

где ϖ_y – количество подступов при разносе северного борта карьера.

С целью определения максимально возможного количества солнечного излучения, преобразуемого в электрическую энергию на участке дневной поверхности, величина которого равна величине разноса северного борта, предложена схема к расчету числа солнечных панелей, которое возможно установить на ограниченной территории (рисунок 3.9).



$A^{\text{гор}}$ – размер области для эффективной установки СП на ограниченной дневной поверхности; $\varpi_{\text{max}}^{\text{гор}}$ – максимальная высота конструкции солнечных панелей на ограниченной дневной поверхности; $\varpi_{\text{рез}}^{\text{сэ}}$ – результирующий угол северного борта карьера при использовании солнечной энергии

Рисунок 3.9 – Схема к определению числа солнечных панелей на ограниченной горизонтальной поверхности

Размер области для эффективной установки солнечных панелей на ограниченной дневной поверхности рассчитывается по формуле

$$A^{\text{гор}} = \frac{\Delta L \cdot \varpi \cdot \varpi_{\text{с}}^3}{\varpi \cdot 90^\circ} = \Delta L \cdot \varpi \cdot \varpi_{\text{с}}^3. \quad (3.14)$$

Максимальная высота конструкции солнечных панелей на ограниченной дневной поверхности рассчитывается по формуле

$$h_{max}^{гор} = A^{гор} \cdot \tan(90 - \alpha_c^3). \quad (3.15)$$

Общая схема к моделированию параметров северного борта карьера представлена на рисунке 3.10.

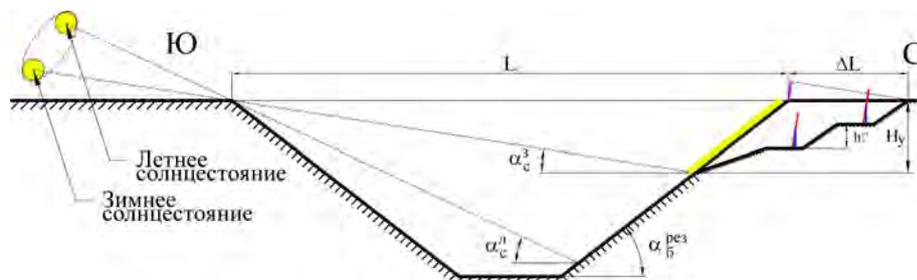


Рисунок 3.10 – Общая схема моделирования параметров северного борта карьера

Из рисунка 3.9 видно, что на горизонтальном участке дневной поверхности максимальная полезная площадь, с которой возможно преобразовывать солнечное излучение в электрическую энергию, ограничивается величиной разноса верхней бровки ΔL . При этом полезная площадь $A^{гор}$ с учетом установки солнечных панелей не изменится от суммы их высот. То есть возможно установить вблизи верхней бровки карьера одну конструкцию солнечных панелей общей высотой $h_{max}^{гор}$, тень от которой будет полностью перекрывать величину разноса верхней бровки ΔL или ограничивать конструкцию по высоте с целью экономии металлоконструкций и смонтировать их несколько штук в горизонтальной плоскости, так чтобы каждая новая конструкция находилась на границе тени от предыдущей. Поэтому в исследовании изменения объема инсоляции на верхних уступах северного борта принята единая конструкция солнечных панелей на высоту $h_{max}^{гор}$.

Фактическая полезная площадь поверхности для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию определяется с учетом габаритных размеров солнечных панелей и способа их монтажа. Поэтому в работе исследованы изменения инсоляции поверхности объектов горнотехнической системы по максимальному значению и с учетом максимально возможного числа солнечных панелей, помещаемых в расчетную область.

Расчет числа солнечных панелей как для их установки на мачте, так и для установки на горизонтальной поверхности осуществляется по формуле

$$N^{\text{сп}} = \frac{A}{l^{\text{сп}}}, \quad (3.16)$$

где $l^{\text{сп}}$ – длина солнечной панели, м.

В качестве исходных данных для моделирования конструкции борта карьера при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии было принято: месторасположение карьера – между 40° СШ и 65° СШ; результирующий угол северного борта карьера $\alpha^{\text{рез}}_6$ от 35 до 55°; ширина бермы для монтажа и обслуживания солнечных панелей $Ш_{\text{бр}}$ 8,5, 10,5, 12 и 14 м; угол откоса подступа $\alpha^{\text{сз}}_y$ от 30 до 60°; количество уступов n_y от 2 до 12; длина солнечной панели – 2,4 м, ширина 1,2 м.

Визуализация вариантов конструкции участка верхнего уступа северного борта карьера высотой 30 м при фиксированной ширине бермы, а также угле откоса подступов для монтажа солнечных панелей представлена на рисунке 3.11.

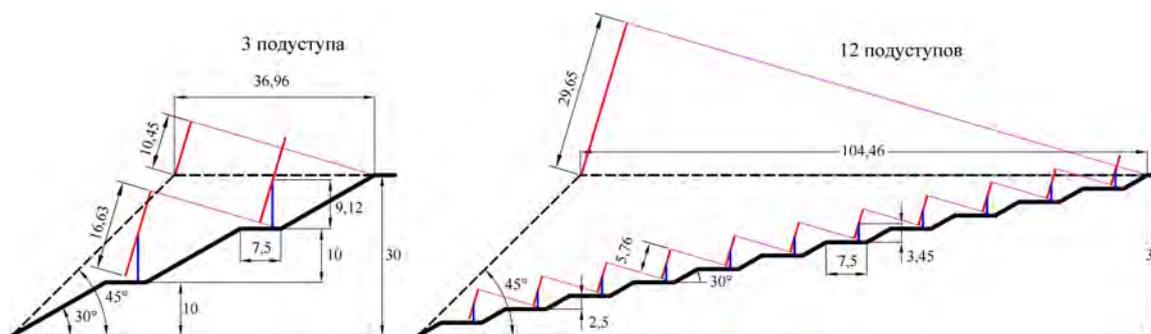


Рисунок 3.11 – Конструкция откоса северного борта карьера при монтаже солнечных панелей

Результаты моделирования изменения инсоляции $\Delta I^{\text{С}}$ на полезной поверхности солнечных панелей с учетом конструктивной возможности их размещения для условного месторождения, расположенного на параллели 50°СШ, высота вылаживаемого уступа – 30 м, ширина бермы – 7,5 м, угол откоса подступа – 30°, расстояние мачты от нижней бровки подступа – 1,5 м, при проектном угле откоса верхних уступов – 45°, для вариантов высоты подступов от 2,5 до 10 м с шагом

2,5 м, представлены на рисунке 3.12. В Приложении 1 представлен фрагмент файла с электронными таблицами, на основе которых выполнено моделирование.

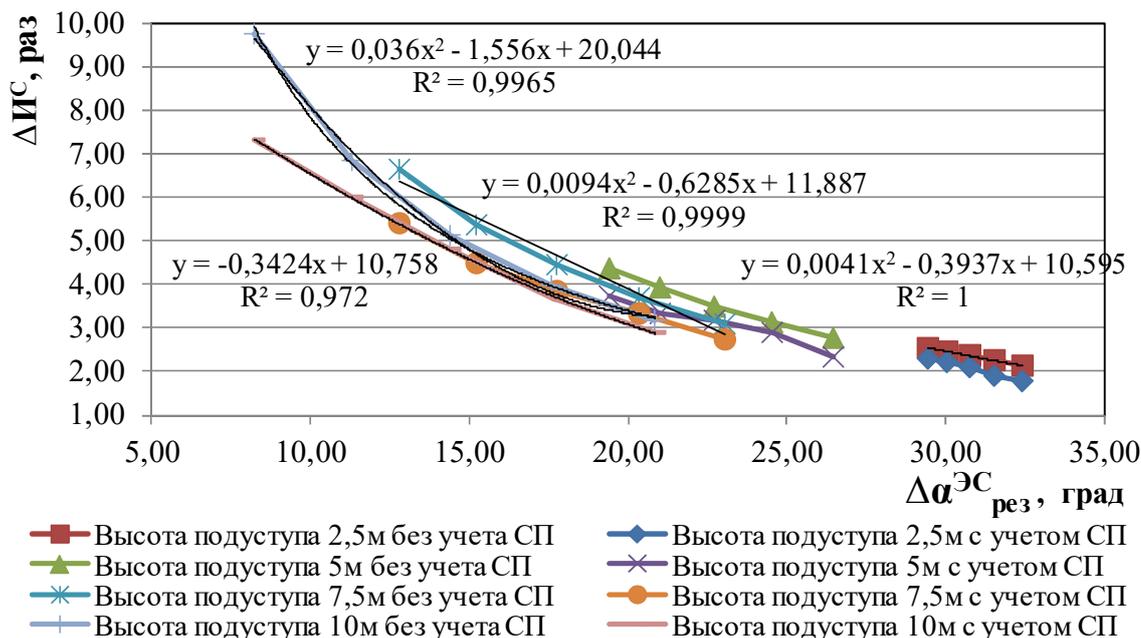


Рисунок 3.12 – Зависимость изменения инсоляции $\Delta И^С$ на дневной поверхности и откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta \alpha^ЭС_{рез}$

Зависимость изменения инсоляции $\Delta И^С$ на дневной поверхности и откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta \alpha^ЭС_{рез}$ на основе усредненных сводных данных представлен на рисунке 3.13.

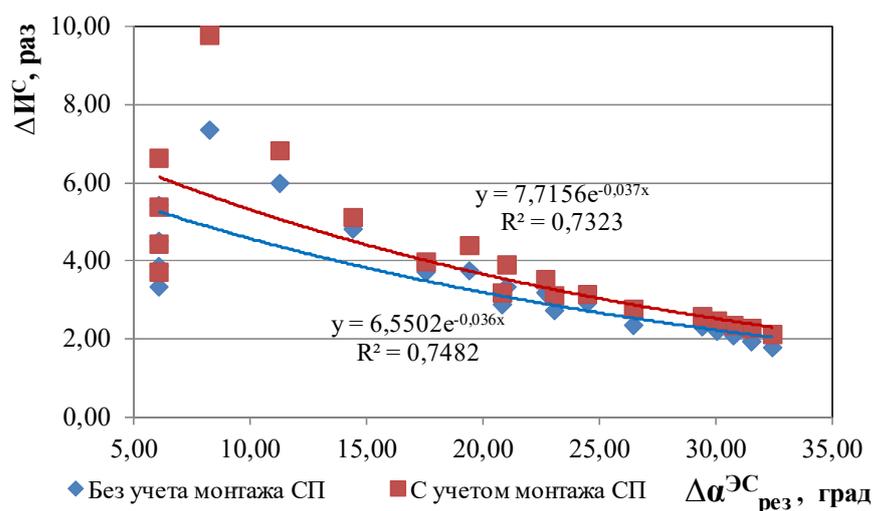


Рисунок 3.13 – Зависимость изменения инсоляции $\Delta И^С$ на дневной поверхности и откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta \alpha^ЭС_{рез}$ на основе усредненных данных

Анализируя зависимости, представленные на рисунках 3.12 и 3.13, можно сделать вывод, что для месторождений, расположенных в пределах параллеле-

ли 50°СШ и проектном результирующем угле верхних откосов в районе 45° , рост величины выполаживания результирующего угла разносимой части северного борта ведет к снижению количества солнечного излучения, которое возможно использовать для преобразования его в электроэнергию с использованием солнечных панелей.

Поскольку технические устройства накладывают ограничения на объем солнечного излучения, преобразовывающегося в электроэнергию, в работе исследованы потери полезной площади инсоляции с учетом габаритных размеров солнечных панелей. С учетом мирового и отечественного опыта создания солнечных электростанций путем монтажа солнечных панелей в прямоугольные конструкции, в работе смоделировано соединение панелей как вдоль длинной их стороны, так и вдоль короткой стороны.

Результаты моделирования потерь полезной площади на поверхности объектов горнотехнической системы при установке солнечных панелей с учетом их прямоугольной формы конструкции представлены на рисунке 3.14.

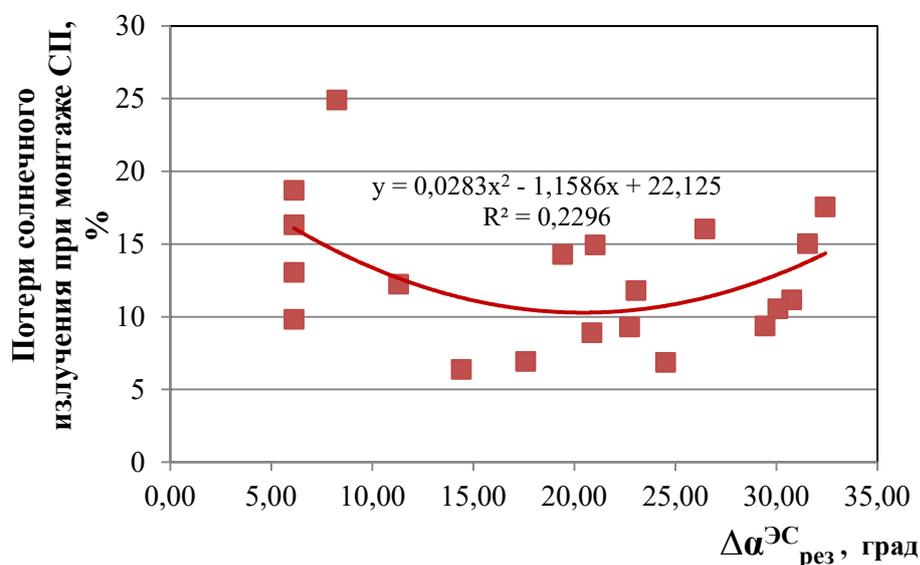


Рисунок 3.14 – Зависимость потерь полезной площади поверхности откосов при установке на них солнечных панелей

Анализ зависимости, представленной на рисунке 3.14, позволяет сделать вывод, что для каждого варианта конструкции участка северного борта карьера существуют параметры откоса, обеспечивающие максимальное использование создаваемой полезной площади инсоляции. Это обуславливается снижением потерь

площади поверхности в результате ее неэффективного использования применяемыми формами и размерами солнечных панелей.

Разнос участка северного борта карьера с целью использования природной и техногенной возобновляемой энергии предусматривает увеличение объемов извлекаемых из недр горных пород, при этом в ряде случаев данные породы могут содержать забалансовые полезные ископаемые [96]. В случае наличия в борту карьера полезных ископаемых предложенная в работе концепция позволяет обеспечить их экономическую целесообразность отработки.

Объем разноса участка борта карьера следует определять по формуле

$$V = \frac{q_y \cdot \Delta L}{2} = \frac{(q_y \cdot h_y^{cs})^2 \cdot (\text{ctg } \alpha_{рез}^{cs} - \text{ctg } \alpha_6^{pez})}{2}. \quad (3.17)$$

Результаты исследования изменения объемов горных пород при выколаживании участка северного борта высотой 30 м условного месторождения, находящегося на параллели 50°СШ при значениях результирующего угла разносимого борта в диапазоне 12–37° относительно проектного значения, равного 45°, представлены на рисунке 3.15.

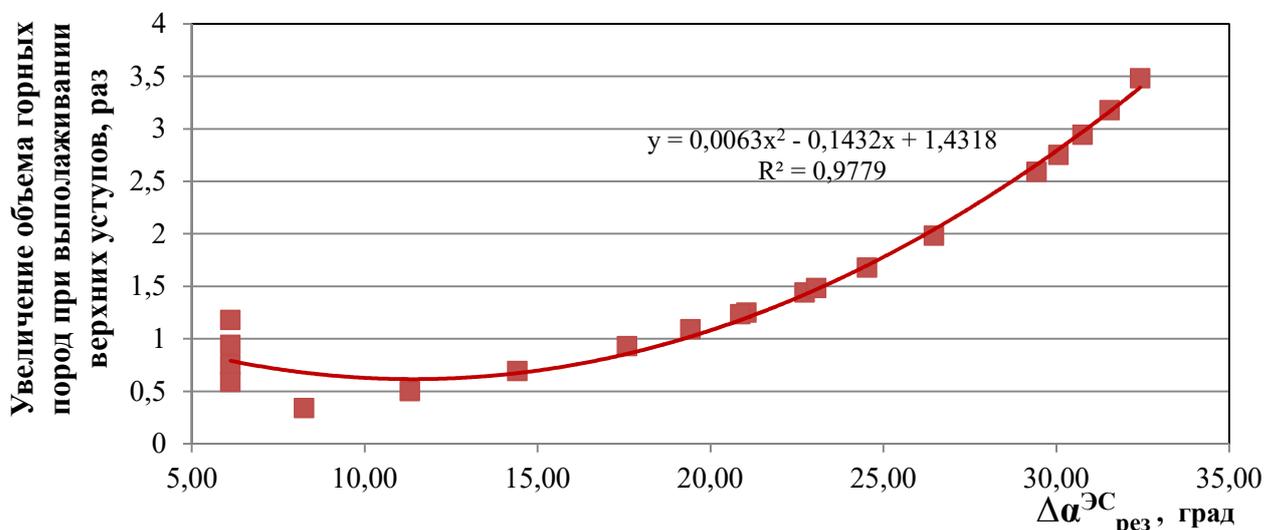


Рисунок 3.15 – Зависимость изменения объема горных пород при выколаживании верхних уступов для установки на них солнечных панелей

Из зависимости, представленной на рисунке 3.15, видно, что для конкретных значений и конструкции борта объем дополнительно вынимаемых горных пород при выколаживании результирующего угла увеличивается в 3,5 раза. При этом также увеличивается полезная площадь поверхности инсоляции. Результаты

изменения удельного объема горных пород к удельной площади поверхности инсоляции, создаваемой при выполаживании результирующего угла участка борта карьера, представлены на рисунке 3.16.

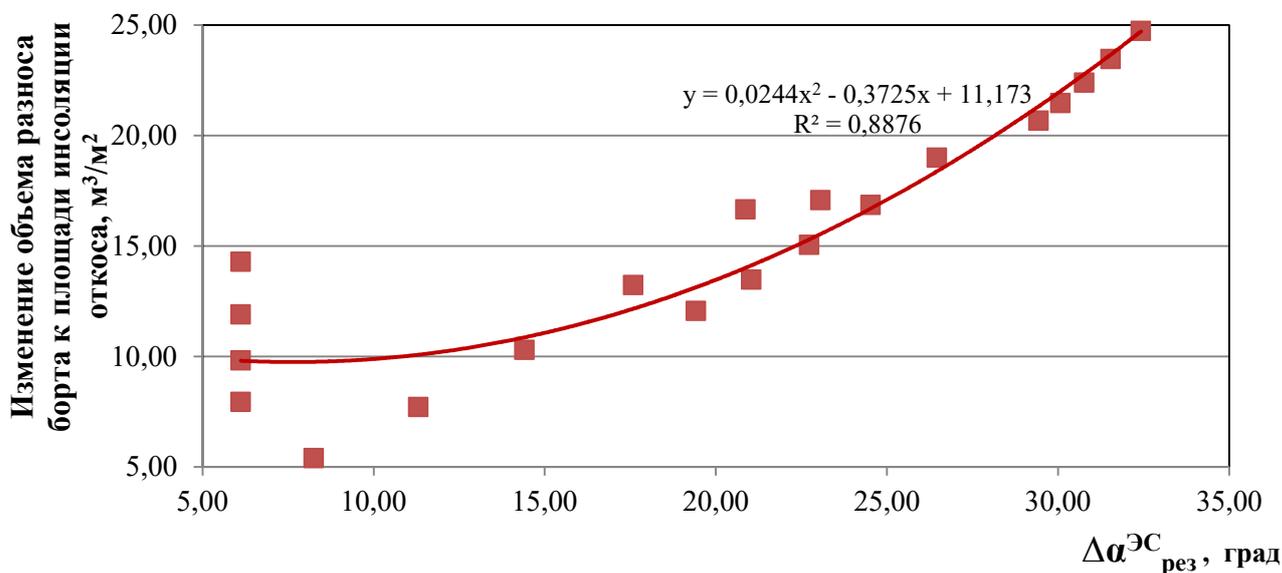


Рисунок 3.16 – Зависимость изменения удельного объема разноса борта к площади инсоляции откоса от его результирующего угла

Анализируя зависимость, представленную на рисунке 3.16, можно сделать вывод, что при изменении результирующего угла откоса участка северного борта карьера увеличивается объем горных пород при снижении полезной площади поверхности, доступной для преобразования солнечного излучения в электроэнергию. При этом минимальные значения для рассматриваемого примера составляют около $5 \text{ м}^3/\text{м}^2$, то есть каждые 5 м^3 вынутых из массива горных пород при определенной конструкции участка борта обеспечивают создание дополнительного 1 м^2 полезной площади поверхности откоса карьера.

Таким образом, в работе предложено ввести термин **коэффициента инсоляции горнотехнической системы**, который показывает, сколько полезной площади в квадратных метрах поверхности инсоляции образуется при выемке из массива 1 м^3 горных пород. Кроме того, данный коэффициент учитывает тип горнотехнического сооружения и может быть рассчитан как для карьера и отвала, так и для всей горнотехнической системы. Поэтому в работе предлагается рассматривать **коэффициент инсоляции карьера** и **коэффициент инсоляции отвала**, которые рассчитываются по формуле

$$\mathbb{K}_{\text{ИН}}^{\text{ГТС}} = \mathbb{K}_{\text{ИН}}^{\text{К}} + \mathbb{K}_{\text{ИН}}^{\text{ОТВ}} = \frac{V_0^{\text{К}}}{\mathbb{Q}_0^{\text{К}}} + \frac{V_0^{\text{ОТВ}}}{\mathbb{Q}_0^{\text{ОТВ}}} = \frac{V_0^{\text{К}}}{A \cdot (\mathbb{Q}_y - 1)} + \frac{V_0^{\text{ОТВ}}}{A \cdot (\mathbb{Q}_y + 1)}, \quad (3.18)$$

где $\mathbb{K}_{\text{ИН}}^{\text{К}}$ и $\mathbb{K}_{\text{ИН}}^{\text{ОТВ}}$ – соответственно коэффициент инсоляции карьера и отвала;

$V_0^{\text{К}}$ – объем дополнительно вынимаемых горных пород при выполаживании участка северного борта карьера, м^3 ;

$V_0^{\text{ОТВ}}$ – объем вскрышных пород, переносимый в тело отвала при выполаживании участка южного откоса отвала, м^3 ;

$\mathbb{Q}_0^{\text{К}}$ – суммарная площадь откоса участка северного борта карьера при его разnose для монтажа солнечной электростанции, м^2 ;

$\mathbb{Q}_0^{\text{ОТВ}}$ – суммарная площадь откоса участка южного откоса отвала при его выполаживании для монтажа солнечной электростанции, м^2 .

В работе проведены исследования коэффициента инсоляции карьера для различных вариантов конструкции откоса верхних уступов северного борта карьера применительно к месторождениям, расположенным между параллелями 50 и 60° северной широты. Результаты исследования представлены на рисунках 3.17 – 3.23.

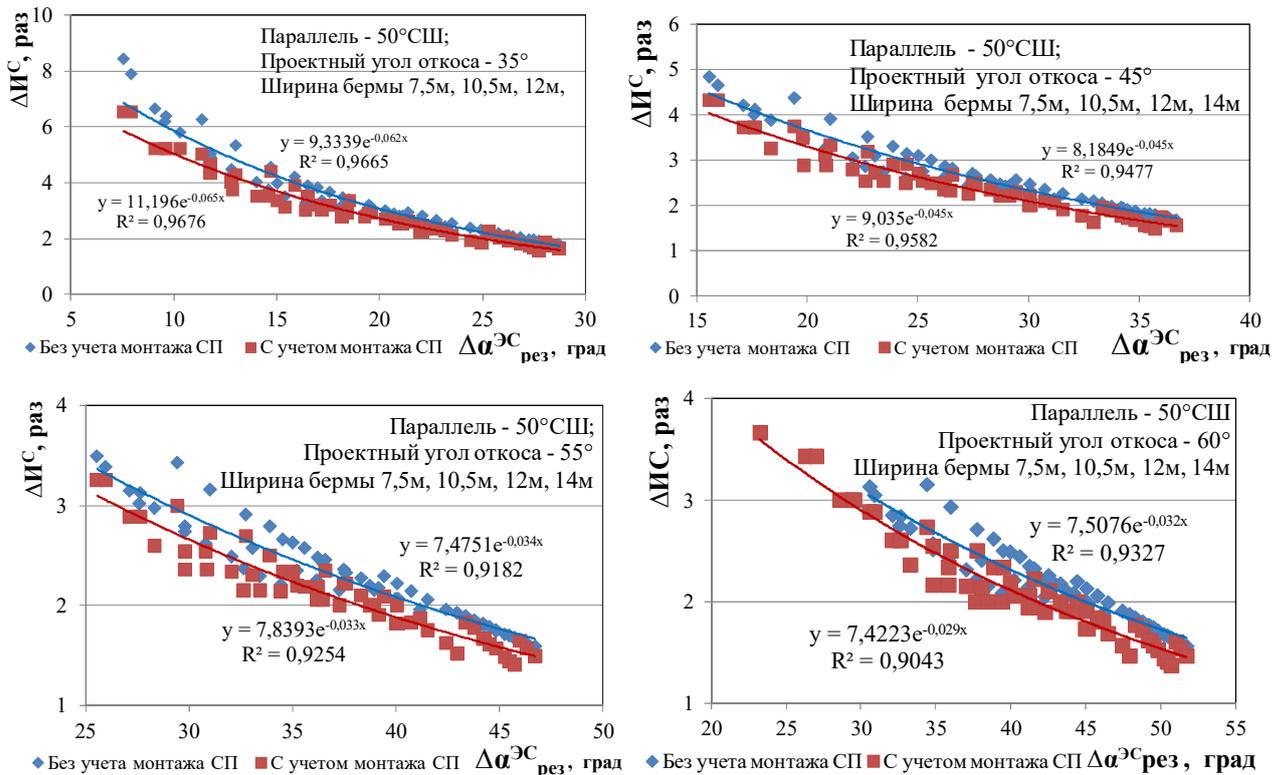


Рисунок 3.17 – Зависимость изменения инсоляции $\Delta I_C^{\text{С}}$ на откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta \alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 50°С.Ш.

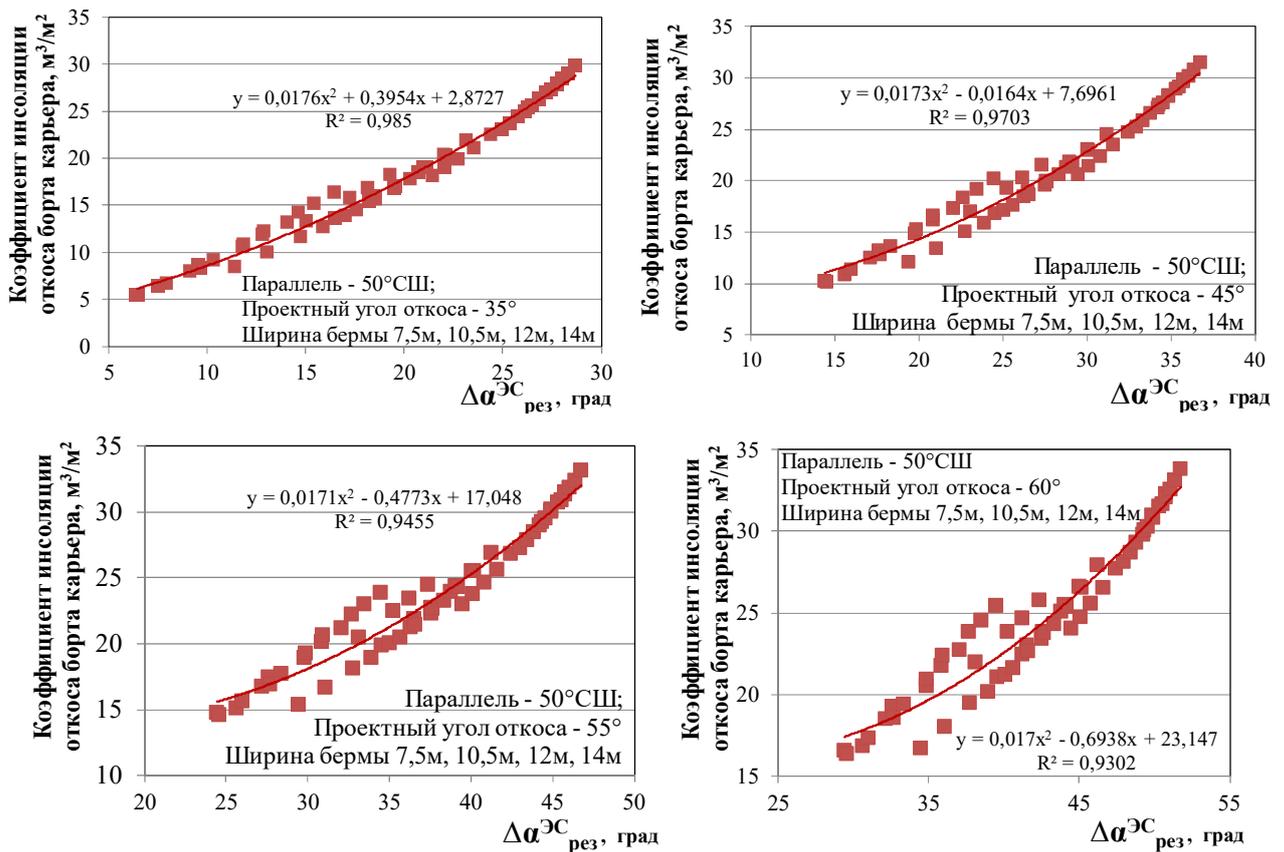


Рисунок 3.18 – Зависимость коэффициента инсоляции карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 50°С.Ш.

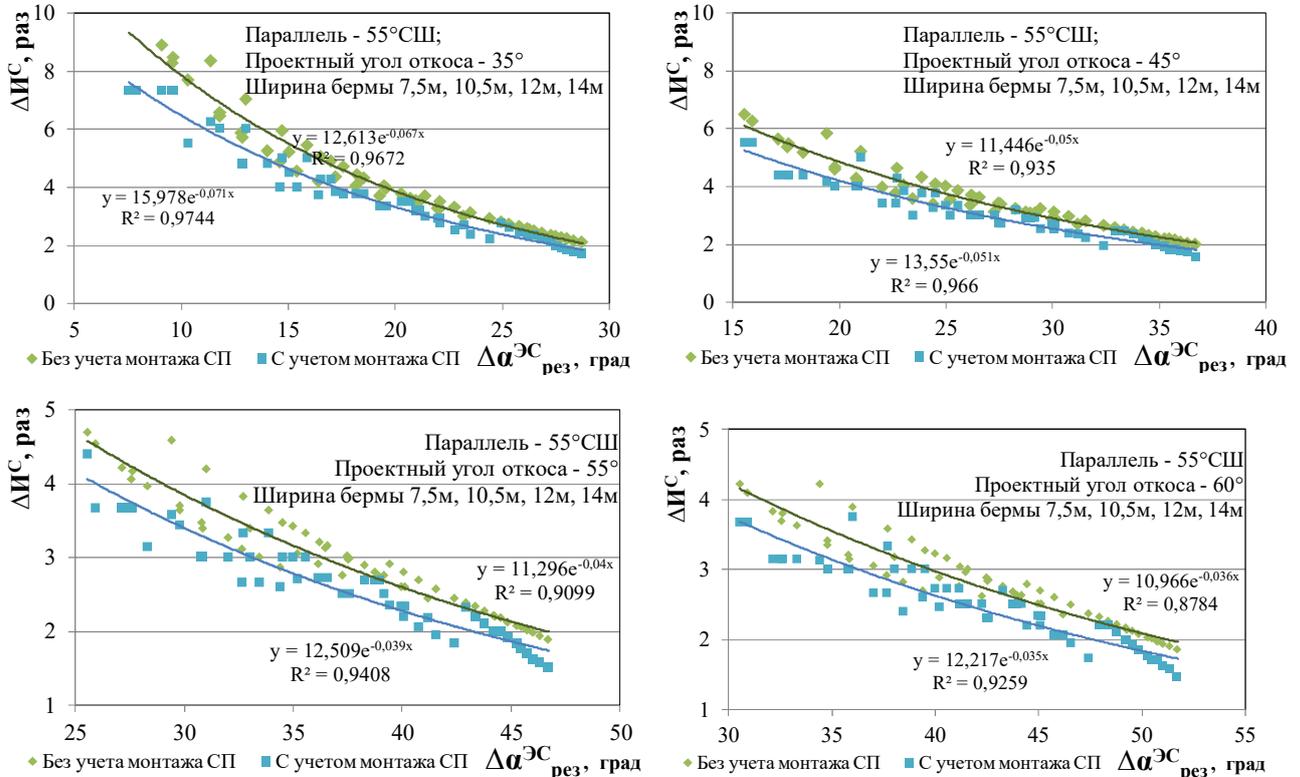


Рисунок 3.19 – Зависимость изменения инсоляции $\Delta\text{ИС}$ на откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 55°С.Ш.

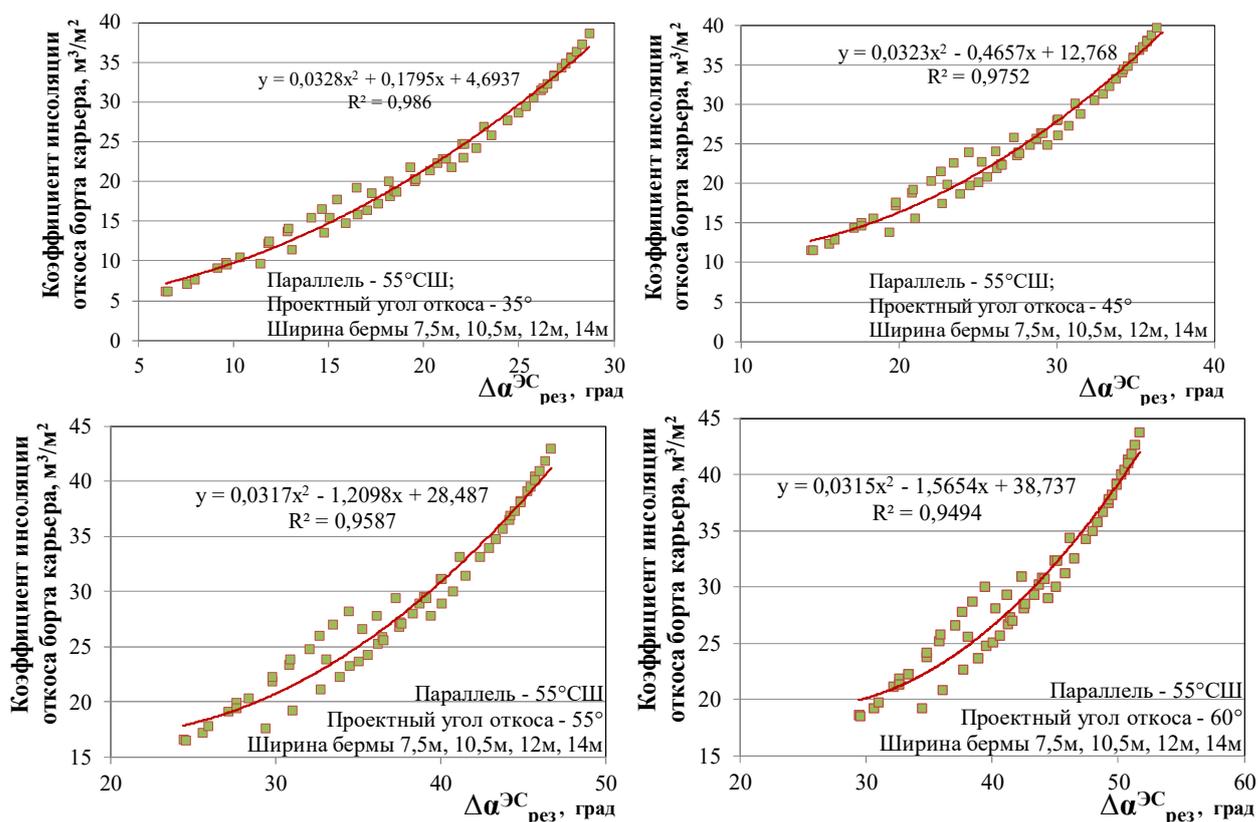


Рисунок 3.20 – Зависимость коэффициента инсоляции карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 55°С.Ш.

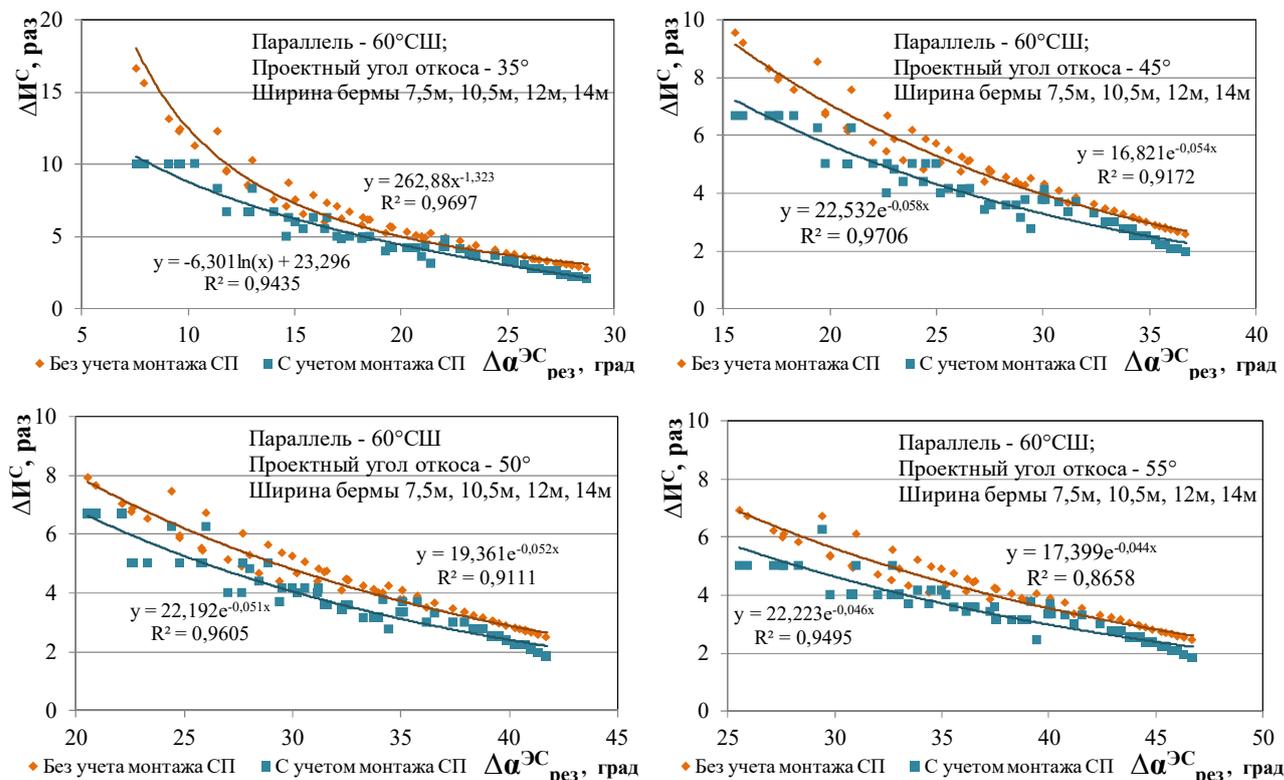


Рисунок 3.21 – Зависимость изменения инсоляции $\Delta И^С$ на откосе карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 60°С.Ш.

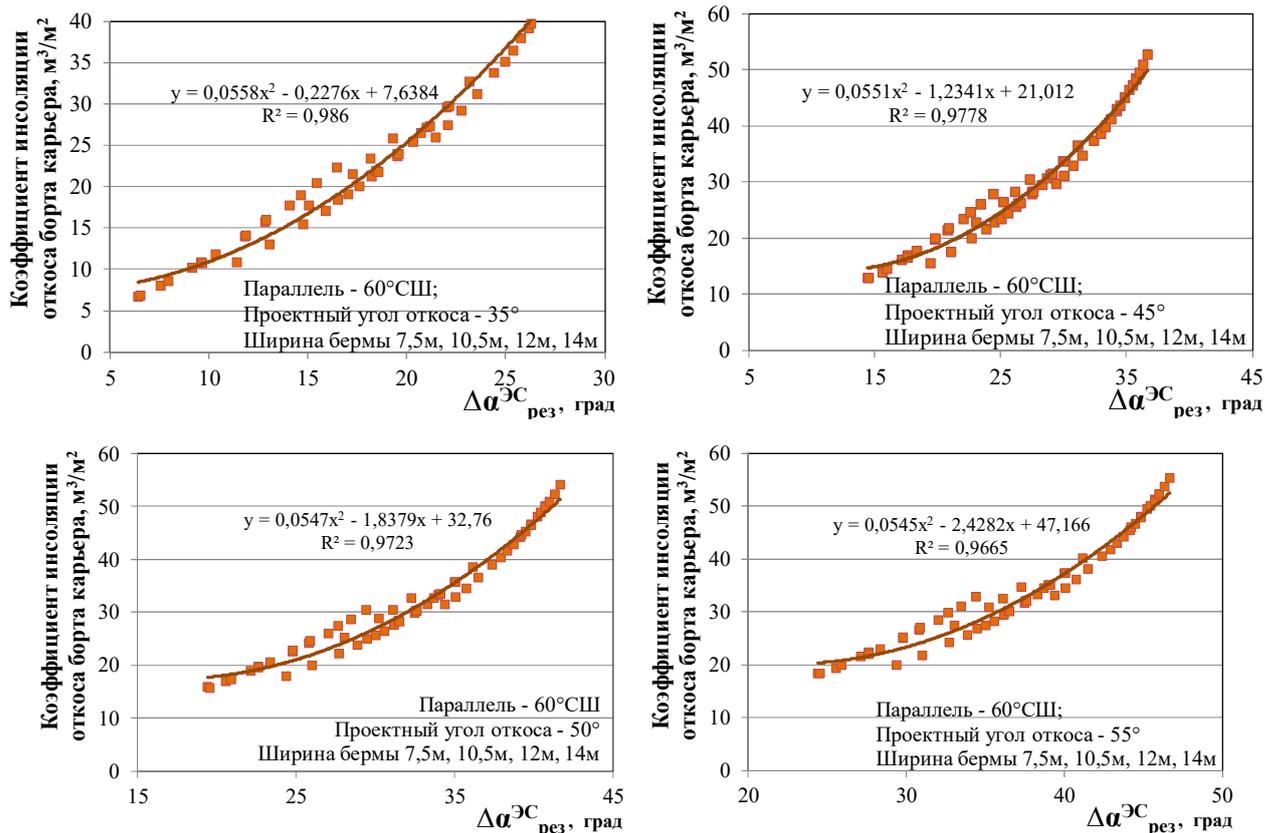
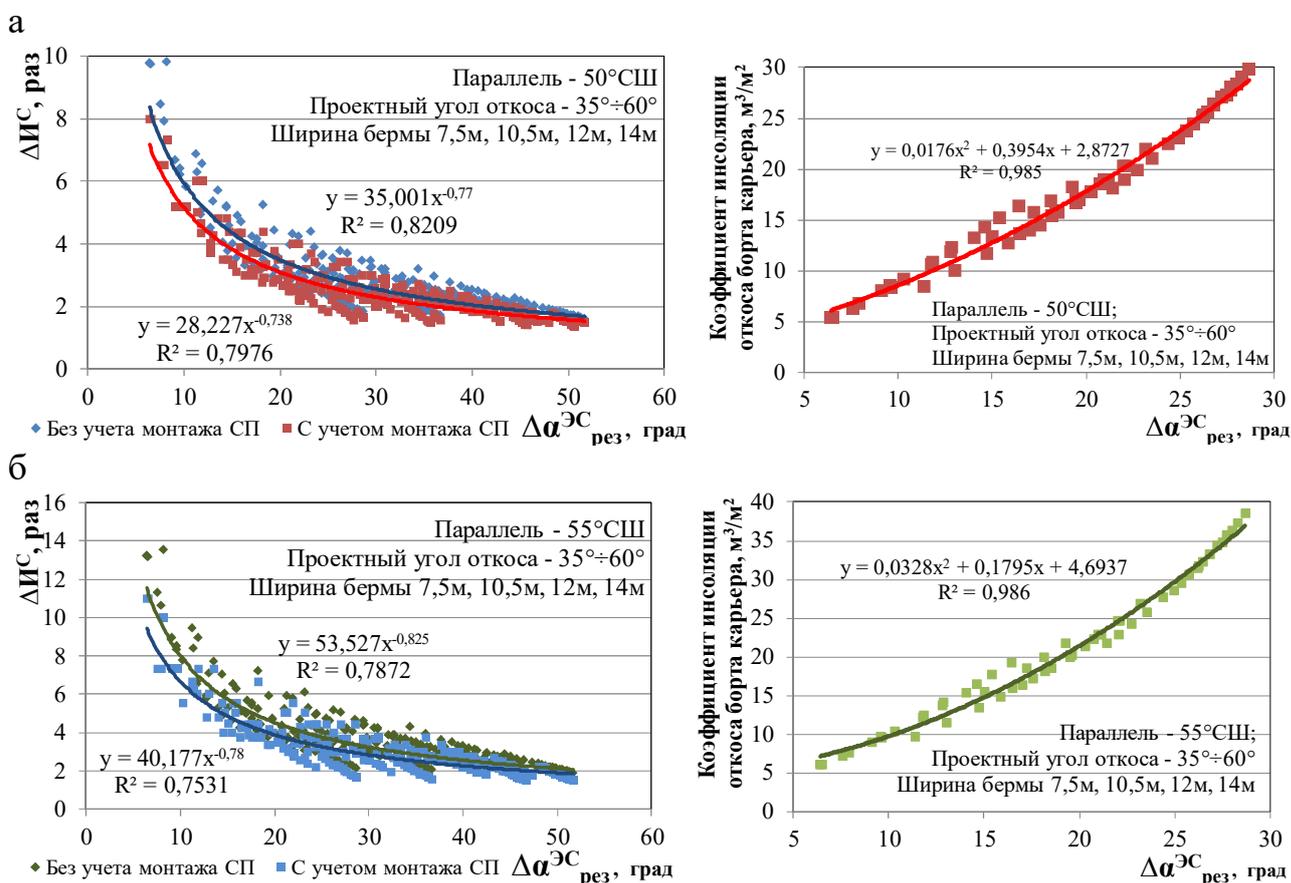


Рисунок 3.22 – Зависимость коэффициента инсоляции карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на 60°С.Ш.



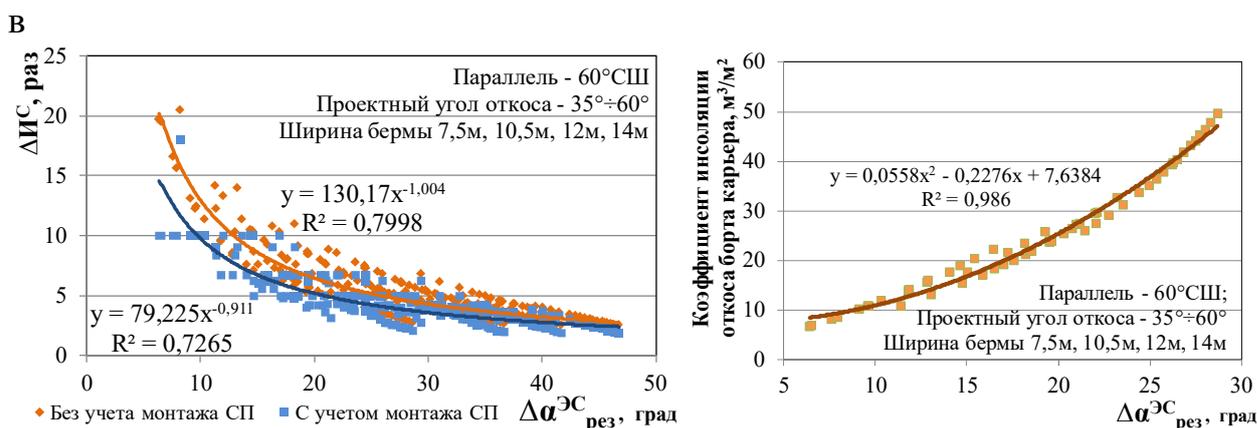


Рисунок 3.23 – Зависимость усредненных значений изменения инсоляции ΔI^C и коэффициента инсоляции карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений на: а – 50°С.Ш.; б – 55°С.Ш.; в – 60°С.Ш.

Анализируя зависимости, представленные на рисунках 3.17–3.23, можно сделать вывод, что максимальные значения прироста инсоляции наблюдаются при выполаживании участка северного борта карьера в диапазоне 10–15°. При этом коэффициент инсоляции карьера находится в минимальных занижениях – до 15 м³/м², независимо от местоположения месторождения. Совмещенные зависимости усредненных значений изменения инсоляции и коэффициента инсоляции карьера от угла выполаживания представлены на рисунке 3.24.

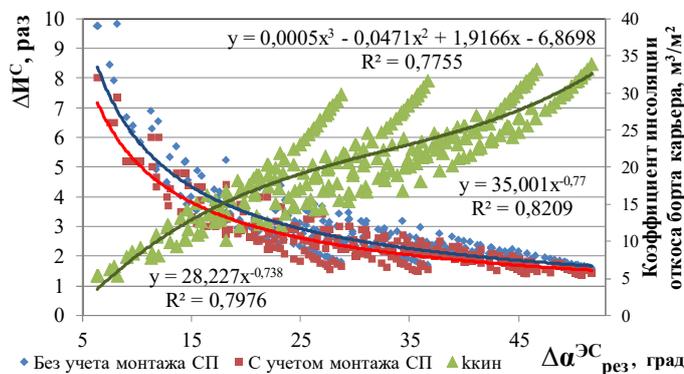


Рисунок 3.24 – Совмещенные зависимости усредненных значений изменения инсоляции ΔI^C и коэффициента инсоляции карьера от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений 50°С.Ш.

С целью оперативного определения изменения объемов горных пород и коэффициента инсоляции при различных вариантах конструкции и параметрах участка северного борта карьера разработана номограмма (рисунок 3.25).

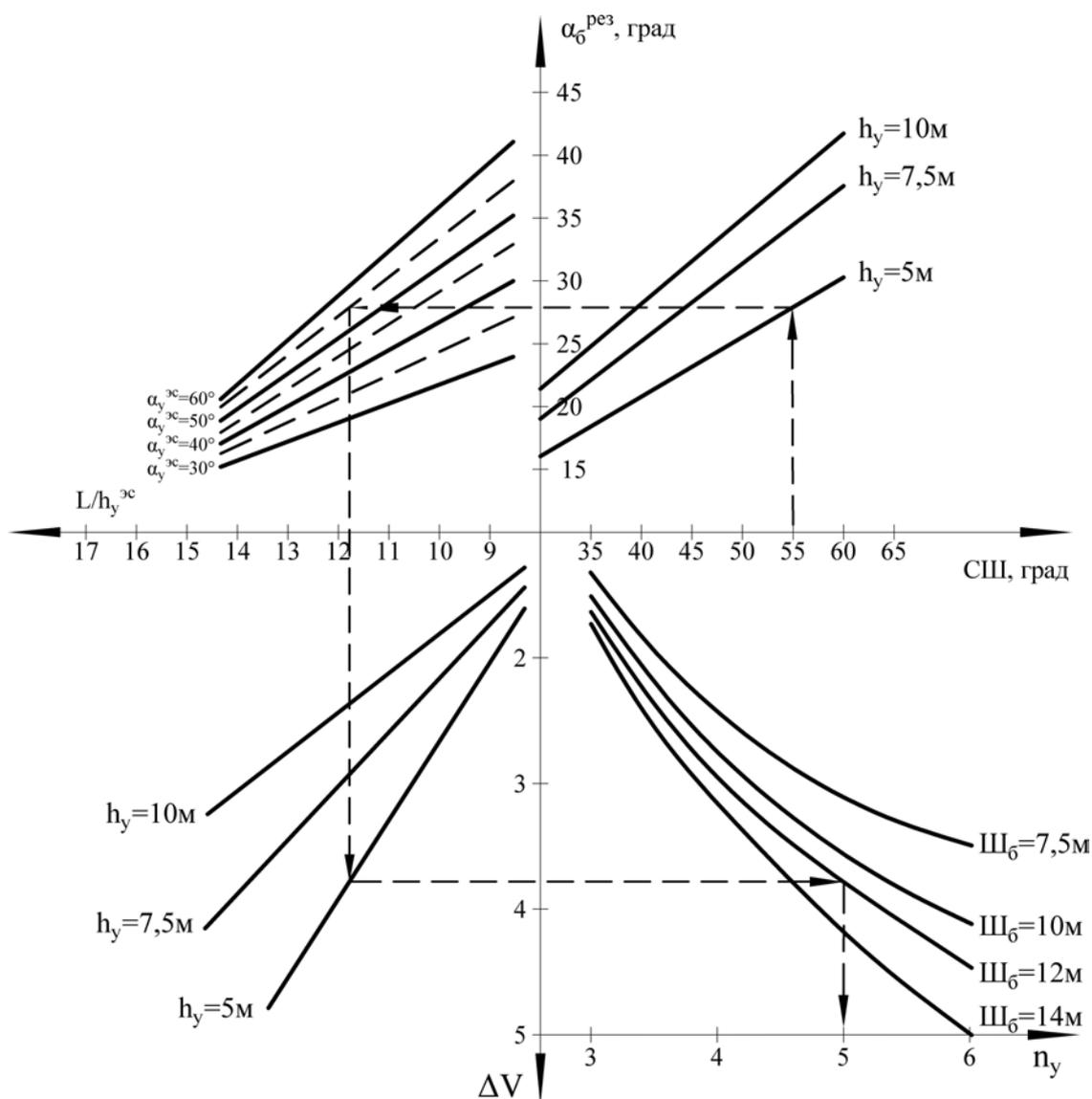


Рисунок 3.25 – Номограмма для определения изменения объемов горных пород при различных конструкциях и параметрах участка северного борта карьера

На основе проведенных исследований влияния изменения конструкции и параметров откоса участка северного борта установлено, что с увеличением величины выполаживания результирующего угла верхних уступов карьера свыше $15\text{--}20^\circ$ ведет к значительному снижению прироста инсоляции при резком росте коэффициента инсоляции. При этом технологически выполаживание угла в указанном диапазоне целесообразно обеспечивать снижением количества уступов при минимальной ширине бермы. Зависимость коэффициента инсоляции карьера и изменения инсоляции поверхности его северного откоса борта от количества уступов представлено на рисунке 3.26.

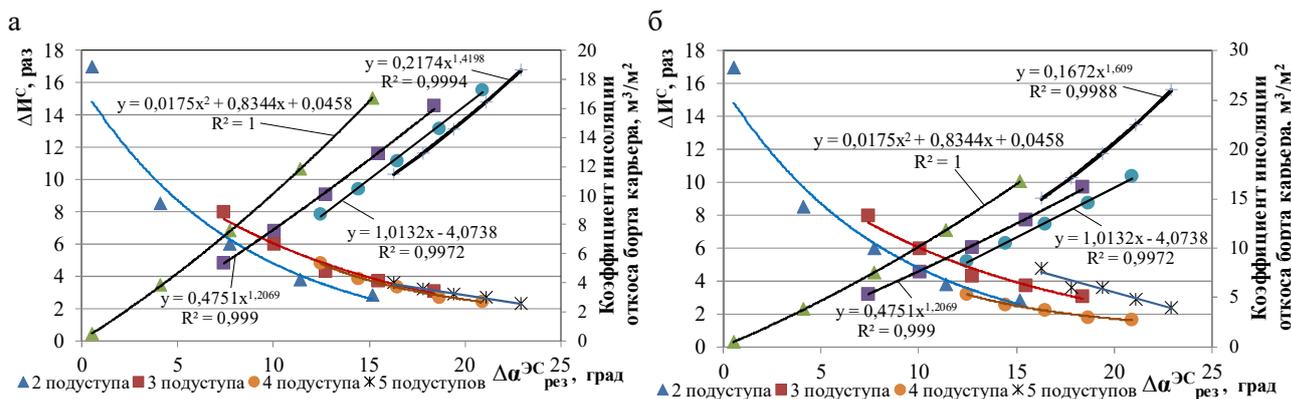


Рисунок 3.26 – Зависимость коэффициента инсоляции карьера и изменения инсоляции поверхности его северного откоса борта для различного количества уступов при расположении карьера: а – 50° С.Ш.; б – 60° С.Ш.

Согласно зависимостям, представленным на рисунке 3.26, независимо от количества подступов оптимальное соотношение коэффициента инсоляции и количественного значения инсоляции находится в диапазоне выполажения результирующего угла 7–12°. В случае когда проектный результирующий угол откоса круче или равен углу подступа, технологически выполаживание предусматривается изменением ширины бермы.

Таким образом, обоснование конструкции и параметров верхних уступов участка северного борта обеспечивает возможность увеличения количественного значения инсоляции до 9 раз в сравнении с проектными параметрами, при этом минимальный коэффициент инсоляции достигается при минимальном количестве уступов. Однако ограничением по высоте уступа выступает высота мачты для установки солнечных панелей. Поэтому рациональным является решение проектирования верхних уступов северного борта карьера в диапазоне параметров: высота уступа 5–10 м, угол откоса 30–50°. С целью повышения полноты комплексного использования участка недр необходимо исследовать параметры южного откоса отвалов при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии.

3.2 Исследование влияния конструкции и параметров отвалов на объемы горных работ при использовании солнечной и ветровой энергии

В отличие от карьера инсоляция отвала приходится на поверхность его южного откоса и горизонтальной площадки. В связи с этим в работе исследовано влияние конструкции южного откоса отвала на изменение объемов вскрышных пород в приоткосной части.

Следует отметить, что угол естественного откоса рыхлых и скальных

вскрышных пород в движении варьируется в диапазоне $20\text{--}40^\circ$ [45]. В связи с этим исследование конструкции южного откоса отвала производилось для угла откоса яруса $20, 30, 35$ и 40° . Технологически угол откоса яруса отвала в подавляющем большинстве случаев составляет 35° и является проектной величиной, поэтому на практике регулирование результирующего угла откоса южного отвала в работе предусматривается путем изменения ширины бермы между ярусами. При этом минимальная величина ширины бермы должна обеспечивать возможность монтажа и обслуживания установок с солнечными панелями и соблюдение требований промышленной безопасности. Конструкция горизонтальной транспортной бермы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии представлена на рисунке 3.27.



Рисунок 3.27 – Конструкция горизонтальной транспортной бермы для монтажа и обслуживания солнечных панелей:

- $P_п$ – ширина проезжей части, м; $P_к$ – ширина кювета по верху, м;
 $P_в$ – ширина предохранительного вала, м; b – ширина водоотводной канавки, м;
 $h_в$ – высота предохранительного вала, м; $P_о'$ – расстояние от проезжей части до ограждающего вал; $P_м$ – ширина площадки под мачту, м

Конструкция южного откоса отвала принципиально не отличается от конструкции северного борта карьера. В работе предложенная в разделе 3.1 методика определения конструкции и параметров откосов уступа является универсальной и применима к откосу отвала. С целью исключения необходимости адаптации методики с откоса карьера на откос отвала следует считать, что ярус отвала является эквивалентом подступа откоса карьера.

Все размеры элементов конструкции бермы как в карьере, так и на отвале при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии следует рассматривать как условно постоянные и переменные. Постоянные по величине элементы связаны с обеспечением безопасности ведения горных работ, а также монтажа и эксплуатации солнечных установок. К ним относятся все элементы

за исключением площадки для монтажа мачты. Именно площадка для монтажа мачты является переменной по величине элементом конструкции бермы, величина которой определяется с учетом высоты мачты и количества размещенных на ней солнечных панелей, поскольку надежное фиксирование мачты обеспечивается ее установкой на фундамент. При этом размеры фундамента определяются с учетом массы мачты и солнечных панелей.

Следует отметить, что верхние уступы карьеров и вскрышные породы, складываемые в отвал, имеют слабую несущую способность. В работе рассматривается возможность установки мачт для монтажа солнечных панелей и ветрогенераторов с использованием глубокого фундамента. В данном случае вся нагрузка от конструкции по преобразованию солнечной и ветровой энергии будет передаваться на грунт через боковые поверхности соприкосновения фундамента с грунтом и его торцы [22]. Схема устройства глубокого фундамента для монтажа мачты солнечной станции и ветрогенератора представлена на рисунке 3.28.

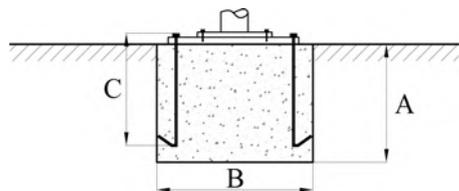


Рисунок 3.28 – Схема устройства глубокого фундамента для монтажа мачты

Согласно данным, представленным в руководстве пользователя «Ветрогенераторы горизонтально-осевые Серия „Condor Air“» (мощность от 10 до 60 кВт) [130], ширина фундамента в зависимости от массы нагрузки от 1,7 до 4,5 т варьируется в диапазоне 1,3–3 м (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Размеры фундамента исходя из массы мачты и установленной на ней солнечной станции или ветрогенератора

Вес конструкции, кг	M, м	A, м	B, м	C, м
150	2	2	1,3	1,1
900	5	2,5	2	1,3
1100	6	2,7	2	1,4
1700	6	2,7	2	1,4
2350	6	3	2	1,4
2500	7	3	2,5	1,4
3850	8	3,5	3	1,4
4000	9	4	3	1,5
4300	9	4	3	1,5
4500	9	4	3	1,5

С целью определения минимальной ширины бермы, с учетом требований СНиП [84], для монтажа и обслуживания установок для использования природной и техногенной возобновляемой энергии предусматривается использование грузовых и специальных автомобилей с правом выхода на дороги общего пользования, ширина которых не превышает 2,5 м. При этом предусматривается, что по берме будет организовано одностороннее движение, а проводимые работы эквивалентны стесненным условиям. На рисунке 3.29 представлена конструкция бермы на верхних горизонтах карьера и на ярусах отвала при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии с минимальными (рисунок 3.29, а) и нормальными (рисунок 3.29, б) значениями.

На основе разработанной в разделе 3.1 методики определения конструкции и параметров откосов уступа модели проведены исследования влияния высоты ярусов/подступов на ширину бермы с учетом высоты мачты и суммарного количества установленных на панели (рисунок 3.30).

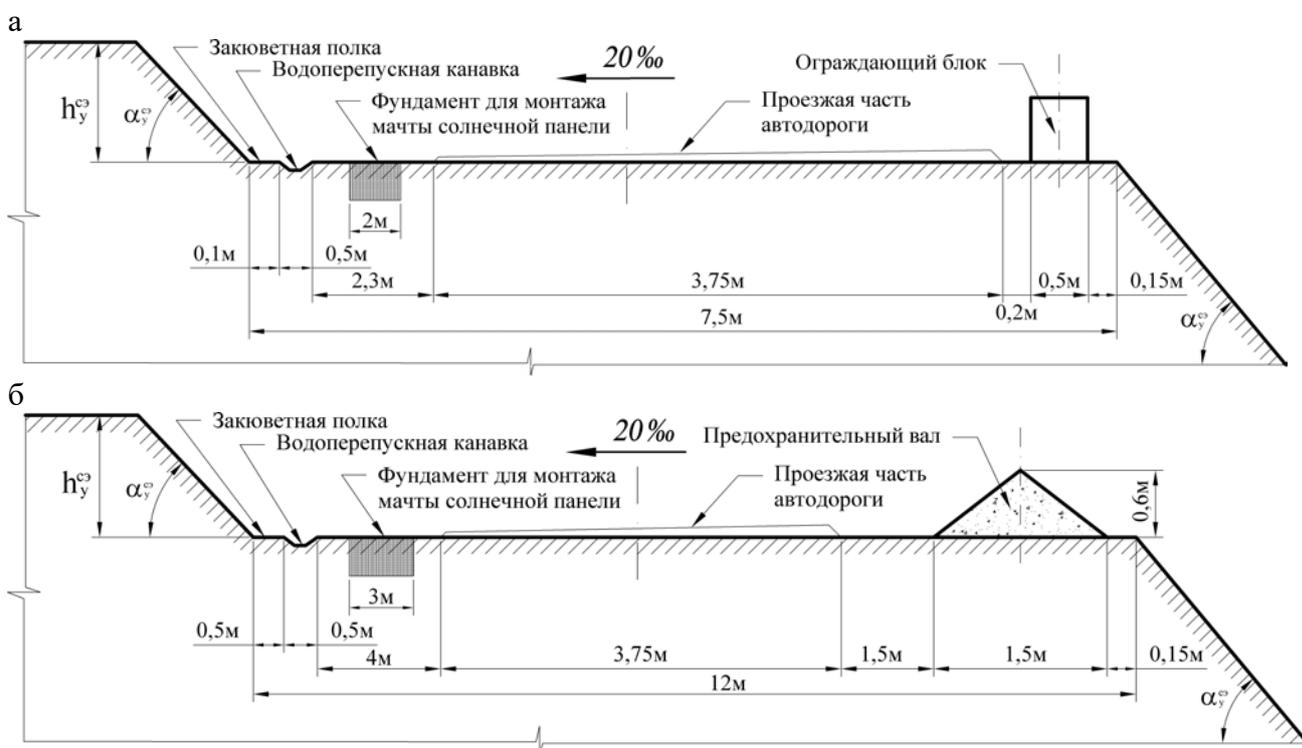


Рисунок 3.29 – Конструкция бермы на верхних горизонтах карьера и на ярусах отвала при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии:

а – с минимальными значениями; б – с нормальными значениями

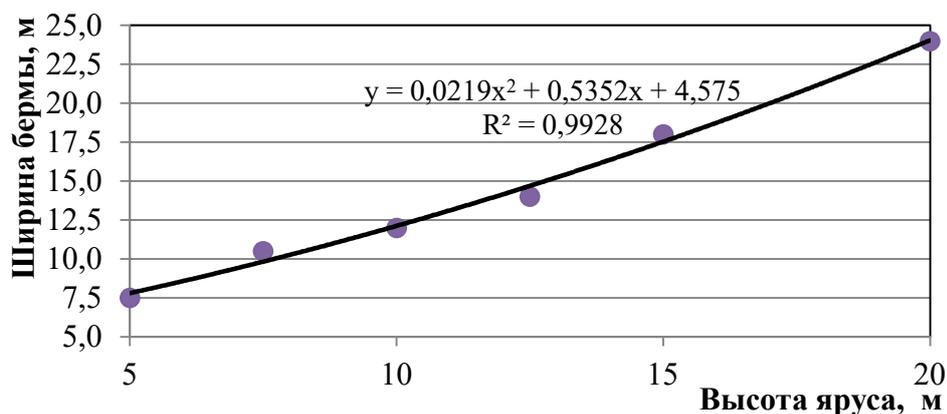


Рисунок 3.30 – Зависимость ширины бермы от высоты яруса отвала

Анализируя зависимость ширины бермы от высоты яруса, можно сделать вывод, что они находятся не в линейной функциональной связи и увеличение высоты откоса в 2 раза приводит в среднем к увеличению ширины бермы на четверть. С целью установления зависимостей изменения инсоляции от конструкции южного откоса отвала разработана схема к ее расчету (рисунок 3.31).

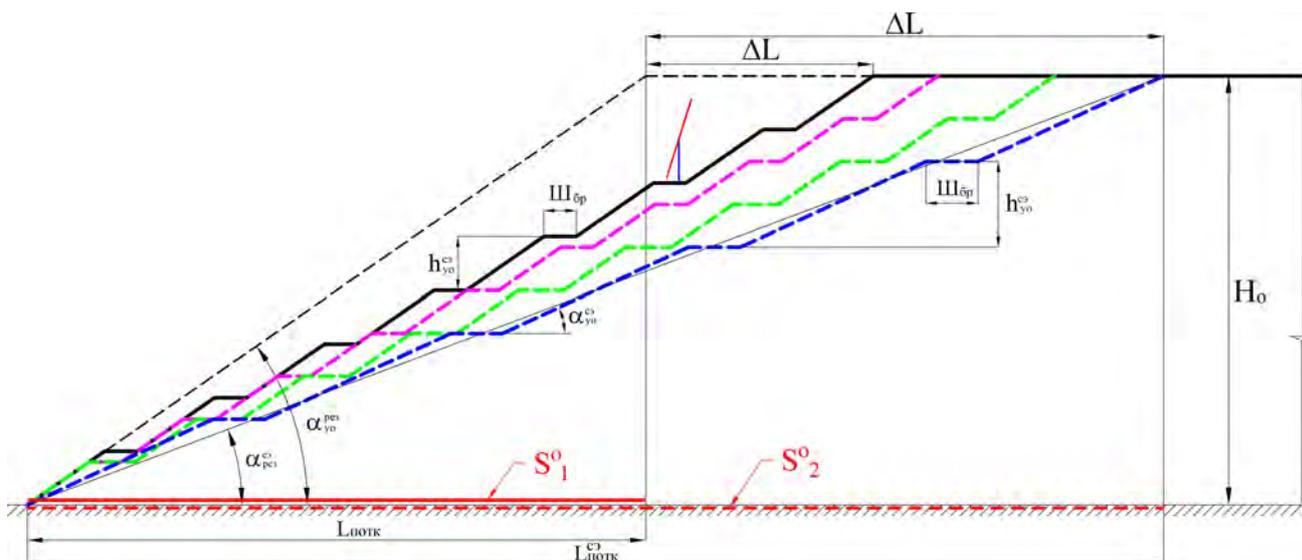


Рисунок 3.31 – Схема к расчету инсоляции на южном откосе отвала:

- H_0 – высота отвала, м; S^o_1 – площадь дневной поверхности в пределах проекции на горизонтальную плоскость проектного откоса южного склона отвала, m^2 ;
 S^o_2 – площадь дневной поверхности в пределах проекции на горизонтальную плоскость при выполаживании южного откоса отвала, m^2 ;
 $L_{потк}$ – длина проекции проектного откоса на горизонтальную плоскость, м;
 $L^со_{потк}$ – длина проекции откоса южного склона отвала на горизонтальную плоскость при его выполаживании для установки солнечных панелей, м

Поскольку ширина бермы, высота яруса/подступа и их количество являются определяющими, результирующий угол откоса отвала в работе прове-

дено исследование изменения инсоляции поверхности южного откоса отвала от угла яруса, при различной величине бермы, а также коэффициента инсоляции отвала при различном количестве ярусов (рисунок 3.32).

Как видно из графиков, представленных на рисунке 3.32, инсоляция откоса отвала для месторождений, находящихся на параллели 50° С.Ш. в 1,5 раза больше, чем на параллели 60°. При этом коэффициент инсоляции в 1,1 раза меньше.

В работе аналогично выполненным расчетам в разделе 3.1 проведены исследования коэффициента инсоляции отвала для различных вариантов конструкции борта карьера и участка его южного откоса применительно к месторождениям, расположенным между 50 и 60° параллелями северной широты. Результаты исследования представлены на рисунке 3.33.

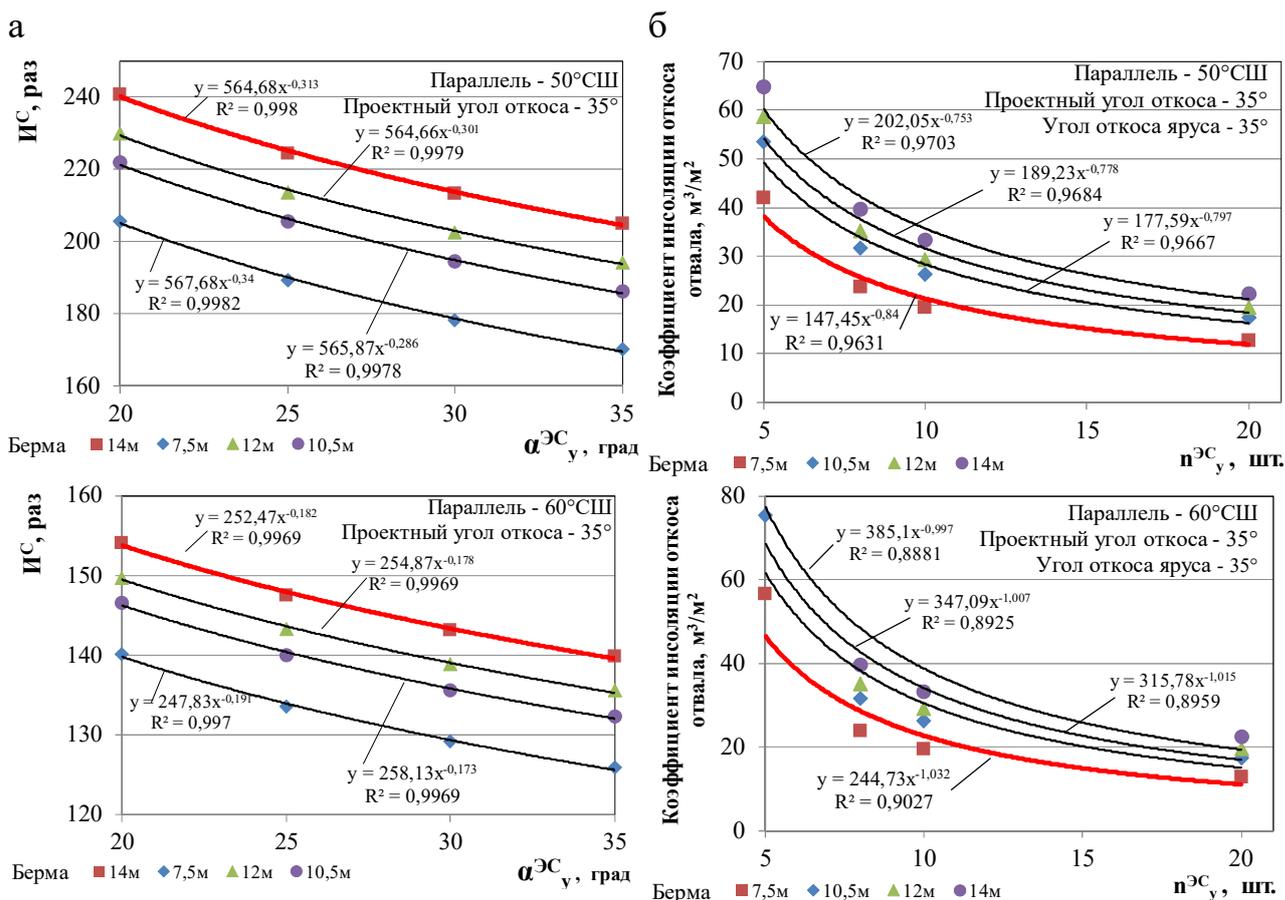


Рисунок 3.32 – Зависимость инсоляции откоса отвала (а) и коэффициент инсоляции отвала (б) от угла откоса яруса и их количества для параллели 50° и 60° С.Ш.

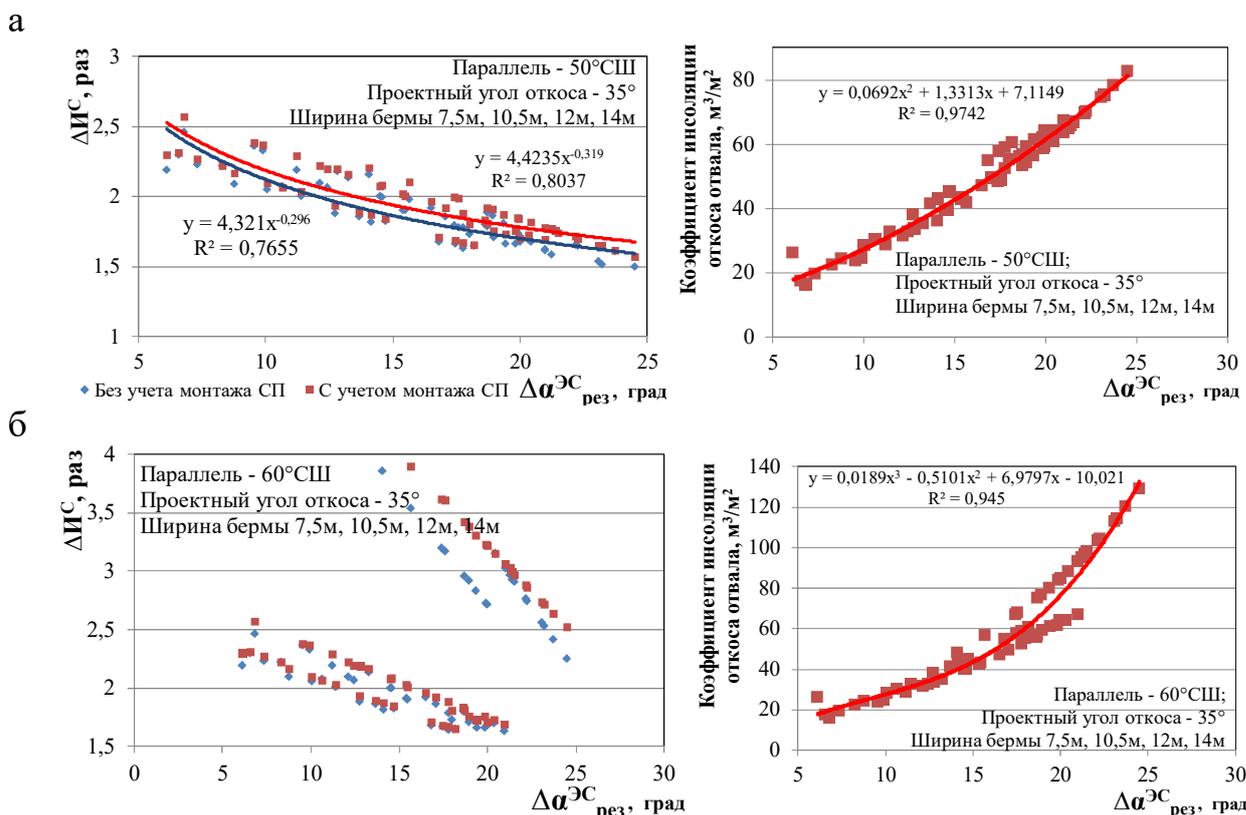


Рисунок 3.33 – Зависимость усредненных значений изменения инсоляции $\Delta ИС^C$ и коэффициента инсоляции отвала от величины угла его выполаживания $\Delta\alpha^{\text{ЭС}}$ рез для месторождений на: а – 50°С.Ш.; б – 60°С.Ш.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 3.33, можно сделать вывод, что максимальные значения прироста инсоляции наблюдаются при минимальном выполаживании участка южного откоса отвала в диапазоне 5–10°. Это объясняется тем, что угол естественного откоса вскрышных пород в среднем составляет 35° и выполаживание результирующего угла не за счет угла откоса яруса, а за счет его высоты и ширины бермы приводит к снижению полезной площади откоса. При этом коэффициент инсоляции отвала составляет 20–25 м³/м² независимо от местоположения месторождения. На рисунке 3.33, б вследствие низкой величины угла солнечного азимута наблюдается расхождение облака точек инсоляции, на этих широтах каждую конструкцию откоса отвала на предмет оптимальности необходимо рассматривать обособленно.

Совмещенные зависимости усредненных значений изменения инсоляции и коэффициента инсоляции отвала от угла выполаживания его откоса с учетом месторасположения исследуемых месторождений между 50 и 60° параллелями северной широты представлены на рисунке 3.34.

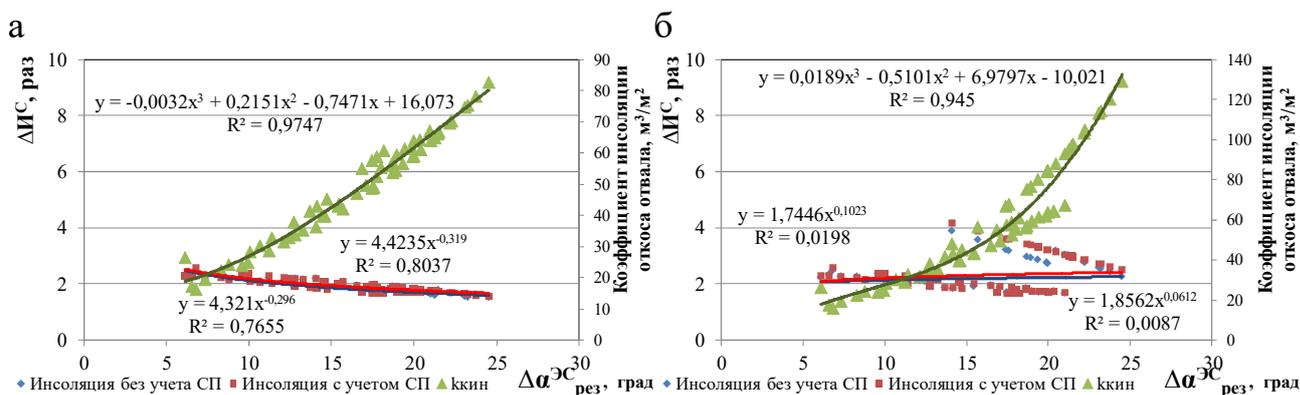


Рисунок 3.34 – Совмещенные зависимости усредненных значений изменения инсоляции ΔI^C и коэффициента инсоляции отвала от величины угла его выполаживания $\Delta \alpha^{\text{ЭС}}_{\text{рез}}$ для месторождений: а – 50°С.Ш.; б – 60°С.Ш.

На основе анализа графиков, представленных на рисунке 3.33, возможно сделать вывод, что коэффициент инсоляции отвала для месторождений, расположенных на параллели 60°С.Ш., в 1,5 раза выше, чем в районе 50°С.Ш. При этом явно существует оптимальная конструкция южного отвала, обеспечивающая максимальную инсоляцию, что достигается при минимальном коэффициенте инсоляции.

С целью определения оптимальной конструкции южного отвала отвала и северного борта карьера разработана математическая оптимизационная модель, системой целевых функций которой является минимизация коэффициента инсоляции при максимизации полезной площади инсоляции с учетом наличия системы ограничений, включающих технологическое обеспечение монтажа и обслуживание установок по преобразованию солнечного излучения в электроэнергию, количество и высоту ярусов/подступов и площадь инсоляции откосов карьера и отвала.

$$\begin{cases} \begin{cases} \mathbb{Q}_{\text{ИН}}^{\text{ГТС}} = \mathbb{Q}_{\text{ИН}}^{\text{К}} + \mathbb{Q}_{\text{ИН}}^{\text{ОТВ}} \rightarrow \mathbb{Q} & ; \\ A + A_0 \rightarrow \mathbb{Q} & , \end{cases} \\ \left\{ \begin{array}{l} \mathbb{Q}_{\text{ИН}}^{\text{К}} = \frac{V_0^{\text{К}}}{A \cdot (\mathbb{Q}_y - 1)} ; \\ \mathbb{Q}_{\text{ИН}}^{\text{ОТВ}} = \frac{V_0^{\text{ОТВ}}}{A \cdot (\mathbb{Q}_y + 1)} ; \\ V_0^{\text{К}} = \frac{(\mathbb{Q}_y \cdot h_y^{\text{СЗ}})^2 \cdot (\text{ctg } \mathbb{Q}_{\text{рез}}^{\text{СЗ}} - \text{ctg } \mathbb{Q}_6^{\text{ПЕЗ}})}{2} ; \\ V_0^{\text{ОТВ}} = \frac{(\mathbb{Q}_y \cdot h_{y0}^{\text{СЗ}})^2 \cdot (\text{ctg } \mathbb{Q}_{\text{рез}}^{\text{СЗ}0} - \text{ctg } \mathbb{Q}_0^{\text{ПЕЗ}})}{2} ; \\ A = (h_y^{\text{СЗ}} + (\text{Ш}_{\text{БП}} + h_y^{\text{СЗ}} \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}}) \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}}) \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}} ; \\ A_0 = (h_{y0}^{\text{СЗ}} + (\text{Ш}_{\text{БП}} + h_{y0}^{\text{СЗ}} \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}}) \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}}) \cdot \mathbb{Q}_{\text{СЗ}} , \end{array} \right. \end{cases} \quad (3.19)$$

где $n_{я}$ – количество ярусов отвала, шт.;

h_{yo}^{cs} – высота яруса отвала, град;

φ_{yo}^{cs} – угол откоса яруса отвала, град;

$\varphi_{рез}^{cs0}$ – результирующий угол южного откоса отвала при выполаживании, град;

$\text{ctg } \varphi_0^{рез}$ – проектный угол южного откоса отвала, град;

A_0 – полезная площадь инсоляции при установке солнечных панелей на откосе отвала, м^2 .

Согласно проведенным исследованиям определения оптимальной конструкции откосов отвала и борта карьера, существует бесчисленное множество решений, удовлетворяющих системе ограничений при достижении системы целевых функций. Необходимость именно целевых функций обусловлено тем, что если оптимизировать по минимуму коэффициент инсоляции, всегда оптимальными являются результаты с максимально допустимым углом откосов подступов/ярусов. В случае максимизирования полезной площади инсоляции, наоборот значение угла откоса подступа/яруса стремится к минимальному значению. Поэтому система целевых функций обеспечивает пул параметров, являющихся оптимальными для заданных условий.

В результате выполаживания откоса отвала возникает вопрос размещения дополнительных объемов вскрышных на ограниченной площади, отведенной под внешний отвал. В работе предлагается осуществлять наращивание высоты отвала для размещения дополнительных объемов вскрыши, которые не были складированы в проектом контуре южного склона отвала.

В отличие от карьера, поверхность отвала может быть эффективно использована не только для преобразования солнечного излучения, но и ветровой энергии. В работе с целью исследования влияния конструкции и параметров внешнего отвала на повышение эффективности преобразования ветровой энергии в электрическую разработана методика моделирования параметров карьера и отвала с целью оценки их влияния на воздушные потоки в пределах осваиваемого участка недр.

В работе предложены технические решения по размещению ветрогенера-

торов непосредственно на откосах отвала с подветренной стороны и непосредственно на его поверхности. С целью определения влияния параметров горнотехнической системы на энергетический потенциал потоков воздушных масс, разработана методика компьютерного моделирования конструкции и параметров карьера и отвала их влияние на изменение скорости ветра. Для этого использовался программный комплекс расчета течения жидкостей.

С целью проверки адекватности разработанной компьютерной модели реальным условиям проведен натурный эксперимент оценки скорости ветра в условиях месторождения «Малый Куйбас» и «Агаповское», являющихся сырьевой базой ПАО «ММК», г. Магнитогорск.

Методика моделирования и проведения эксперимента

Постановка задачи эксперимента

Основная задача эксперимента сводится к установлению влияния основных параметров горнотехнической системы на изменение движения воздушных потоков с целью выявления зон с повышенной и пониженной скоростью ветра, относительно скорости ветра преобладающей на территории ведения горных работ. Установление данных зависимостей позволит определить рациональные параметры горнотехнической системы с целенаправленным формированием зон для монтажа и эксплуатации ветрогенераторных установок.

Выполнение эксперимента предполагает три этапа:

1. Разработка модели функционирующей горнотехнической системы в современных информационных продуктах и проведение аэродинамического расчета.
2. Получение реальных/натурных данных скорости ветра в условиях функционирующей горнотехнической системы.
3. Верификация расчетных данных с натурными, корректировка модели и непосредственно проведение исследований влияния основных параметров горнотехнической системы на формирование зон концентрации потоков ветра и его характеристики.

Средства проведения эксперимента

В связи с выполнением эксперимента в натуре в условиях действующих

горнотехнических сооружений и средствами компьютерного моделирования в работе используются приборы для определения скорости ветра и программные комплексы для моделирования элементов горнотехнической системы, а также потоков воздушных масс.

С целью разработки компьютерной модели горнотехнической системы предусматривается использовать три типа программных комплексов систем автоматизированного проектирования (САПР):

- горно-геологические информационные системы (ГГИС);
- трёхмерные системы автоматизированного проектирования и черчения (CAD);
- система компьютерного проектирования, технического анализа и подготовки изделий к производству любой сложности (CAE).

Первый комплекс программных продуктов предназначен для непосредственного проектирования горнотехнической системы. Моделирование горнотехнических сооружений может быть выполнено в таких ГГИС, как Geomix, Mineframe, Micromine, Surpac и аналогичных.

Второй комплекс программных продуктов обеспечивает подготовку и передачу трехмерной твердотельной модели горнотехнической системы в программный комплекс технического анализа. Организовать экспорт и импорт модели из ГГИС в CAE-системы представляется возможным при использовании CAD-систем, таких как, например, nanoCAD, Autocad, FreeCAD и аналогичных.

Третий комплекс программных продуктов позволяет количественно оценивать влияние формы и параметров горнотехнической системы на изменение скорости и направления воздушных масс. Инженерный анализ для общего параметрического моделирования потока на основе методов конечных элементов и конечных объемов целесообразно выполнить в таких программных продуктах, как OpenFOAM, COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent, SolidWorks Flow Simulation и аналогичных.

Фиксирование фактических данных направления и скорости потока ветра предусматривается анемометром с интегрированным метеорологическим флюгелом типа «Мегеон 11030» (рисунок 3.35).



Рисунок 3.35 – Анемометром с интегрированным метеорологическим флюгером типа «Мегеон 11030»

Данные местности и параметров горнотехнических сооружений Агаповского месторождения известняков и железорудного месторождения «Малый Куйбас» получены на основе маркшейдерской съемки сотрудниками Рудника ГОП ПАО «ММК».

Подробно методика моделирования горнотехнической системы и аэродинамического анализа представлена в приложении 2.

Исходные данные, допущения при проведении эксперимента и проверка адекватности модели

С целью проверки адекватности цифровой модели горнотехнической системы, системы ограничений и методов расчета воздушных потоков, фактическое положение горных работ на Агаповском месторождении известняков и железорудном месторождении «Малый Куйбас» принято за исходное состояние, для которого разработаны цифровые двойники. Намеченные места проведения измерений скорости и направления ветра на исследуемых месторождениях представлены на рисунках 3.36 и 3.37, координаты точек и высотные отметки представлены в таблицах 3.3 и 3.4. Фактические данные замеров и результаты мониторинга, проводимые на каждом месторождении в течение 3 суток представлены в приложении 3. Сходимость модели составила 97%.

В связи со значительными линейными размерами объектов горнотехнических систем, высокой изменчивостью параметров отдельных их элементов на единицу объема пространства и ограниченными вычислительными мощностями доступных компьютеров в работе при расчетах приняты следующие допущения: отсутствие силы тяжести и дневная поверхность месторождения является – «идеальной», то есть с нулевым сопротивлением за счет отсутствия шероховатости и исключительной горизонтальности. При этом объем отвала и площадь его основания для каждого варианта формы карьера принималась постоянной по величине, моделировалось изменение угла откоса отвала и его высоты.

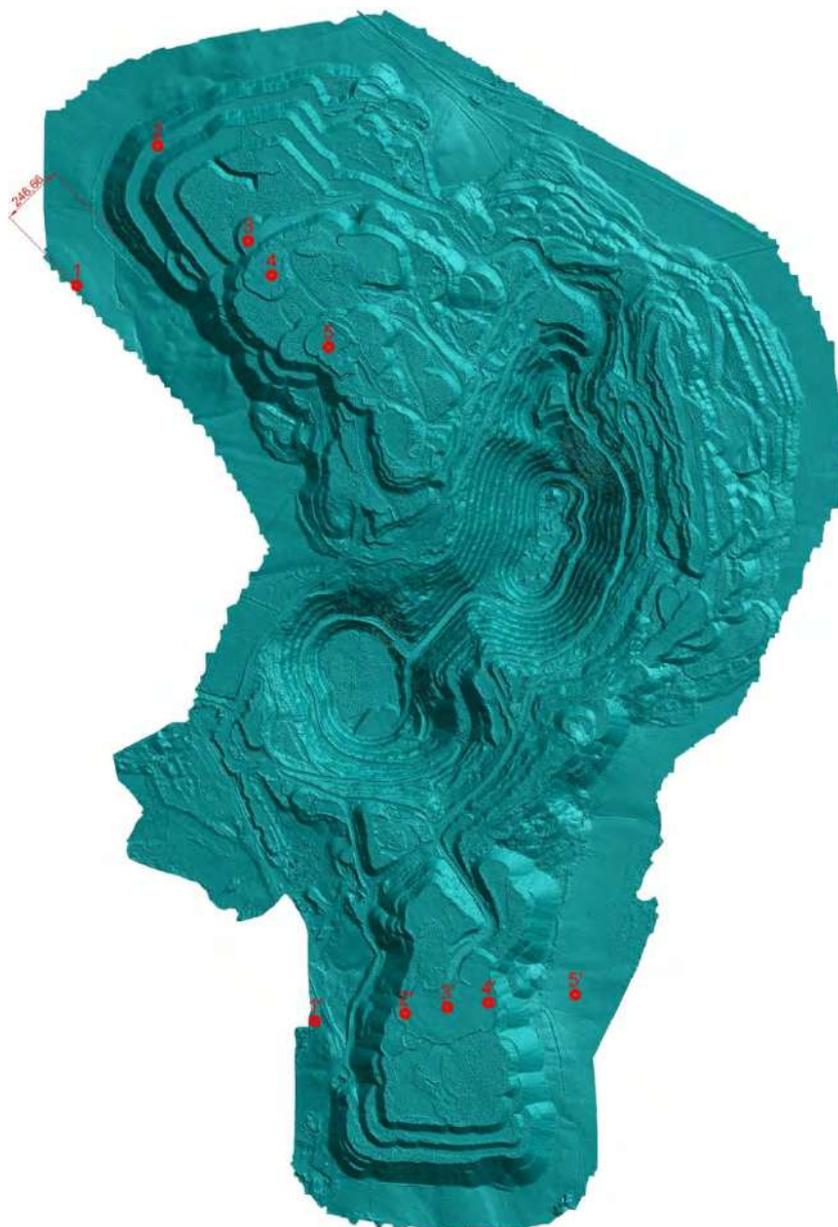


Рисунок 3.36 – Местоположение точек замеров на месторождении Малый Куйбас

Таблица 3.3 – Координаты точек мониторинга и их абсолютные отметки на месторождении Малый Куйбас

Номер точки	Координаты		Абсолютная отметка
	X	Y	
Северный отвал			
1	16527.7385	18706.3422	431.62
2	16841.9415	19252.7965	503.87
3	17191.5337	18880.7722	558.11
4	17282.5445	18746.3859	569.38
5	17502.2488	18466.8346	573.94
Южный отвал			
1'	17450.0414	15837.345	488.83
2'	17800.2574	15866.1251	580.09
3'	17961.6851	15890.5733	580.58
4'	18122.0359	15908.8217	578.99
5'	18457.3289	15939.0965	478.29

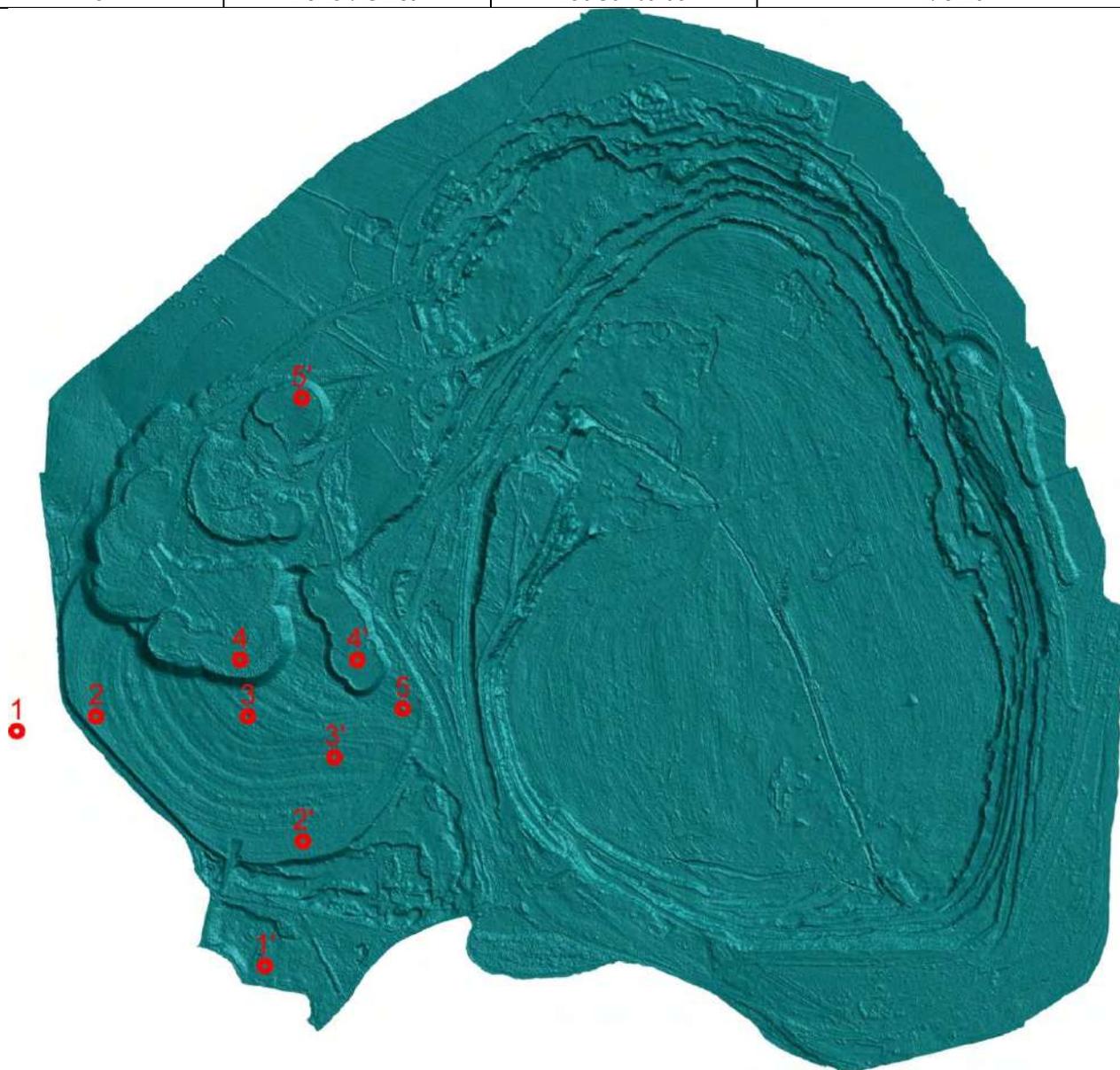


Рисунок 3.37 – Местоположение точек замеров на месторождении Агаповское

Таблица 3.4 – Координаты точек мониторинга и их абсолютные отметки на Агаповском месторождении

Номер точки	Координаты		Абсолютная отметка
	X	Y	
Северный отвал			
1	-60355.193	10498.4643	335.28
2	-60144.5316	10537.8696	341.37
3	-59741.5887	10537.8696	344.66
4	-59762.0489	10690.009	361.34
5	-59330.0522	10557.9137	340.18
Южный отвал			
1'	-59696.0808	9869.4024	333.75
2'	-59595.3171	10203.5068	341.05
3'	-59511.3836	10428.5603	340.67
4'	-59450.9309	10688.6235	351.87
5'	-59598.8103	11389.3825	368.47

При этом геометрические размеры объектов горнотехнической системы в процессе моделирования приняты в масштабе 1:1000, то есть 1 м реального горнотехнического сооружения соответствует 1 мм модели. В связи с этим при моделировании воздушного потока скорость ветра принята 1 мм/с, что эквивалентно 1 м/с в натуральных условиях.

Программа моделирования и эксперимента

Поскольку на формирование воздушного потока в пределах осваиваемого участка недр оказывает влияние не только форма и параметры отвалов, но и их расположение относительно выработанного пространства карьера, в работе предусматривается проведение исследований путем компьютерного моделирования для двух вариантов: вдоль карьера и за карьером, относительно преобладающих ветров (рисунок 3.38). При этом второй вариант предусматривает создание рассекающей преграды и подпирающей стенки.

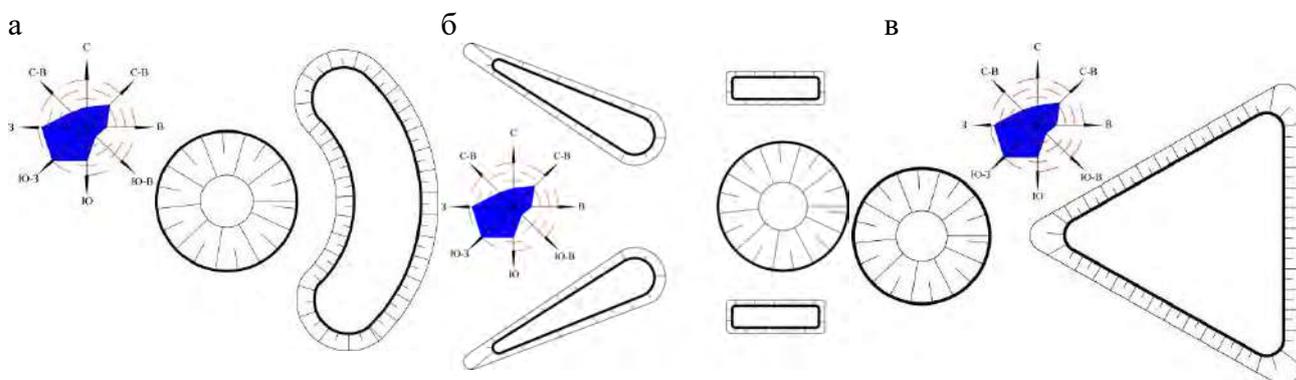


Рисунок 3.38 – Схемы исследуемых форм отвалов и их расположение относительно карьера:

а – за карьером, подпирающая стенка; б – вдоль карьера; в – за карьером, рассекающая преграда

В соответствии с разработанной методикой моделирования были проведены исследования различных форм и параметров отвалов с учетом технологических мероприятий, обеспечивающих результирующий угол откоса 12, 25 и 35° при высоте отвала до 140 м. Промежуточные материалы и результаты моделирования представлены в приложении 2. Установленные зависимости изменения скорости ветра от высоты отвала и его результирующего угла представлены на рисунках 3.39–3.41.

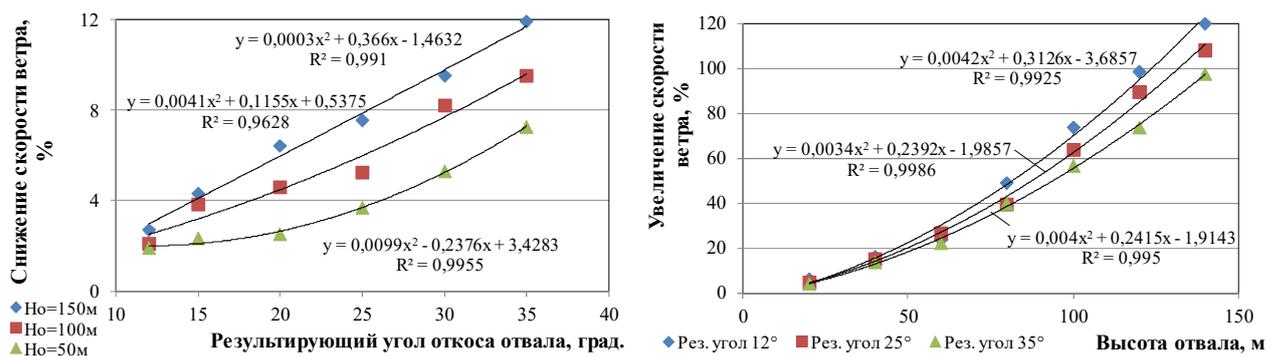


Рисунок 3.39 – Зависимость изменения скорости ветра от высоты отвала и его результирующего угла для условий подпирающей стенки

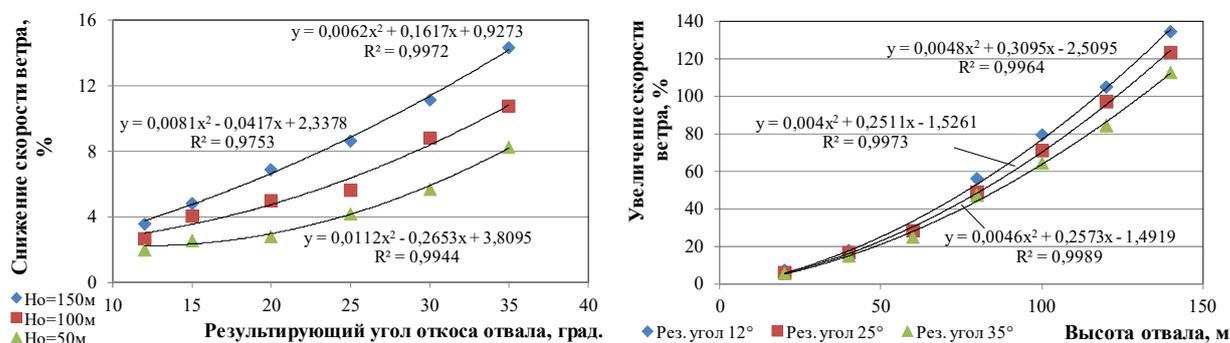


Рисунок 3.40 – Зависимость изменения скорости ветра от высоты отвала и его результирующего угла при расположении вдоль карьера

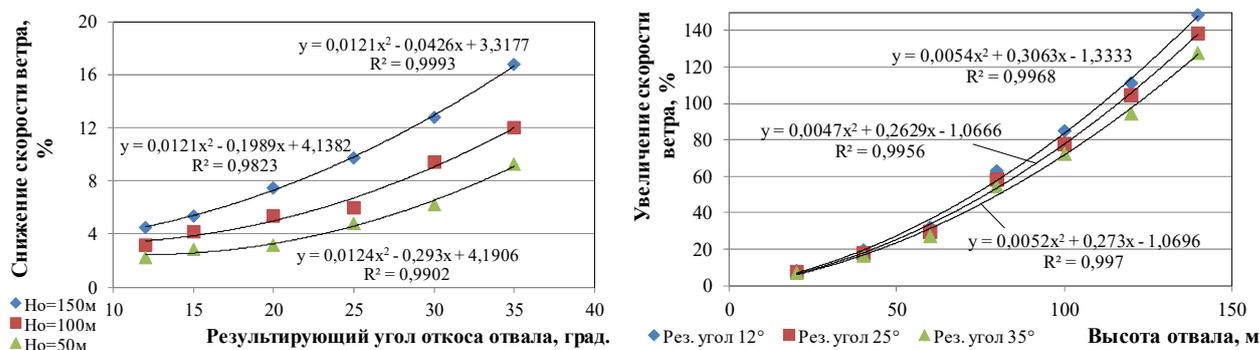


Рисунок 3.41 – Зависимость изменения скорости ветра от высоты отвала и его результирующего угла для условий рассекающей преграды

Анализируя зависимости, представленные на рисунках 3.39–3.41, можно сделать вывод что увеличение высоты отвала независимо от его расположения относительно карьера ведет к приросту скорости ветра в среднем до 1,5 раз, при этом выкручивание результирующего угла откоса приводит к снижению скорости ветра в среднем на 10%. Следует отметить, что при высоте отвала выше 50 м выявленные зависимости изменения скорости проявляются более отчетливо.

С целью обеспечения технической возможности преобразования энергии ветра в электрическую в пределах горнотехнической системы с максимальной эффективностью в работе предложена конструкция откоса отвала со стороны преобладающих ветров, учитывающая размещение на нем ветрогенераторов, а также на его верхней площадке. В работе обосновано, что для размещения на уступах отвала необходимо использовать вертикальные ветрогенераторы, так как они разработаны для местности порывистыми ветрами и их работа не зависит от направления ветра, при этом ротор способен захватывать потоки ветра по всей высоте лопасти, при этом оказывается минимальная вибрация на мачту. Схема монтажа ветрогенератора на откосе отвала представлена на рисунке 3.42.

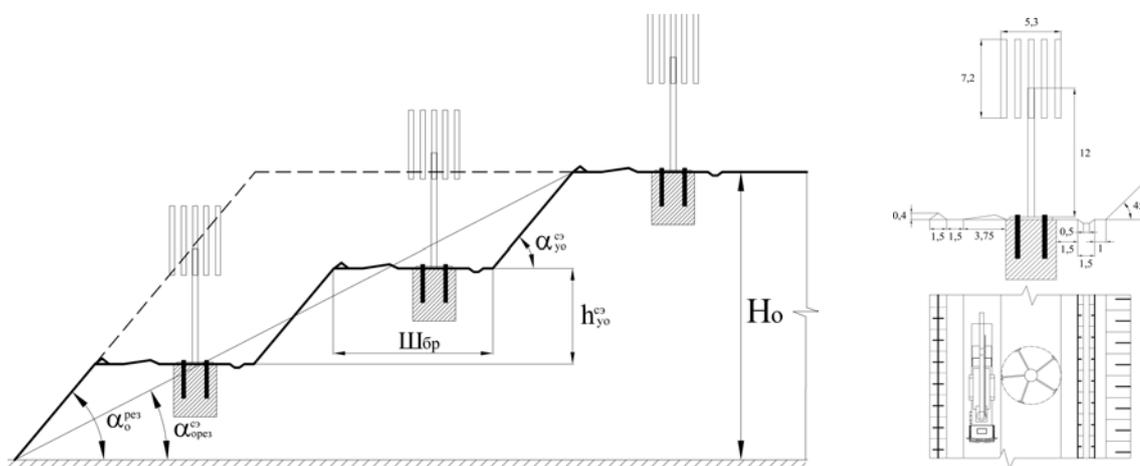


Рисунок 3.42 – Схема монтажа ветрогенератора на откосе отвала

Эффективность ветровой генерации электроэнергии в условиях ограниченной территории, что является основной особенностью горнотехнической системы, обеспечивается плотностью установки ветрогенераторов. Согласно исследованиям [122] оптимальная расстановка ветряков на ограниченной территории должна осуществляться либо в один ряд, либо при необходимости увели-

чения эффективности ветряной электростанции в несколько рядов, но обязательно в шахматном порядке. При этом расстояние между ветрогенераторами в ряду должно быть не менее 5-ти диаметров колеса, а между рядами – не менее 7-ми диаметров колеса. В работе рассмотрен ряд серийно выпускаемых ветрогенераторов горизонтально осевой серии ROSVETRO номинальной мощностью от 2 до 100 кВт. Согласно руководству пользователя [130], для надёжного монтажа ветрогенератора необходима установка его мачты на фундаменте и дополнительное ее крепление тросами через анкеры к земле. При этом расстояние установки анкеров в зависимости от мощности ветрогенератора находится в диапазоне от 3 до 11 м. В работе установлено, что по мере роста номинальной мощности ветрогенератора по степенной зависимости снижается удельная площадь на 1 кВт мощности (рисунок 3.43).

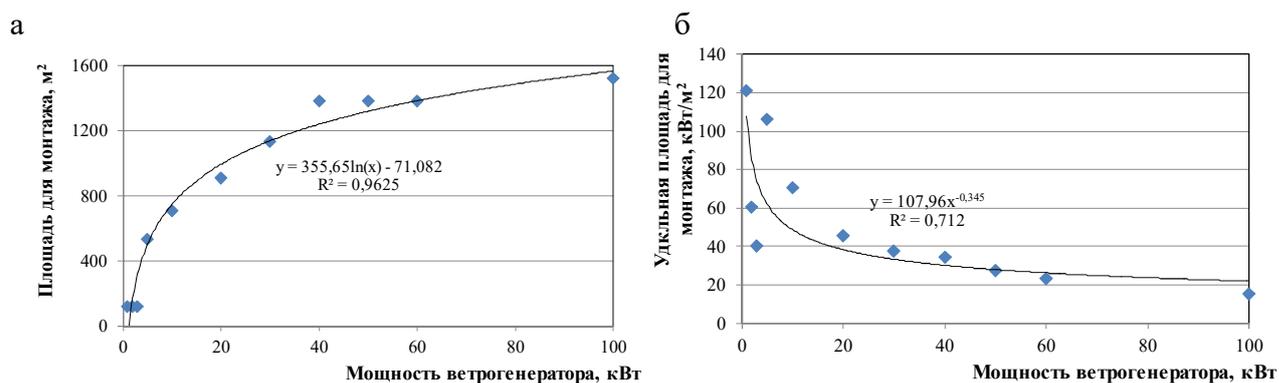


Рисунок 3.43 – Зависимость площади монтажа (а) и удельной площади для монтажа (б) ветрогенератора от его мощности

С целью выявления зависимости объема генерируемой электроэнергии с единицы ограниченной площади поверхности отвала в зависимости от номинальной мощности ветрогенератора проведено моделирование схем монтажа сети ветрогенераторов на площадках размером 100×100 м, 200×200 м, 500×500 м. Моделирование производилось для следующих условий: высота установки парка ветрогенераторов – 100 м над дневной поверхностью; скорость ветра – 9,8 м/с; номинальная мощность ветрогенераторов – от 2 до 100 кВт, схема расстановки ветрогенераторов – шахматная с расстоянием в ряду 5 диаметров колеса, между рядами – 7 диаметров колеса. На обозначенных площадках согласно шахматной схеме расстановки размещалось максимальное количество вет-

рогенераторов различной мощности, с учетом их паспортных характеристик определялась суммарная фактическая мощность для скорости ветра 9,8 м/с. Варианты монтажа ветрогенераторов представлены на рисунке 3.44.

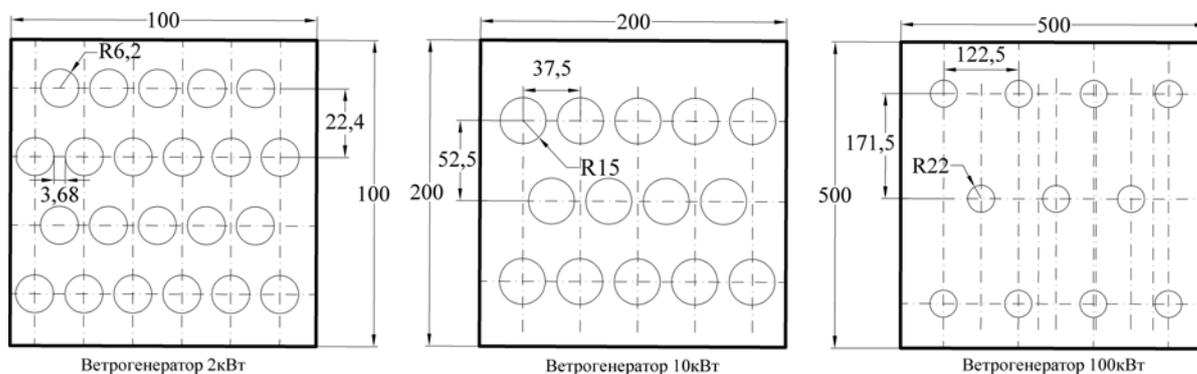


Рисунок 3.44 – Схема монтажа ветрогенераторов на ограниченной площади

На основе выполненного моделирования установлены зависимости мощности генерируемой ветровой электроэнергии с единицы площади при монтаже ветрогенераторов различной мощности (рисунок 3.45).

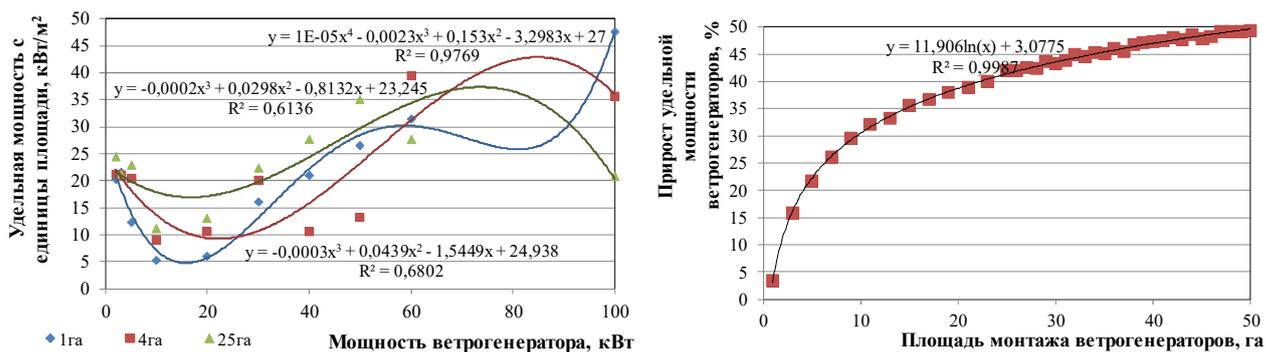


Рисунок 3.45 – Зависимость удельной мощности ветрогенератора на единицу площади поверхности отвала

Анализируя зависимость на рисунке 3.45, можно сделать вывод, что средняя удельная мощность электроэнергии, вырабатываемой ветрогенератором с единицы площади поверхности отвала высотой 100 м, составляет 19,6 кВт/м². При этом с ростом площади для монтажа парка ветрогенераторов происходит рост удельной мощности до 50% на один квадратный метр.

Таким образом, внешний отвал в рамках горнотехнической системы следует рассматривать в качестве энергетического техногенного георесурса, обеспечивающего одновременное использование солнечной и ветровой энергии. Кроме того, в связи с тем, что солнечная и ветровая энергия является не постоянной по объему в течение суток и времени года, необходимо исследовать способы, обеспечивающие накопление и стабильность выработанной солнечными

и ветряными электростанциями энергии. При этом геотехнологическим способом использования техногенной возобновляемой энергии следует рассматривать техногенные емкости, формируемые в процессе ведения горных работ.

3.3 Исследование необходимых объемов аккумулирующей техногенной емкости и способов ее формирования как источник техногенной возобновляемой энергии

На этапе проектирования горнотехнической системы возможно предусмотреть геотехнологические решения, обеспечивающие повышение использования природной и техногенной возобновляемой энергии. Поскольку одним из основных недостатков установок по преобразованию солнечной и ветровой энергии является непостоянство выработки электроэнергии по мощности и времени суток, целенаправленное формирование горнотехнической системы при использовании возобновляемых источников энергии способно обеспечить равномерную выработку электроэнергии. Технически это возможно реализовать путем строительства и эксплуатации техногенной емкости, выполняющей аккумулирующую функцию [76, 78, 85]. В качестве аккумулирующей среды в работе рассматривается карьерная вода. При этом эффективность использования природной и техногенной возобновляемой энергии достигается созданием максимальной разности высотных отметок аккумулирующих техногенных емкостей. Одна техногенная емкость с максимальной абсолютной отметкой ее дна предназначена для подачи в нее воды в период работы солнечной и ветряной электростанции в режиме сверх нормативной мощности, а также в период низкого энергопотребления. В период отсутствия солнечного излучения и ветра или его низкой скорости вода из верхней техногенной емкости сбрасывается на турбину для выработки электроэнергии. Сброшенная при этом вода в последствии подается в верхнюю техногенную емкость. С целью повышения эффективности работы данной системы в воде может быть дополнительно растворена соль, что повысит ее плотность и энергетические показатели гидротурбины. Кроме того, при высокой концентрации соли и использовании специальной

конструкции техногенной емкости ее возможно использовать в качестве солнечного соляного пруда [54].

Принципиальная схема расположения аккумулирующих техногенных емкостей при проектировании и эксплуатации горнотехнической системы для реализации техногенной возобновляемой энергии и выравнивания выработки электроэнергии представлена на рисунке 3.46.

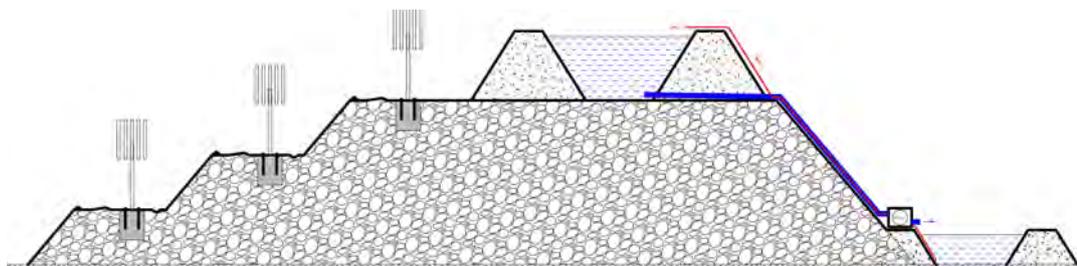


Рисунок 3.46 – Принципиальная схема расположения аккумулирующих техногенных емкостей

В работе проведены исследования потенциала аккумулирующей техногенной емкости с точки зрения использования кинетической энергии накопленной в ней воды. Согласно преобразованным формулам из методики расчета гидроаккумулирующих электростанций [14], для определения постоянной генерируемой электроэнергии в заданном объеме с учетом напора водяного столба возможно использовать формулу

$$V^{\text{гаэс}} = \frac{367,2 \cdot N_{\text{турб}}^{\text{гаэс}} \cdot t_{\text{сут}}^{\text{гаэс}}}{H \cdot \eta^{\text{гаэс}}}, \quad (3.20)$$

где $V^{\text{гаэс}}$ – полезный объем верхней техногенной емкости, м^3 ;

$N_{\text{турб}}^{\text{гаэс}}$ – мощность агрегатов в турбинном режиме, кВт;

$t_{\text{сут}}^{\text{гаэс}}$ – время работы в турбинном режиме в сутки, ч;

H – средневзвешенный напор, м;

$\eta^{\text{гаэс}}$ – КПД гидроаккумулирующей электростанции.

Моделирование требуемого объема аккумулирующей емкости для обеспечения 24-часовой непрерывной выработки электроэнергии с использованием гидроаккумулятора проводилось для высоты водяного столба 50, 100 и 150 м. Результаты расчета минимального объема аккумулирующей техногенной емкости при различной высоте ее размещения представлены на рисунке 3.47.

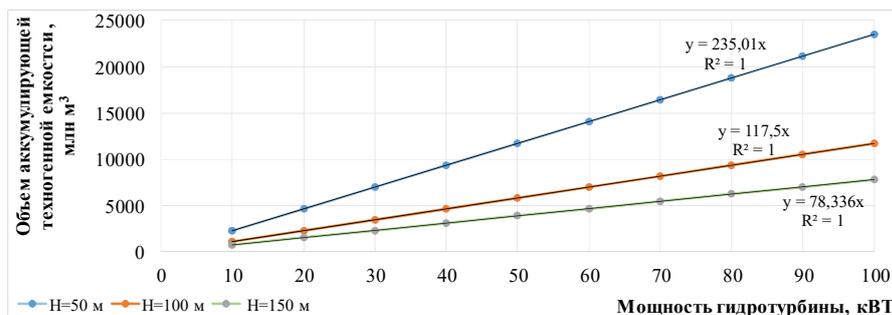


Рисунок 3.47 – Зависимость минимального объема АТЕ от высоты ее размещения

Анализируя зависимость, представленную на рисунке 3.47, можно сделать вывод, что даже при расположении аккумулирующей техногенной емкости объемом 1 млн м³ на высоте 50 м и установки гидротурбины мощностью 100 кВт запаса воды хватит для непрерывной выработки электроэнергии на протяжении месяца.

Проведены расчеты с целью определения необходимой мощности насоса для подачи воды с нижней в верхнюю аккумулирующую емкость по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{(\rho \cdot g \cdot H \cdot Q)}{\eta \cdot 1000}, \quad (3.21)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – производительность насоса м³/с; η

η – КПД насоса (принято 60%).

Результаты расчета представлены на рисунке 3.48.

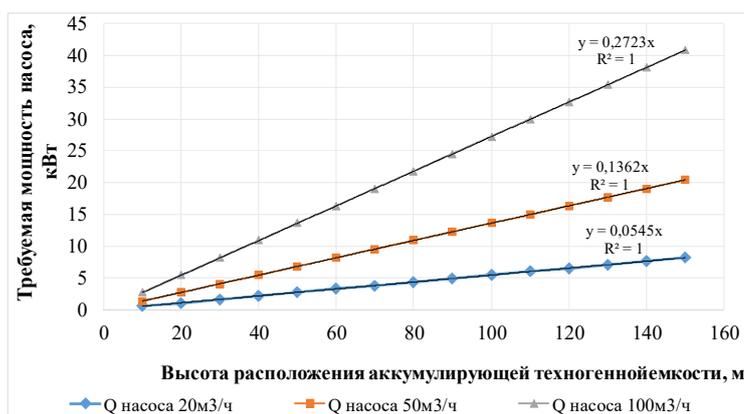


Рисунок 3.48 – Зависимость мощности насоса для подачи воды в АТЕ от высоты ее размещения

В работе предложены варианты расположения заездов на дамбу техногенной емкости и конструкции ее гребня, обеспечивающую снижение сроков строительства (рисунок 3.49).

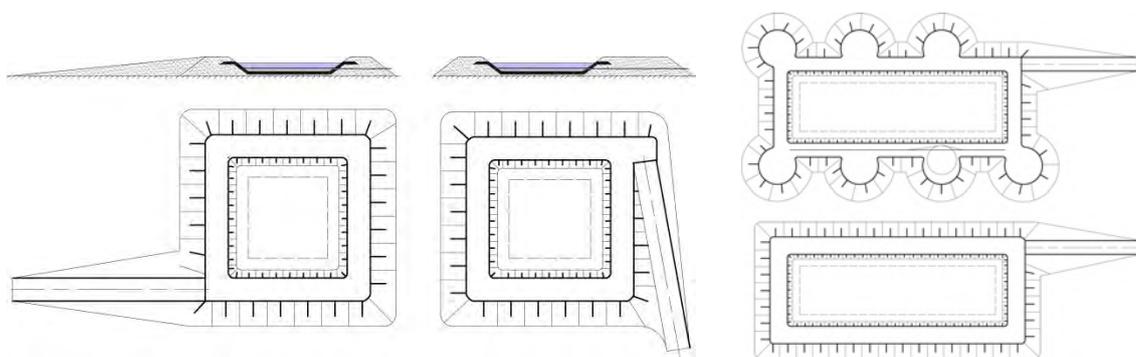


Рисунок 3.49 – Схемы вариантов:

а – расположения заездов на дамбу техногенной емкости;

б – конструкции гребня дамбы

В результате исследований установлено, что прирост объемов вскрышных пород при организации разворотных площадок увеличивается более чем в 1,5 раза при сокращении времени формирования техногенной емкости в 2 раза и более. С целью обеспечения конструктивных требований и противофильтрационных свойств горных конструкций разработаны технологические схемы формирования ограждающей дамбы и основания техногенной емкости (рисунок 3.50).

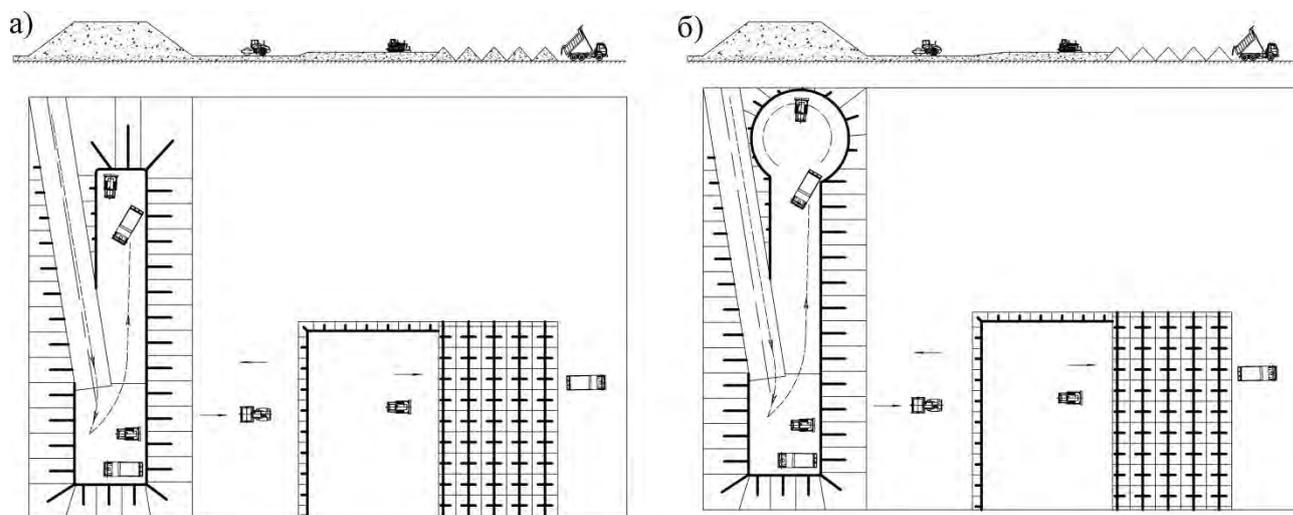


Рисунок 3.50 – Технологические схемы формирования ограждающей дамбы и основания техногенной емкости:

а – с тупиковой схемой разворота; б – с разворотной площадкой

Технологически формирование техногенной емкости изначально предусматривается послойно, а затем периферийно. При послойном способе осуществляется планировка и уплотнение первого слоя – скальной вскрыши бульдозером и виброкатком. Виброкаток обеспечивает более эффективные показатели уплотнения грунта в сравнении с обычным катком. При периферийном способе преду-

смачивается отсыпка скальной вскрыши самосвалами и планирование бульдозером со сдвигом под откос. Предложенные схемы отличаются сроками и объемом материалов при формировании техногенных емкостей.

С целью определения объемов аккумулирующей техногенной емкости (АТЕ) и материалов для ее формирования в работе предложена адаптация математической модели расчета объемов вскрышных пород и полезной вместимости отвала, разработанной в диссертации [72]. Схема для расчета объема вскрышных пород и изоляционных материалов представлена на рисунке 3.51.

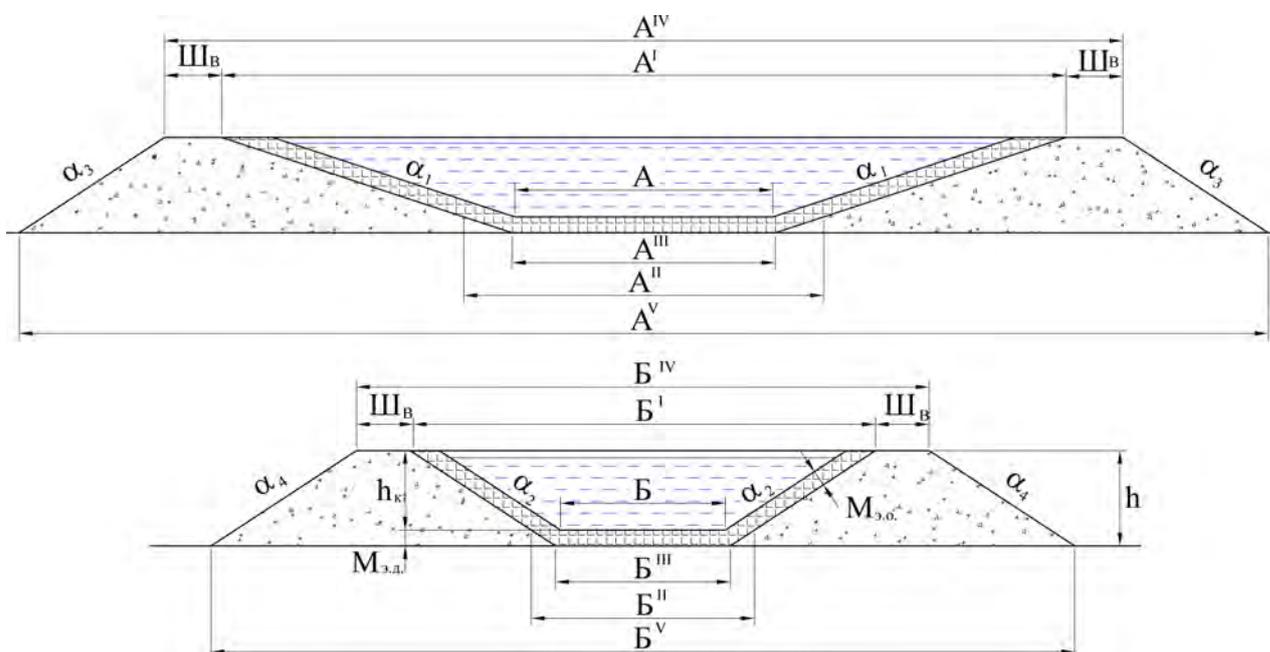


Рисунок 3.51 – Схема для расчета объемов пород вскрыши и воды:
 A – длина АТЕ, м; B – ширина АТЕ, м; h – высота дамбы, м; h_k – глубина пруда в емкости, м; $Ш_в$ – ширина гребня дамбы, м; B^I – ширина АТЕ по верху с учетом изолирующего слоя, м; B^{II} – ширина АТЕ по низу с учетом изолирующего слоя на высоте, равной его мощности, м; B^{III} – ширина АТЕ по низу без учета изолирующего слоя, м; B^{IV} – ширина АТЕ по верху, м; B^V – ширина АТЕ по низу, м; A^I – длина АТЕ по верху с учетом изолирующего слоя, м; A^{II} – длина АТЕ по низу с учетом изолирующего слоя на высоте, равной его мощности, м; A^{III} – длина АТЕ по низу без учета изолирующего слоя, м; A^{IV} – длина дамбы по верху, м; A^V – длина АТЕ по низу, м; α_1 – заложение внутренних боковых откосов дамбы; α_2 – заложение внутренних торцевых откосов дамбы; α_3 – заложение внешних боковых откосов дамбы; α_4 – заложение внешних торцевых откосов дамбы; $M_{3,0}$ – мощность изолирующего слоя на откосах дамбы, м; $M_{3,д}$ – мощность изолирующего слоя на дне емкости, м

Объем пруда в техногенной емкости определяется в соответствии с формулой

$$V_{\text{пруд}} = \frac{1}{3} h \cdot (A \cdot B + \sqrt{A \cdot B \cdot (A + 2h \operatorname{ctg} \alpha_1) \cdot (B + 2h \operatorname{ctg} \alpha_2)} + (A + 2h \operatorname{ctg} \alpha_1) \cdot (B + 2h \operatorname{ctg} \alpha_2)). \quad (3.22)$$

Объем изолирующего материала для сооружения противофильтрационного экрана на откосах и в основании дамбы определяется по формуле

$$V_{\text{м.э}} = V_{\text{э.о}} + V_{\text{э.д}} \quad (3.23)$$

где $V_{\text{э.о}}$ – объем материала экрана на откосах дамбы, м³;

$V_{\text{э.д}}$ – объем материала экрана в основании дамбы, м³.

$$V_{\text{э.о}} = \frac{1}{3} h_{\kappa} (A^I B^I + \sqrt{A^I B^I \cdot A^{II} B^{II}} + A^{II} B^{II}) - V_{\text{пруд}}; \quad (3.24)$$

$$A^I = A + 2 \cdot (h \cdot \operatorname{ctg} \alpha_1 + M_{\text{э.о}} / \sin \alpha_1); \quad (3.25)$$

$$B^I = B + 2 \cdot (h \cdot \operatorname{ctg} \alpha_2 + M_{\text{э.о}} / \sin \alpha_2); \quad (3.26)$$

$$A^{II} = A + 2 \cdot M_{\text{э.о.}} / \sin \alpha_1; \quad (3.27)$$

$$B^{II} = B + 2 \cdot M_{\text{э.о.}} / \sin \alpha_2; \quad (3.28)$$

$$V_{\text{э.д}} = \frac{1}{3} M_{\text{э.д}} (A^{III} B^{III} + \sqrt{A^{III} B^{III} \cdot A^{IV} B^{IV}} + A^{IV} B^{IV}); \quad (3.29)$$

$$A^{III} = A^{II} - 2 \cdot M_{\text{э.д}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_1; \quad (3.30)$$

$$B^{III} = B^{II} - 2 \cdot M_{\text{э.д}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_2. \quad (3.31)$$

Объем вскрышных пород для сооружения карты определяется по формуле

$$V_{\text{вск.}} = V_{\text{ТЕ}} - V_{\text{м.э}} - V_{\text{пруд}}, \quad (3.32)$$

где $V_{\text{ТЕ}}$ – объем техногенной емкости, м³;

$$V_{\text{ТЕ}} = \frac{1}{3} h \cdot (A^{IV} B^{IV} + \sqrt{A^{IV} B^{IV} \cdot A^V B^V} + A^V B^V); \quad (3.33)$$

$$A^{IV} = A^I + Ш_{\text{ТПП}} + Ш_{\text{ЗР}}; \quad (3.34)$$

$$B^{IV} = B^I + Ш_{\text{ТПП}} + Ш_{\text{ТП}}; \quad (3.35)$$

$$A^V = A^{IV} + 2 \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3; \quad (3.36)$$

$$B^V = B^{IV} + 2 \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha_4. \quad (3.37)$$

Площадь основания техногенной емкости определяется по формуле

$$S_{\text{ТЕ}} = A^V \cdot B^V. \quad (3.38)$$

На разработанной математической модели определения параметров аккумулирующей техногенной емкости были проведены исследования объемов пород вскрыши, необходимых для ее формирования, при заданной площади основания от 5 до 36 га и полезной глубине прудка до 16 м (рисунок 3.52).

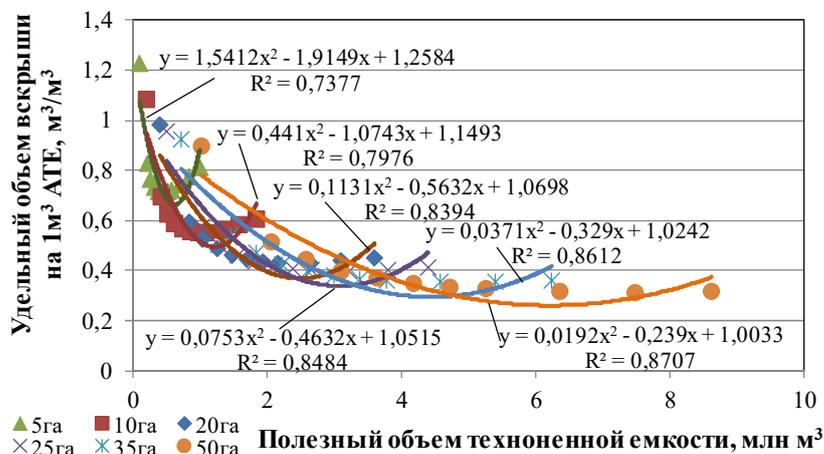


Рисунок 3.52 – Зависимость удельного объема пород вскрыши для создания 1 м³ полезного пространства техногенной емкости от ее вместимости

Анализируя зависимости на рисунке 3.52, можно сделать вывод, что минимальный объем аккумулирующей техногенной емкости для обеспечения круглосуточной генерации электроэнергии в объеме 100 кВт·ч в течение месяца должен быть не менее 0,5 млн м³. При этом по мере роста объема АТЕ объем необходимых пород вскрыши на ее формирование снижается до 5 раз. Для тех же условий было исследовано необходимое количество гидроизоляционных материалов (рисунок 3.53).

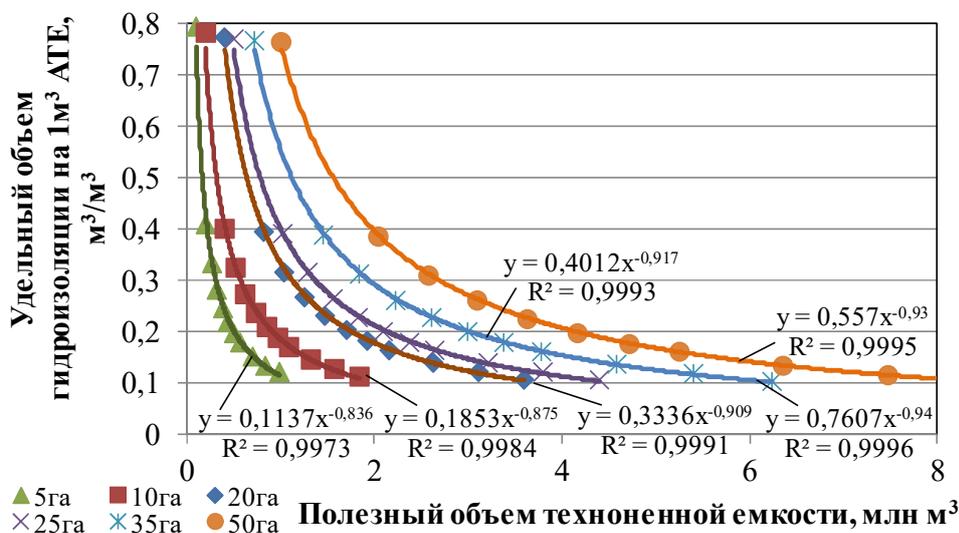


Рисунок 3.53 – Зависимость удельного объема гидроизоляционного материала для создания 1 м³ полезного пространства техногенной емкости от ее вместимости

Согласно установленным зависимостям на рисунке 3.53, при увеличении объема АТЕ в 3 раза наблюдается снижение необходимого объема гидроизоляционного материала до 8 раз.

Таким образом, при проектировании горнотехнической системы с использованием природной и техногенной возобновляемой энергии на базе внешнего отвала вскрышных пород целесообразно обеспечить формирование техногенной емкости аккумулирующего типа, обеспечивающей накопление карьерных вод и их регулируемый сброс на гидротурбину. Данное техническое решение позволит обеспечить равномерность и постоянство выработки электроэнергии за счет управления с целью преобразования потенциальной энергии воды в рамках формируемой и эксплуатируемой горнотехнической системы. Установлено, что с точки зрения материалоемкости формирования аккумулирующей техногенной емкости целесообразно обеспечивать ее вместимость от 1 млн м³. При этом на ограниченной площади отвала до 10га рациональный объем воды составляет от 1 млн м³ до 2,5 млн м³. При площади поверхности более 10 га рациональный объем АТЕ составляет от 2,5 до 7 млн м³. Удельный объем вскрышных пород на единицу полезного объема аккумулирующей техногенной емкости при этом составит от 2,0 до 1,2 м³/м³, а материалов для обеспечения гидроизоляции – от 0,1 до 0,8 м³/м³, в зависимости от полезного объема АТЕ. Одним из основных факторов, ограничивающих эффективность формирования горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии, является площадь земельного отвода, поэтому для определения оптимальных параметров горнотехнической системы необходимо разработать алгоритм обоснования параметров открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии.

3.4 Алгоритм обоснования параметров открытых горных работ при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии

Реализация подхода по использованию природной и техногенной возобновляемой энергии при освоении балансовых запасов месторождений твердых полезных ископаемых предусматривает два исходных состояния, определяющих последовательность и объемы выполняемых работ:

- вновь разрабатываемое месторождение;
- на месторождении ведутся горные работы.

Максимальный потенциал техногенной возобновляемой энергии возможно реализовать в первом случае, когда на этапе проектирования вновь вводимого в эксплуатацию месторождения необходимо учесть параметры и факторы рельефа участка недр и прилегающих территорий, объемы ведения добычных работ, физико-механические свойства горных пород и период времени доступа к ним по мере развития горнотехнической системы. Кроме того, учет энергетического потенциала концентрируемых солнечного излучения и ветровых потоков в заданных областях карьера и отвалов позволит определить оптимальную вместимость техногенной емкости, способной обеспечить непрерывную выработку электроэнергии в течение суток в независимости от наличия ветра или солнца.

В случае ведения добычных работ на осваиваемом участке недр фактическое состояние горных работ необходимо рассматривать в качестве исходного состояния для обоснования параметров горнотехнической системы, формируемой с использованием природной и техногенной возобновляемой энергии. Это, в свою очередь, с одной стороны, накладывает ряд ограничений и не позволит в полном объеме реализовать весь потенциал горнотехнической системы, однако может способствовать ускорению подготовки северного борта карьера, южных откосов отвала и его поверхности монтажа установок для преобразования солнечной и ветровой энергии. Кроме того, при наличии выработанного пространства карьера с поставленным в предельное положение участком борта и отработанными запасами на всю глубину позволяет в кратчайшие сроки сформировать и ввести в эксплуатацию техногенную емкость аккумулирующего типа.

При этом последовательный и параллельный способы формирования горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии необходимо определять в зависимости от географического и территориального расположения осваиваемого участка недр, наличия развитой транспортной и энергетической инфраструктуры, горно-геологических условий месторождения.

На основе выполненных исследований влияния конструкционных, технических, технологических и экономических факторов на параметры открытой

геотехнологии, разработан алгоритм комплексного освоения участка недр и определения параметров горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии (рисунки 3.54, 3.55).

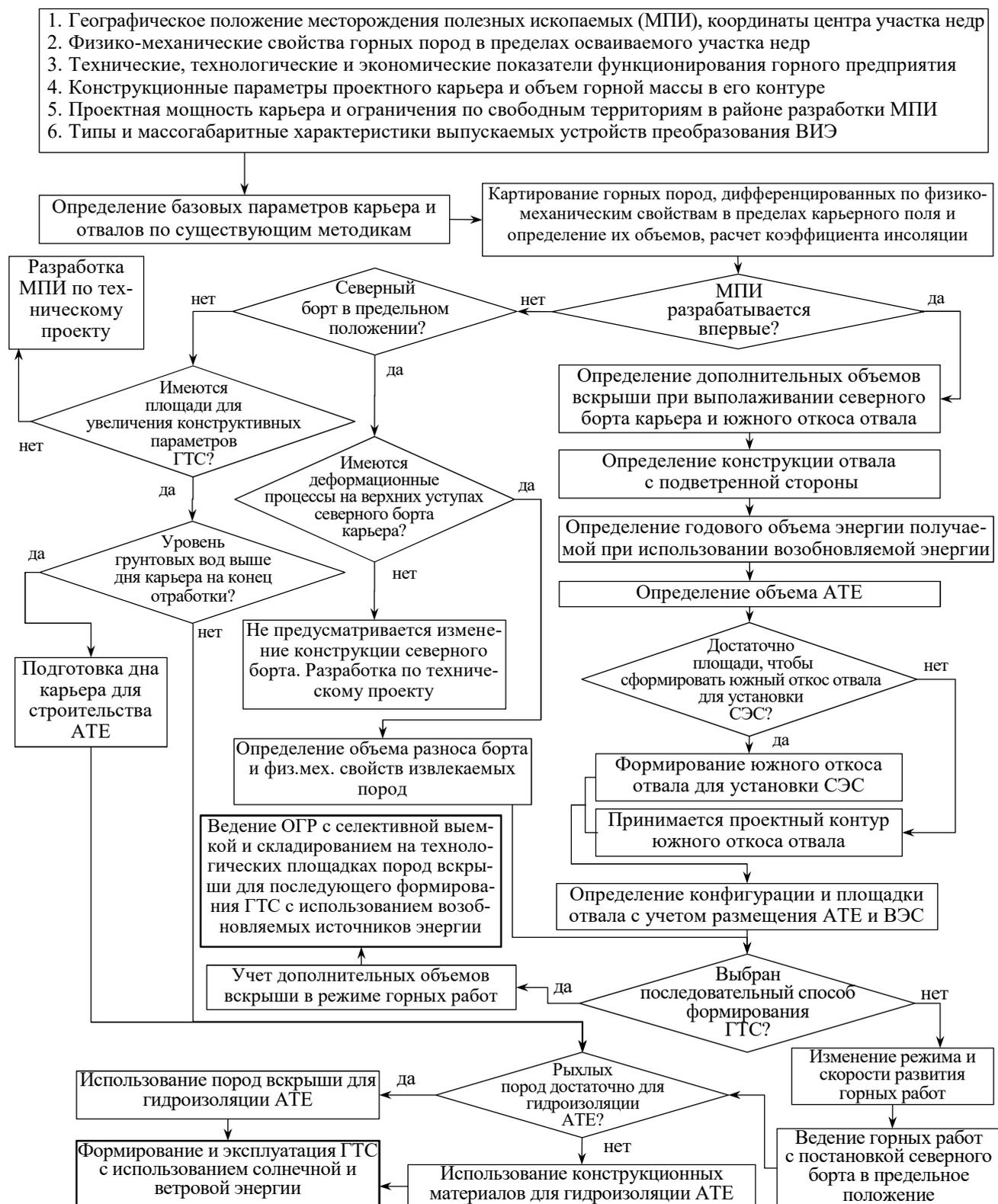


Рисунок 3.54 – Алгоритм комплексного освоения участка недр при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии

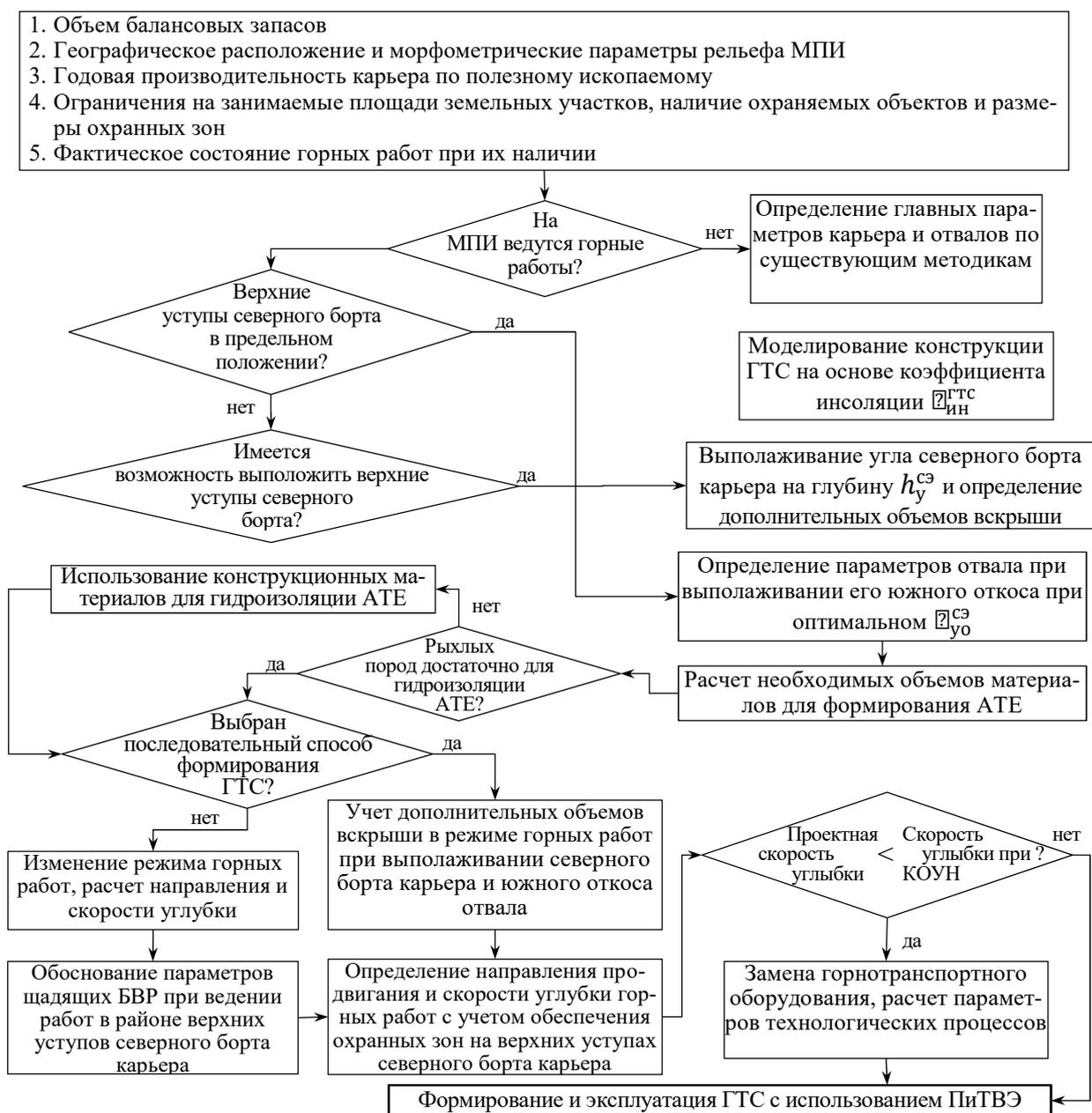


Рисунок 3.55 – Алгоритм определения параметров горнотехнической системы, способствующей эффективному использованию природной энергии

Эффективность, полнота и комплексность освоения участка недр определяются с учетом на этапе проектирования открытой геотехнологии всех исходных данных и факторов, влияющих на параметры карьеров, отвалов и техногенных емкостей, в том числе в процессе их формирования, обеспечивающих в максимальном объеме реализацию потенциала горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии. Для этого независимо от состояния осваиваемого участка недр и выбора способа формирования горнотехнической системы при выполнении проектных работ необходимо обеспечить:

- сбор исходных данных, включающих географическое и территориальное расположение месторождения, физико-механические и теплотехнические характеристики вскрышных пород в пределах проектного контура;
- разработка технических решений по освоению балансовых запасов и обоснование параметров карьера и отвалов на конец разработки;
- провести моделирование конструкционных параметров горнотехнической системы с целью определения максимального количества природной энергии, получение которой возможно в пределах осваиваемого участка недр, а также расчета минимально необходимого объема двух техногенных емкостей, размещенных с обеспечением максимальной разности геодезических отметок для аккумуляирования и перепуска воды;
- предусмотреть технологические решения, обеспечивающие формирование верхних уступов северного борта карьера и южных откосов отвала для монтажа и обслуживания солнечных панелей и ветрогенераторов, а также аккумуляирующих техногенных емкостей;
- учесть дополнительные объемы вскрыши, необходимые для формирования горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии на стадии регулирования режима горных работ;
- обосновать параметры применяемого горнотранспортного оборудования при ведении как горных работ, так и обслуживания солнечных и ветрогенераторных установок;
- исходя из объема скальных и рыхлых пород вскрыши, аккумуляирующих емкостей и режима горных работ определить технологические площадки для временного складирования рыхлых пород с требуемым коэффициентом фильтрации для дальнейшего их использования при гидроизоляции дна и откосов техногенных емкостей;
- расчет экономических показателей функционирования горнодобывающего предприятия в период ведения добычных и рекультивационных работ с учетом реализованных решений по использованию возобновляемой энергии;
- верифицировать конструкционные параметры горнотехнической системы разработанной методике с учетом технологических и экономических критериев;

– обосновать оптимальный режим горных работ с учетом выбора способа формирования горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии;

– обеспечить мероприятия по обеспечению экологической безопасности эксплуатации аккумулирующих техногенных емкостей, а также мониторинг состояния литосферы, гидросферы и атмосферы в пределах осваиваемого участка недр;

– по завершении добычных работ выполнить необходимые мероприятия для завершения технического и биологического этапов рекультивации земель.

Таким образом, разработанный алгоритм определения параметров горнотехнической системы при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии (см. рисунок 3.54) позволяет реализовать предлагаемую концепцию комплексного освоения участка недр как для вновь вводимых в эксплуатацию месторождений, так и в условиях действующих горнодобывающих предприятий с учетом имеющихся конструктивных параметров горных выработок.

Выводы по главе 3

1. Местоположение месторождения твердых полезных ископаемых является определяющим при принятии решений об изменении конструкции откоса его северного борта с целью использования для монтажа соленых панелей. На основе разработанной методики определения оптимальной высоты участка северного борта карьера, целесообразной для установки солнечных панелей с учетом географического местоположения месторождения, установлено что в результате придания определенной конструкции откоса борта полезная площадь инсоляции может быть увеличена до 9 раз. При этом максимальная эффективность достигается при максимальной высоте подступа, однако с увеличением высоты уступа требуется увеличение высоты мачты и массы конструкции для установки солнечных панелей, что исключает техническую возможность их монтажа и обслуживания.

2. В результате моделирования установлено, что эффективность использования солнечных панелей при их установке на откосе северного борта карьера определяется не только полезной площадью инсоляции, но и объемом горных пород, извлекаемых из недр при его выполаживании. В качестве критерия коли-

чественной оценки эффективности выполняемых работ по целенаправленному выполнению участка северного борта предложен коэффициент инсоляции. Установлено, что коэффициент инсоляции находится в обратной функциональной зависимости с полезной площадью инсоляции, в связи с чем существует множество значений параметров конструкции откосов борта, обеспечивающих их оптимальное значение при одновременно минимальном коэффициенте инсоляции и максимальной полезной площадью инсоляции откоса.

3. В работе доказано, что для эффективного использования солнечных панелей и ветрогенераторов необходимо обеспечить минимальную ширину бермы, размеры которой должны обеспечивать монтаж и обслуживание данных установок. В результате моделирования конструкции откоса карьера и отвала установлено, что минимальный размер бермы составляет 7,5 м, при этом по мере увеличения мощности применяемых солнечных панелей и ветрогенераторов он может быть увеличен до 24 м.

4. Повышение эффективности использования солнечных панелей достигается увеличением полезной площади инсоляции, при этом максимальный ее прирост обеспечивается углом выполживания откоса верхних уступов северного борта карьера в диапазоне 5-10°.

5. Согласно результатам моделирования конструкции южного откоса отвалов, расположенных на различных параллелях установлено, что коэффициент инсоляции отвала на параллели 60°С.Ш. в 1,5 раза выше, чем в районе 50°С.Ш., что свидетельствует о целесообразности применения солнечных панелей южнее параллели 60°С.Ш.

6. Доказана возможность аэродинамического моделирования горнотехнической системы в программных продуктах инженерного анализа. Адекватность модели подтверждена высокой сходимостью с натурными замерами.

7. На основе разработанной методики аэродинамического моделирования горнотехнической системы с учетом влияния ее конструкции на воздушные потоки установлено, что увеличение высоты отвала независимо от его расположения относительно карьера ведет к приросту скорости ветра в среднем до 1,5 раз, при этом выкручивание результирующего угла откоса приводит к сниже-

нию скорости ветра в среднем на 10%.

8. В результате моделирования конструкции отвала установлено, что удельная мощность электроэнергии, вырабатываемой ветрогенератором с единицы площади его поверхности высотой 100 м, составляет 19,6 кВт/м².

9. Компенсирование непостоянства выработки электроэнергии при использовании солнечных панелей и ветрогенераторов в рамках горнотехнической системы возможно путем целенаправленного формирования аккумулирующих техногенных емкостей на поверхности отвала и у его подножья или в выработанном пространстве карьера. При этом предложенные схемы формирования их ограждающих дамб обеспечивают сокращение сроков ввода в эксплуатацию.

10. В результате расчетов определено, что для обеспечения круглосуточной генерации электроэнергии в объеме 100 кВт·ч в течение месяца должен быть не менее 0,5 млн м³. При этом по мере роста объема АТЕ объем необходимых пород вскрыши на ее формирование снижается до 5 раз. Использование рыхлых пород вскрыши в качестве гидроизоляционного материала позволяет сократить стоимость строительства аккумулирующей техногенной емкости, при этом увеличение ее вместимости в 3 раза ведет к снижению объемов гидроизоляционных материалов в 8 раз.

11. На основе проведенного моделирования параметров аккумулирующей техногенной емкости установлено, что с точки зрения материалоемкости ее формирования целесообразно обеспечивать вместимость от 1 млн м³. При этом на ограниченной площади отвала до 10 га рациональный объем воды составляет от 1 до 2,5 млн м³. При площади поверхности более 10 га рациональный объем АТЕ составляет от 2,5 до 7 млн м³.

12. В работе представлен алгоритм комплексного освоения участка недр при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии, предусматривающий реализацию предложенной концепции и заложенного в методику определения параметров горнотехнической системы при обосновании конструкции откосов отвала и верхних уступов северного борта карьера, способствующей эффективному использованию солнечной и ветровой энергии как в период ведения горных работ, так и после отработки балансовых запасов.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ОТКОСОВ КАРЬЕРА И ОТВАЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ХОДЕ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ

4.1 Экономическое обоснование эффективности выполаживания откосов отвалов и верхних уступов карьера при установке на них солнечных панелей

Экономическая эффективность изменения конструкции откоса отвала и верхних горизонтов карьера при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии обуславливается объемами вскрышных пород, извлекаемых из недр при выполаживании результирующего угла откосов, расстоянием транспортирования пород вскрыши в отвал и на его поверхность в частности. При формировании южного откоса имеющегося отвала, целесообразно обеспечить подъем перемещаемой вскрыши в сторону увеличения его высоты.

Основываясь на результатах исследования, проведенных в разделе 3.2 предложен вариант разработки балансовых запасов месторождения при выполнении работ по формированию северного борта карьера и южного откоса отвала с параметрами, обеспечивающими эффективное использование солнечной и ветровой энергии, проведен расчет затрат на выполаживание результирующего угла откосов относительно проектных значений.

Расчет экономической эффективности проводился на основе сравнения доходной части, получаемой от установки солнечных панелей, и получения электроэнергии с затратами на реализацию выполаживания откоса северного борта и монтажа солнечных панелей. Расчет затрат на ведение горных работ осуществляется по классической методике, учитывающей работы по каждому производственному процессу [12].

Затраты на выемку дополнительного объема работ при разносе верхних уступов северного борта карьера определяется по формуле

$$Z_{\text{э}}^{\text{ДОП}} = \varphi_{\text{э}}^{\text{ДОП}} \cdot \varphi_{\text{э}}, \quad (4.1)$$

где $\varphi_{\text{э}}^{\text{ДОП}}$ – дополнительный объем экскавации, м³;

$\varphi_{\text{э}}$ – затраты на экскавацию 1 м³ вскрышных пород, руб./м³;

Затраты на транспортирование вскрышных пород при формировании откоса северного борта карьера для монтажа солнечных панелей определяются как

$$Z_{\text{ТР}}^{\text{ДОП}} = C_{\text{ТКМ}} \cdot (\varphi_{\text{ТР}}^{\text{доп.К}} + \varphi_{\text{ТР}}^{\text{доп.О}}) \cdot \varphi_{\text{э}}^{\text{ДОП}} \cdot \varphi_{\text{разр}} \cdot \varphi, \quad (4.2)$$

где $C_{\text{ТКМ}}$ – стоимость тонно-километра перевозки вскрышных пород, руб. т-км;

$\varphi_{\text{ТР}}^{\text{доп.К}}$ – средневзвешенное расстояние транспортирования пород вскрыши в пределах разноса борта карьера, км;

$\varphi_{\text{ТР}}^{\text{доп.О}}$ – средневзвешенное расстояние транспортирования пород вскрыши при их складировании на отвале, км;

$\varphi_{\text{э}}^{\text{ДОП}}$ – объем пород вскрыши, вынимаемый при разносе северного борта карьера, м³;

$\varphi_{\text{разр}}$ – коэффициент разрыхления пород вскрыши;

φ – плотность пород вскрышных, т/м³.

Затраты на приобретение и монтаж солнечных панелей в солнечную электростанцию определяется по формуле

$$C^{\text{СЭ}} = \varphi_{\text{СП}} \cdot C_{\text{СП}} + \varphi_{\text{СП}} \cdot Z_{\text{СП}}^{\text{МОНТ}}, \quad (4.3)$$

где $\varphi_{\text{СП}}$ – количество солнечных панелей, шт.;

$C_{\text{СП}}$ – стоимость солнечной панели, руб.;

$Z_{\text{СП}}^{\text{МОНТ}}$ – затраты на монтаж солнечной панели, руб.

Эффект, получаемый от выколаживания результирующего угла верхней части северного борта карьера, достигается обеспечением технологической возможности монтажа и обслуживания солнечных панелей. При этом оптимальная конструкция откоса, определяемая на основе предложенной в параграфе 3.2 методики, обеспечивает максимальную полезную площадь инсоляции на конкретном рассматриваемом месторождении. Объем вырабатываемой электроэнергии определяется по формуле

$$\varphi^{\text{СЭ}} = \varphi_{\text{СП}} \cdot \varphi_{\text{СП}}^{\text{СУТ}}, \quad (4.4)$$

где $\varphi_{\text{СП}}^{\text{СУТ}}$ – выработка электроэнергии солнечной панели, кВт·ч/сут.

Эффект от выработки электроэнергии на солнечных панелях определяется по формуле

$$\mathcal{E}^{\text{СЭ}} = \mathcal{E}^{\text{СЭ}} \cdot C_{\text{ЭЭ}}, \quad (4.5)$$

где $C_{\text{ЭЭ}}$ – стоимость электроэнергии, руб.·кВт·ч.

Экономическая оценка эффективности функционирования горнодобывающего предприятия при формировании горнотехнической системы с использованием солнечной энергии путем целенаправленного выполаживания откосов северного борта карьера производилась для условного месторождения твердых полезных ископаемых. В качестве исходных данных при моделировании принято: протяженность северного борта карьера – 130 м; высота участка выполаживания – 36 м; расположение месторождения 53°С.Ш., проектный результирующий угол откоса верхней части борта – 41%, высота подступов – 9 м; количество подступов для монтажа солнечных панелей – от 4 до 10; угол откоса подступа – 40°, ширина бровки для монтажа панелей – 12 м; количество солнечных дней в году – 200 суток.

С целью расчета эффекта, приближенного к реальным условиям эксплуатации солнечных электростанций и стоимости их монтажа и обслуживания, в работе на основе серийно выпускаемых технических решений определена стоимость одного квадратного метра солнечной панели и норма выработки электроэнергии в сутки [133]. Рассмотрены промышленные варианты сетевых солнечных электростанций «Офис-1» (Экономия) мощностью 40кВт, «Предприятие-2» (Экономия) мощностью 350 кВт и «Предприятие-3» мощностью 500 кВт. Характеристики сетевых солнечных электростанций представлены в таблице 4.1.

В расчетах принято, что серийно выпускаемые солнечные электростанции поставляются «под ключ», поэтому в их стоимости учтены затраты на монтаж. При этом с целью учета монтажа солнечных панелей на специально изготовленные и установленные мачты принято увеличение стоимости металлоконструкций и фундаментов до 25% от серийной продукции.

Результаты экономической оценки эффективности выполаживания откосов верхних уступов при установке на них комплекса солнечных панелей представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Характеристики сетевых солнечных электростанций «Офис-1» и «Предприятие-2»

Наименование	Характеристики	Удельная стоимость 1м ² панели, руб./м ²	Удельная выработка электроэнергии на 1м ² панели, кВт/сут
«Офис-1»	Мощность 40 кВт Выработка в сутки 194,22 кВт·ч/сут Солнечная батарея 80 × 550 Вт Площадь СБ 207,4 м ² Вес 2 383 кг Стоимость 2 348 068 руб.	11 321	0,9365
«Предприятие-2»	Мощность 350 кВт Выработка в сутки 1631,48 кВт·ч/сут Солнечная батарея 672 × 550 Вт Площадь СБ 1733,76 м ² Вес 20 064 кг Стоимость 19 534 435 руб.	11 267	0,9410
«Предприятие-3»	Мощность 500 кВт Выработка в сутки 2330,68 кВт·ч/сут Солнечная батарея 960 × 550 Вт Площадь СБ 2476,80 м ² Вес 28 728 кг Стоимость 28 032 566 руб.	11 318	0,9410

Таблица 4.1 – Оценка эффективности выполаживания откосов верхних уступов при установке на них комплекса солнечных панелей

Объем вскрыши при выполаживании откоса с учетом длины борта, м ³	Полезная площадь инсоляции, м ²	Высота мачты, м	Стоимость 1 м ² СП с монтажом, руб.	Выработка электроэнергии 1 м ² СП, кВт/ч	Затраты на экскавацию горных пород, руб. ³	Затраты на транспортирование горных пород, млн руб.	Общие затраты на выполаживание откоса и монтаж солнечной электростанции, млн руб.	Годовой эффект от солнечных панелей, млн руб.	Срок окупаемости разноса борта и монтажа солнечных панелей, лет
87 726,3	14,4	8,3	13 016	0,94	2 105 430,9	1,597	76,80	114,03	0,674
115 806,3	12,0	7,1	13 242	0,94	2 779 350,9	2,108	87,52	126,70	0,691
143 886,3	10,8	6,3	13 468	0,94	3 453 270,9	2,619	100,62	142,53	0,706
171 868,8	9,6	5,7	13 582	0,94	4 124 851,6	3,128	108,95	152,04	0,717
200 046,3	8,4	5,3	13 808	0,94	4 801 110,9	3,641	113,99	155,20	0,734
228 126,3	8,4	4,9	14 034	0,94	5 475 030,9	4,152	132,23	177,38	0,745
256 206,3	7,2	4,7	14 148	0,94	6 148 950,9	4,663	129,99	171,04	0,760

Таким образом, на основе разработанной в разделе 3.2 методики расчета оптимальных параметров откоса верхней части северного борта карьера проведены исследования экономической эффективности выполаживания его результирующего угла для повышения инсоляции и монтажа солнечной электростанции. Соглас-

но результатам расчетов выявлено, что независимо от конструкции откоса северного борта карьера имеется положительный эффект от монтажа солнечных панелей, при этом срок окупаемости в большинстве случаев не превышает одного года при оптимистичном сценарии по количеству солнечных дней в году и четырех лет при пессимистическом сценарии, предусматривающем сокращение дней с минимальной инсоляцией в четыре раза.

4.2 Экономическое обоснование эффективности формирования поверхности отвала для установки ветрогенераторов

Обоснование экономической эффективности горнотехнической системы при использовании ветрогенераторов основывается на системе ограничений, включающих минимизацию занимаемой площади земли. При этом в работе рассматриваются технологические решения, предусматривающие использование территорий, находящихся исключительно в пределах земельного отвода. Поэтому формирование отвалов при использовании установок, обеспечивающих преобразование ветровой энергии в электрическую должно быть направлено на увеличение высоты открытой поверхности для установки ветрогенераторов. Это обусловлено тем, что максимальная скорость ветра достигается на определенной высоте над поверхностью земли, которая называется высотой штормового ветра (англ. design wind speed). Высота штормового ветра может варьироваться в зависимости от многих факторов, включая географическое расположение, топографию, местные климатические условия и сезон [120, 132].

Обычно высота штормового ветра принимается в диапазоне от 10 до 100 м над поверхностью земли. Однако для проектирования ветрогенераторов, наиболее распространенными значениями высоты штормового ветра являются 50 или 80 м. В некоторых случаях ветрогенераторы могут быть установлены на еще большей высоте для более эффективного использования скорости ветра. Именно возможность увеличения высоты установки ветрогенератора обеспечивает горнотехническая система. Кроме того, в период ведения отвалообразования возможно значительное упрощение технологических операций, связанных со строительством фундамента и организации инженерной инфраструктуры и

транспортной в частности [55].

Высота штормового ветра также может быть разной для разных классов или категорий ветрогенераторов. Например, классификация ИЕС (Международная комиссия по электротехнике) предлагает различные классы в зависимости от скорости ветра и высоты установки. Ветрогенераторы класса II обычно могут работать на более низких скоростях ветра, чем ветрогенераторы класса I, но им требуется большая высота установки. Выбор оптимальной скорости ветра и высоты для ветряных установок возможно с использованием программы GLOBAL WIND ATLAS [118]. Данные по скорости ветра и средней плотности энергии в зависимости от высоты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Данные скорости ветра и средней плотности энергии в зависимости от высоты

Высота, м	Скорость ветра, м/с	Средняя плотность энергии, Вт/м ²
10	4,54	148
50	6,55	344
100	8,9	699
200	9,69	922

При выборе ветрогенератора рассматривались установки с наименьшим количеством лопастей как наиболее эффективные, так как они обеспечивают наибольший КПД. Кроме того, данные ветрогенераторы широко распространены и изучены и не требуют сложной установки, достаточно просты в обслуживании, долговечны, имеют сравнительно низкую стоимость относительно других типов ветрогенераторов. [60] Модели промышленных ветрогенераторов их характеристики и стоимость приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Модели промышленных ветрогенераторов

Модель	Основные технические характеристики		Цена с НДС, руб. Вет-р/сборка
ROSVETRO LW-2K	номинальная мощность	2 кВт	225 750
	пусковая скорость ветра	2,0 м/с	620 476
	номинальное напряжение	24/48 В	
	производство	Россия / КНР	
	вес в полной сборке	78 кг	

Окончание таблицы 4.4

Модель	Основные технические характеристики		Цена с НДС, руб. Вет-р/сборка
ROSVETRO FK-3K	номинальная мощность	3000 Вт	272 958
	пусковая скорость ветра	3 м/с	910 531
	номинальное напряжение	48/96/120 В	
	производство	Россия / КНР	
	вес в полной сборке	102 кг	
ROSVETRO FK-5K	номинальная мощность	5000 Вт	558 649
	пусковая скорость ветра	3 м/с	1 520 288
	номинальное напряжение	96/120/220V	
	производство	КНР / Россия	
	вес в полной сборке	270 кг	
ROSVETRO FK-10K	номинальная мощность	10 кВт	722 865
	пусковая скорость ветра	3 м/с	1 682 970
	номинальное напряжение	220/380 В	
	производство	КНР / Россия	
	вес в полной сборке	355 кг	
	вес в полной сборке	360 кг	
АТОН ВС-20	номинальная мощность	20 кВт	2 236 409
	пусковая скорость ветра	3 м/с	3 490 738
	номинальное напряжение	220/380 В	
	производство	Россия	
	вес в полной сборке	355 кг	
Condor Air 30	номинальная мощность	30 кВт	1 790 000
	пусковая скорость ветра	3 м/с	
	номинальное напряжение	220/380V	
	производство	Россия	
	вес в полной сборке	2130 кг	
Condor Air 40	номинальная мощность	40 кВт	2 350 000
	пуская скорость ветра	2,5 м/с	
	номинальное напряжение	220/380 В	
	производство	Россия	
	вес в полной сборке	2270 кг	
Condor Air 50	номинальная мощность	50 кВт	2 850 000
	пусковая скорость	3 м/с	
	номинальное напряжение	220/380V	
	производство	Россия	
	вес в полной сборке	2450 кг	
Condor Air 60	номинальная мощность	60 кВт	3 150 000
	пусковая скорость	3 м/с	
	номинальное напряжение	220/380 В	
	производство	Россия	
	вес в полной сборке	2900 кг	
LT100KW	номинальная мощность	100 кВт	11 198 653
	пусковая скорость	2,5 м/с	
	номинальное напряжение	220/380 В	
	производство	КНР	
	вес в полной сборке	3610 кг	

Расчет затрат каждого варианта ветрогенератора осуществляется с учетом монтажа всех его комплектующих и деталей:

- ветрогенератор;
- МРРТ контроллер;
- инвертор;
- аккумулятор 1 шт.;
- мачта;
- основание мачты – 1 шт.;
- основания растяжек – 4 шт.;
- растяжки с креплениями – 4 шт.;
- аксессуары для крепления.

Установка ветрогенератора включает следующие основные этапы:

1. Подготовка места установки: проводится изучение местности, осуществляется подготовка фундамента и определяется оптимальное местоположение для установки ветрогенератора с учетом характеристик ветрового потенциала.

2. Транспортировка и монтаж башни: ветрогенератор состоит из башни, ротора и генератора. Первоочередной задачей является монтаж башни, который может варьироваться в зависимости от ее высоты.

3. Установка ротора: ротор, состоящий из лопастей и втулки, устанавливается на место. На этом этапе также проводится монтаж генератора.

4. Подключение к сети: после установки ветрогенератор подключается к электрической сети для передачи произведенной энергии.

5. Тестирование и запуск: после установки каждый компонент ветрогенератора тестируется на работоспособность, а затем система в целом запускается и проверяется на предмет правильной работы.

Поскольку ветряные турбины после их установки должны выдерживать значительные нагрузки, которые могут ставить под угрозу устойчивость и целостность конструкции, необходимо обеспечить соответствующий фундамент, параметры которого определяются индивидуально для каждой установки. В таблице 4.5 представлены размеры фундамента для рассматриваемых ВГ.

Таблица 4.5 – Размеры фундамента для каждой модели ветрогенератора

Модель	Занимаемая территория, м	Высота, м	Ширина, м	Высота фундамента для растяжки, м	Ширина фундамента для растяжки, м
ROSVETRO FK-2K	6,2 × 6,2	2	1,3	1,1	1,5
ROSVETRO FK-3K	6,2 × 6,2	2	1,5	1,1	1,5
ROSVETRO FK-5K	13 × 13	2,5	2	1,5	1,5
ROSVETRO FK-10K	15 × 15	2,7	2	1,5	1,5
ROSVETRO PC-10K	15 × 15	2,7	2	1,5	1,5
АТОН ВС-20	17 × 17	3	2,5	1,5	1,5
Condor Air 30	19 × 19	3,5	3	1,5	1,5
Condor Air 40	21 × 21	4	3	1,5	1,5
Condor Air 50	21 × 21	4	3	1,5	1,5
Condor Air 60	21 × 21	4	3	1,5	1,5
LT100KW	22 × 22	4	3	2	2

Затраты на монтаж ветрогенератора на поверхности объектов горнотехнической системы с учетом затрат на подготовку территории и обеспечение долговечности его эксплуатации следует рассчитывать по формуле

$$Z^{ВГ} = \mathcal{N}_{ВГ} \cdot (C_{ВГ} + Z_{\text{монт}}^{ВГ}) + Z_{\text{планир}}^{ВГ}, \quad (4.6)$$

где $\mathcal{N}_{ВГ}$ – количество ветрогенераторов, шт.

$C_{ВГ}$ – стоимость одного ветрогенератора, руб.

$Z_{\text{монт}}^{ВГ}$ – затраты на монтаж одного ветрогенератора, руб.

$Z_{\text{планир}}^{ВГ}$ – затраты на планирование площадки для монтажа ветрогенераторов, руб./м².

С целью расчета эффекта, приближенного к реальным условиям эксплуатации ветровых электростанций, стоимости их монтажа и обслуживания, в работе на основе серийно выпускаемых технических решений определено рациональное количество установки ветрогенераторов на ограниченной территории. В качестве исходных данных при моделировании принято: площадь участка для монтажа ветрогенератора – 1, 5, 25 га; высота отвала для установки ветрогенератора – 100 м; расположение месторождения 53°С.Ш.; процент дней в году, способных обеспечить работу ветрогенератора – 60%, средняя скорость ветра 9,8 м/с.

Результаты экономической оценки эффективности выполнения откосов верхних уступов при установке на них комплекса солнечных панелей представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Оценка эффективности формирования поверхности отвала для установки ветрогенераторов

Модель ветрогенератора	Количество ВГ, шт.			Площадь планировки поверхности, м ²	Стоимость ВГ, млн руб.	Затраты на монтаж ВГ, млн руб.	Суммарный объем вырабатываемой электроэнергии, кВт·ч			Общие затраты на установку ВГ, млн руб.	Годовой эффект от ВГ, млн руб.	Срок окупаемости установки ВГ, год
	Площадь участка ВГ, га						Площадь участка ВГ, га					
	1	4	25				1	4	25			
ROSVETRO FK-2K	28	–	–	94,9468	0,23	0,39	40,6	–	–	0,62	0,92	0,68
ROSVETRO FK-3K	18	–	–	94,9468	0,27	0,64	43,2	–	–	0,91	0,98	0,93
ROSVETRO FK-5K	6	–	–	417,43	0,56	0,96	24,6	–	–	1,53	0,56	2,74
ROSVETRO FK-10K	–	14	–	555,75	0,72	0,96	–	140	–	1,70	3,18	0,53
ROSVETRO PC-10K	–	14	–	555,75	2,24	1,25	–	280	–	3,50	6,35	0,55
АТОН ВС-20	–	14	–	713,83	2,47	1,10	–	150	–	3,58	3,40	1,05
Condor Air 30	–	5	–	891,67	1,79	0,20	–	160	–	2,01	3,63	0,55
Condor Air 40	–	–	33	1089,27	2,35	0,98	–	–	1386	3,35	31,43	0,11
Condor Air 50	–	–	33	1089,27	2,85	1,48	–	–	1749	4,35	39,67	0,11
Condor Air 60	–	–	22	1089,27	3,15	1,37	–	–	1386	4,55	31,43	0,14
LT100KW	–	–	11	1195,48	11,20	5,04	–	–	1045	16,27	23,70	0,69

Таким образом, на основе разработанной методики расчета затрат на подготовку отвала для монтажа на его поверхности ветрогенераторов проведен расчет эффективности их монтажа и срока окупаемости предложенных технических решений. Согласно результатам расчетов выявлено, что независимо от типа применяемых ветрогенераторов имеется положительный эффект от их монтажа на поверхности отвала с максимальной абсолютной отметкой поверхности, при этом срок окупаемости в большинстве случаев не превышает одного года при оптимистичном сценарии по количеству дней в году с минимально необходимой скоростью ветра и трех лет при пессимистическом сценарии, предусматривающем в два раза больше количества безветренных дней.

4.3 Расчет экономической эффективности внедрения рекомендаций на железорудном месторождении «Малый Куйбас»

Железорудное месторождение «Малый Куйбас» расположено на восточном склоне Южного Урала. Административно месторождение находится в Агапов-

ском районе Челябинской области и расположено в 13 км к северо-востоку от г. Магнитогорска.

Месторождение располагается в одноименной горе с абсолютной отметкой 559,6 м и относительным превышением над окружающей местностью 40–120 м. Верхняя часть месторождения вскрыта карьером, действующим с 1973 года. В настоящее время карьер эксплуатируется в наиболее нижней части на горизонте +350 м. Эксплуатация осуществляется Магнитогорским рудником Горно-обогатительного производства ПАО «ММК». Производится добыча железной руды и строительного камня. В настоящее время наблюдается затухание горных работ в связи с истощением балансовых запасов.

Месторождение «Малый Куйбас» разрабатывается с 1973 года по проекту, выполненному институтом «Уралгипроруда», до отметки горизонта +220 м в южной части и +190 в северной части. Длина карьера по верху 2200 м, ширина – 600 м. За весь срок эксплуатации карьера на дневной поверхности в отвалах размещено 141,6 млн м³ вскрыши, из них 95,1 млн м³ – скальной вскрыши и 46,5 млн м³ – строительных горных пород. При этом в 2002 году в связи с изменением границ земельного отвода под отвалы строительного камня отведено 140 га. Аэрофотосъемка карьера «Малый Куйбас» и его отвального хозяйства по состоянию на 01.05.2024г. представлена на рисунке 4.1.

В соответствии с проведенными исследованиями скорости ветра на различных высотных отметках южного и северного отвалов произведено аэродинамическое моделирование движения и скорости потоков воздуха в программных продуктах инженерного анализа (рисунок 4.2). Установлено, что наиболее целесообразным местом для монтажа ветрогенераторов является площадка на северном отвале. При этом на откосах ярусов южного отвала целесообразно организовать установку солнечных панелей.



Рисунок 4.1 – Аэрофотосъемка месторождения «Малый Куйбас»

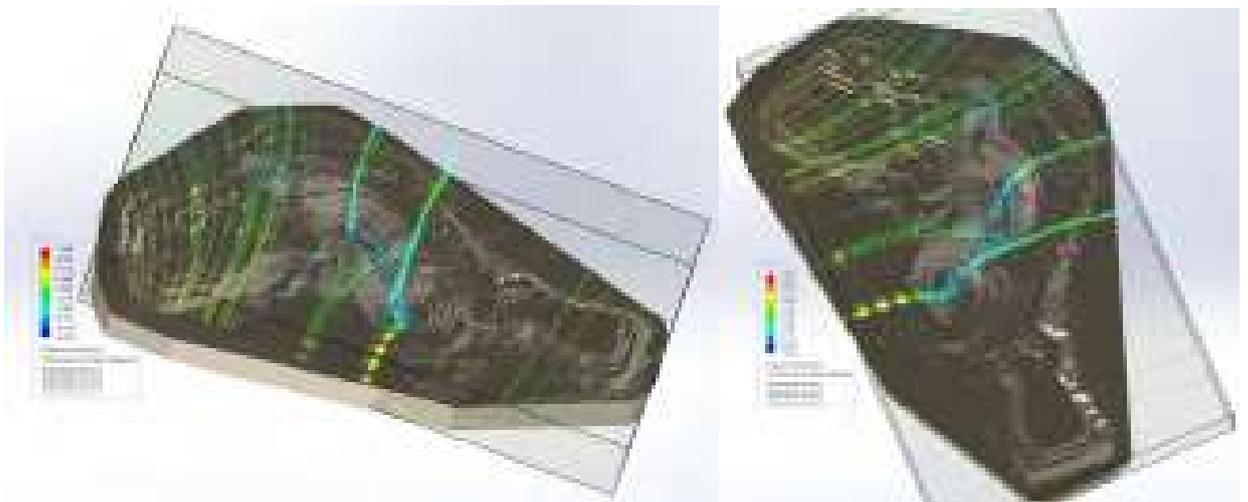


Рисунок 4.2 – Результаты аэродинамического моделирования горнотехнической системы на базе месторождения «Малый Куйбас»

В диссертации рассмотрен вариант размещения ветрогенераторов и солнечных панелей с максимальной эффективностью. Для этого предусмотрена отсыпка на поверхности южного отвала дополнительного яруса, объем 1,158 млн м³ с учетом имеющейся свободной поверхности. При этом на южном откосе формируемого яруса предусматривается монтаж солнечных панелей.

Перемещение вскрышных пород в объеме 1,158 млн м³ позволит локально повысить отметку поверхности отвала в южной его части на 25 м и подготовить фундаменты для установки ветрогенератора. Кроме того, южные откосы формируемых ярусов будут подготовлены к монтажу солнечных панелей (рисунок 4.3).

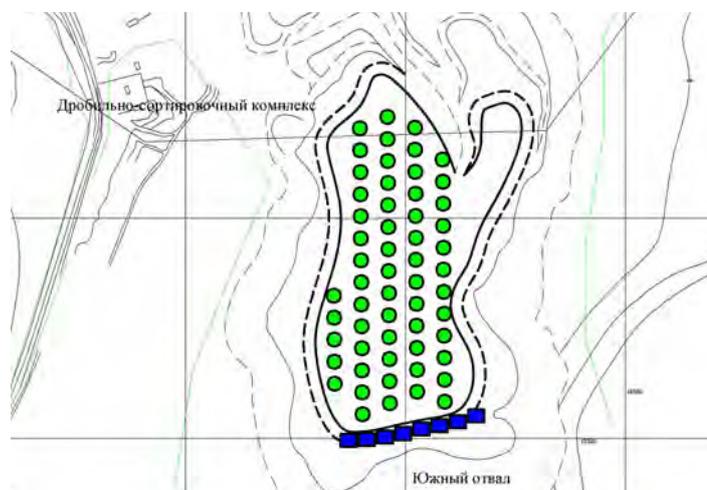


Рисунок 4.3 – Положение отвала с установленными ветрогенераторами и солнечными панелями

При формировании поверхности отвала учитывались эксплуатационные и капитальные затраты на установку солнечных панелей в количестве 8 мачт с суммарным количеством панелей 30 шт. и ветрогенераторов в количестве 58 шт., а также эксплуатационные затраты на отсыпку вскрышных пород в объеме 1,158 млн м³ и планировку поверхности. С учетом срока эксплуатации устанавливаемых электростанций, функционирующих на преобразование энергии солнца и потоков воздушных масс, определится экономический эффект предлагаемых технической решений, который базируется на суммарной экономии всех производственных ресурсов (живого труда, материалов, капитальных вложений), которые получает или высвобождает предприятие в результате применения внедряемой технологии. В расчетах учтена работа автомобильно-экскаваторного комплекса [30, 82, 123, 124, 126, 127, 137, 142]. Расчет экономического эффекта производился на годовой объем продукции путем сопоставления приведенных затрат по базовому и предлагаемому

варианту. Также рассчитывался срок окупаемости, показывающий период времени, в течение которого дополнительные капитальные затраты покрываются за счет экономии себестоимости продукции, он определялся как отношение размера дополнительных капиталовложений к экономии от снижения себестоимости.

К капитальным затратам при формировании горнотехнической системы с использованием солнечного излучения и энергии движущихся потоков воздушных масс относятся стоимость ветряных установок, солнечных панелей, а также затраты на их монтаж, который входит в стоимость данного внедряемого оборудования. В эксплуатационные затраты входят затраты на транспортирование вскрышных пород, бульдозерные работы по планированию поверхности отвала и монтажа установок, обслуживание ветряных установок и солнечных панелей, а также прочие расходные материалы – в объеме 10% от суммы обслуживания оборудования. Кроме того, предложенные технические и технологические решения позволяют осуществить мероприятия по рекультивации нарушенных земель путем подготовки земель для их перевода в категорию «земли промышленности», энергетики, поскольку по завершении выведения горных работ данный участок отвала будет эксплуатироваться с целью получения электроэнергии. Капитальные и эксплуатационные затраты представлены в таблицах 4.7 – 4.12.

Таблица 4.7 – Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты	Значение
объем работ по досыпке вскрыши, м ³	1 158 000,00
Транспортирование:	
расценка на транспортирование, руб./т км	26,00
длина транспортирования, км	1,00
затраты на транспортирование, тыс. руб./год	30 108,00
Бульдозерные работы:	
производительность бульдозера, м ³ /ч	12 189,00
количество часов	95,00
расценка на бульдозерные работы, руб./ч	1 400,00
затраты на бульдозерные работы, тыс.руб./год	9 154,00
обслуживание ВЭ, тыс.руб./год	780,00
обслуживание СЭ, тыс.руб./год	780,00
Экономия на проведении рекультивационных работ:	
объем $Q_{рек.}$, м ³	1 158 000,00
расценка на экскавацию, руб./т	64,00
расценка на бульдозерные работы, руб./ч	1 400,00
затраты на экскавацию, тыс.руб./год	74 112,00
затраты на бульдозерные работы, тыс.руб./год	133,01

Таблица 4.8 – Капитальные затраты

Капитальные затраты	Количество, шт.	Цена за 1 шт., тыс. руб.	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость и установка (ВЭ)	58,00	2 850,00	165 300,00
Стоимость и установка (СЭ)	30,00	2 260,52	67 815,48
Итого			233 115,48
Коэффициент понижения (ВЭ)			0,21
Коэффициент понижения (СЭ)			0,84

Таблица 4.9 – Дополнительные капитальные затраты

Дополнительные капитальные затраты	Проектируемый, тыс. руб.
Стоимость и установка (ВЭ)	438 900,00
Стоимость и установка (СЭ)	67 815,48
Итого	506 715,48

Таблица 4.10 – Дополнительные эксплуатационные затраты

Дополнительные эксплуатационные затраты	Проектируемый, тыс. руб./год
Обслуживание ВЭ	780,00
Обслуживание СЭ	780,00
Прочее	156,00
Итого	1 716,00

Таблица 4.11 – Доход от производства электроэнергии

Критерий	Кол-во, шт.	Производительность, кВт·ч	Часы работы в год	Производство электроэнергии в год, кВт/ч год	Электроэнергия в год с учетом ставки, тыс. руб./год
Ветрогенераторы	58	53	3 504,00	10 771 296,00	48 470,83
Солнечные панели	30	51,80	364,80	151 173,12	680,28
Ставка, руб.кВт/ч	4,50				

Таблица 4.12 – Годовой экономический эффект

Эффект от реализации	Значение, тыс. руб./год	Затраты на мероприятия	Значение, тыс. руб./год	Экономический эффект от внедрения мероприятий, тыс. руб./год
Сокращение затрат на рекультивацию	74 112	Затраты на транспортирование	30 108,00	82 285,11
Доход от ВГ	48 470,83	Затраты на бульдозерные работы	9 154,00	С учетом коэффициента экономической эффективности капвложений 0,15, тыс. руб./год
Доход от солнечных панелей	680,28	Обслуживание и прочие расходы	1 716,00	47 317,79

При расчете экономического эффекта учтено снижение годового объема затрат в результате перехода на энергию солнца и ветра, равного объему получаемой в год электроэнергии на ветрогенераторах и солнечных панелях с учетом стоимости ставки за кВт·ч. Также учтен период времени оптимальной работы установок – для этого использован понижающий коэффициент, который зависит от скорости ветра, превышающей 4 м/с, и количества солнечных дней в году.

Величина экономического эффекта, т. руб/год, определяется по формуле

$$\text{ЭЭ} = \Delta C - K \cdot K_{\text{э}}, \quad (4.6)$$

где ΔC – снижение годового объема затрат в результате перехода на энергию, получаемую на солнечных панелях и ветрогенераторах, руб.;

K – объем капиталовложений, связанных с приобретением солнечных панелей и ветрогенераторов, руб.;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент экономической эффективности капиталовложений, который соответствует уровню доходности альтернативного вложения капитала, %.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K}{\Delta C} = \frac{213\,115,48}{82\,285,11} = 2,83 \text{ года.}$$

Таким образом, реализация предложенных решений по изменению конструкции южного отвала на карьере «Малый Куйбас» при формировании его южного откоса для монтажа солнечных панелей и поверхности для установки ветрогенераторов является экономически целесообразным и обеспечивает расчетный годовой эффект в размере 47,3 млн руб. при сроке окупаемости менее 3 лет. Кроме того, подготовка поверхности отвала, монтаж установок по преобразованию солнечной энергии и потоков воздушных масс в электроэнергию с учетом технических решений по компенсации ее непостоянства путем использования аккумулирующей техногенной емкости обеспечивает возможность совмещения горных работ и проведения рекультивационных мероприятий. При этом эффективность данных решений в шесть раз повысит налоговые отчисления в местный бюджет при снижении затрат на рекультивацию земель, нарушенных горными работами.

Выводы по главе 4

1. В работе обоснована целесообразность изменения конструкции откосов отвалов и верхних уступов северного борта карьера, способствующих эффективному использованию солнечной и ветровой энергии. Расчеты экономической целесообразности применения разработанных решений показали, что применение разработанной методики позволяет совместить добычные работы и мероприятия по рекультивации нарушенных земель. С учетом ограниченных размеров в плане участка северного борта карьера и его выполаживания в соответствии с оптимальной конструкцией откоса в условиях месторождений, находящихся в районе с координатами 53° северной широты, срок окупаемости выполнения объемов работ по выемке горных пород и монтажу солнечных панелей не превышает одного года. При этом даже в неблагоприятные годы, когда возможно сокращение среднегодовой инсоляции до 4 раз, срок окупаемости не увеличится прямо пропорционально.

2. Применение ветрогенераторов не только на уступах отвалов, но и его поверхности повышает потенциал использования горнотехнической системы при освоении природных источников энергии. На основе разработанной методики расчета затрат на подготовку отвала для монтажа на его поверхности ветрогенераторов проведен расчет эффективности их монтажа и срока окупаемости предложенных технических решений. Установлено, что независимо от типа применяемых ветрогенераторов имеется положительный эффект от их монтажа на поверхности отвала с максимальной абсолютной отметкой поверхности, при этом срок окупаемости в большинстве случаев не превышает одного года при оптимистичном сценарии по количеству дней в году с минимально необходимой скоростью ветра и трех лет при пессимистическом сценарии, предусматривающем в два раза большее количество безветренных дней.

3. Для условий действующего карьера «Малый Куйбас» определено формирование дополнительного яруса высотой 25 м на поверхности южного отвала, что обеспечит возможность установки 30-ти солнечных панелей и 58-ми ветрогенераторов суммарной мощностью 100 кВт·ч. При этом срок окупаемости разработанных мероприятий не превысит 3 года, а расчетный годовой эффект составит в размере 47,3 млн рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей формирование южных откосов отвалов и верхних уступов северного борта карьера с целью концентрации солнечной и ветровой энергии в ходе развития горных работ для повышения полноты и комплексности освоения участка недр, имеющее важное значение для развития горнодобывающего комплекса России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе проведенного анализа мирового опыта использования возобновляемых источников энергии и их применения при рекультивации земель, нарушенных горными работами, установлена необходимость обоснования параметров горнотехнической системы для формирования карьеров и отвалов, обеспечивающих условия использования солнечной и ветровой энергии.

2. В работе обоснованы способы повышения эффективности функционирования горнодобывающего предприятия за счет опережающей постановки верхних уступов северного борта карьера в предельное положение и придания внешним отвалам соответствующей конструкции и формы в плане с целью использования солнечной и ветровой энергии в ходе ведения горных работ, что обеспечивает снижение затрат на аренду земель в период добычи полезных ископаемых за счет их параллельной рекультивации с повышением кадастровой стоимости до 6 раз.

3. Систематизированы горнотехнические сооружения, возводимые для использования природной и техногенной возобновляемой энергии, по способу формирования и осваиваемому источнику энергии и установлены требования к конструкции и параметрам верхних уступов карьера, внешних отвалов и техногенных емкостей.

4. Разработаны рекомендации по определению конструкции отвала, его формы в плане и порядка формирования с учетом розы ветров, применение которых обеспечивает концентрирование ветровых потоков в заданных областях и

позволяет выбрать рациональный тип ветрогенератора с целью максимального использования энергии ветра.

5. Доказано, что безопасность ведения добычных работ при их совмещении с монтажом и эксплуатацией солнечных панелей на верхних уступах карьера обеспечивается размером охраняемой зоны, величина которой определится с учетом первоначальной скорости вылета кусков горных пород при взрыве и составляет не более 200 м в плане, что достигается обоснованием параметров буровзрывных работ по предложенной методике.

6. Установлено, что оптимальное соотношение коэффициента инсоляции и количественного значения инсоляции достигается при выколаживании результирующего угла откоса в диапазоне $7-12^\circ$ для условий месторождений, расположенных между параллелями 50 и 60° С.Ш. Разработан коэффициент инсоляции горнотехнической системы, который предложено использовать в качестве критерия оценки эффективности изменения конструкции откоса карьера и отвала.

7. Установлена зависимость объема техногенной емкости, формируемой в качестве гидроаккумулятора из пород вскрыши, необходимых для ее строительства, от размеров верхних уступов северного борта карьера и параметров отвалов. Определено, что при увеличении вместимости аккумулирующей техногенной емкости в 3 раза снижается необходимый объем гидроизоляционного материала до 8 раз, а строительных материалов до 5 раз.

8. Разработан алгоритм определения параметров верхних уступов карьера и отвалов вскрыши для концентрирования солнечной и ветровой энергии в заданной области горнотехнической системы и предложена номограмма определения угла откосов, высоты верхних уступов северного борта карьера и изменения объема вскрышных пород, дополнительно извлекаемых из недр при его выколаживании для использования техногенной возобновляемой энергии.

9. Экономически обоснована эффективность формирования верхних откосов северного борта карьера и отвалов вскрышных пород для монтажа солнечных панелей, ветрогенераторов и гидроаккумулирующей техногенной емкости с целью использования природной и техногенной возобновляемой энергии в условиях месторождений Рудника ГОП ПАО «ММК», подтвержденный актами внедрения эффект составил 47,3 млн руб. в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агошков, М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр / М.И. Агошков. – М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 25 с.
2. Акулова, Ю. А. Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 N 2395-1. Особенности изменений от 28.12.2013 / Ю. А. Акулова, И. А. Турбало // Инновации. Интеллект. Культура : Материалы XXII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Тобольск, 13 февраля 2015 года / отв. ред. О.А. Новоселов. – Тобольск: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 189-190.
3. Арсентьев, А.И. Принятие решений о параметрах карьера: учеб. пособие / Арсентьев А.И. – Л.: ЛПИ, 1982. – 60 с.
4. Ахмедьянов, И.Х. Обоснование параметров комбинированной разработки месторождений медноколчеданных руд с утилизацией отходов обогащения в выработанном пространстве карьера: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ахмедьянов И.Х. – Магнитогорск, 2013.
5. Богачев, В.В. Перспективы применения солнечных соляных прудов для получения тепловой и электрической энергии в Ставропольском крае / В.В. Богачев, С.В. Буслов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2013. – № 3(36). – С. 93-97.
6. Бурматова, О.П. Рекультивация земель при открытых горных разработках / О.П. Бурматова // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2015. – Т. 3. – № 1. – С. 61–64.
7. Вагнер, А.А. Принцип работы современных солнечных электростанций / А.А. Вагнер, В.Ю. Соколов // Научный Лидер. – 2021. – № 15(17). – С. 179-182.
8. Вдовиченко, М.М. Анализ состояния мирового рынка альтернативной энергетики / М.М. Вдовиченко, А.Н. Дорошенко // ЦИТИСЭ. – 2019. – № 2(19). – С. 13.
9. Влияние рельефа на ударно-воздушный волновой эффект при взрывных работах в карьере / Д.В. Доможиров, В.Х. Пергамент, А.А. Полинов, И.А. Пыталев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 147-157.
10. Выбор стратегии устойчивого развития горнодобывающих предприятий с использованием многокритериальных методов / К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов, Н.А. Осинцев // Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Челябинск, 02–03 марта 2022 года. – Челябинск: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2022. – С. 47-48.
11. Гавришев, С.Е. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 9. – С. 252–258.

12. Галиев, С.Ж., Методология экономической оценки эффективности горно-транспортных комплексов карьеров на основе автоматизированной системы мониторинга и имитационного моделирования / Галиев С.Ж., Саменов Г.К., // Проблемы недропользования. – 2015. – № 4 (7). – С. 5-13.
13. Гапонова, И.В. Обоснование конструкции уступов верхних горизонтов карьера для формирования техногенного георесурса и реализации его потенциала / И.В. Гапонова // Актуальные проблемы горного дела. – 2019. – № 2. – С. 3-9. – EDN GDRUHS.
14. Гидроаккумулирующие электростанции / Бабурин Б.Л., Глезин М.Д., Красильников М.Ф., Шейнман Л.Б.; под ред. Л. Б. Шейнмана. — М.: Энергия, 1978. — 184 с., ил
15. Гидроузел «Три ущелья» на реке Янцзы (китайская народная Республика) / В. Ши, Т. Ли, Ц. Чжан [и др.] // Дни студенческой науки : сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ, Москва, 02–06 марта 2020 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 529-533. – EDN RJWJTC.
16. Горное дело. Терминологический словарь / А.В. Атрушкевич, Т.Н. Бочкарева, В.С. Забурдяев [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горная книга, 2016. – 635 с.
17. Горные науки, освоение и сохранение недр земли / под ред. акад. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 475 с.
18. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году».
19. Доможиров, Д.В. К вопросу повышения эффективности добычи и переработки минерального сырья за счет управления параметрами буровзрывных работ для достижения требований к качеству / Д.В. Доможиров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 5-14. – DOI 10.18503/1995-2732-2023-21-1-5-14.
20. Дьяконова, С.Н. Исследование применения ветроустановок на рынке возобновляемой и альтернативной энергетики / С.Н. Дьяконова, В.А. Маевский // Инновации, технологии и бизнес. – 2019. – № 2(6). – С. 70-73.
21. Елистратов, В.В. «Три ущелья» – крупнейшая гидроэлектростанция мира / В.В. Елистратов, Х.И. Заиров // Энергохозяйство за рубежом. – 2011. – № 1(254). – С. 26-32.
22. Елистратов, В.В. Расчет фундаментов ветроэнергетических установок / В.В. Елистратов, И.А. Константинов, А.А. Панфилов. Ч. 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2005. –

95 с.

23. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 28.12.2013) «О недрах» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023) [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://www.consultant.ru>.
24. Заляднов, В.Ю. Обоснование способов формирования техногенных георесурсов при открытой разработке железорудных месторождений: дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2005. – 130 с
25. Захарова, М.С. Ветрогенератор из пьезоэлементов / М.С. Захарова, Е.В. Хаустова // Актуальные проблемы развития науки и образования : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Москва, 05 мая 2014 года. В 7 ч. Ч. IV / ООО «Ар-Консалт». – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «АР-Консалт», 2014. – С. 27-29.
26. Зиганшина, Д. Е. Тепловые солнечные электростанции башенного типа, работающие на расплавленной соли / Д. Е. Зиганшина // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : сборник статей по материалам конференции. Казань, 27–29 апреля 2022 года. В 3-х т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Т. 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 567-570.
27. Золотов, Л. А. Завершающая фаза строительства гидроузла «Три ущелья» / Л.А. Золотов, В.Я. Шайтанов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 46-48.
28. Зубков, А.А. Обоснование параметров технологии формирования техногенных массивов из отходов обогащения в выработанном карьерном пространстве при открыто-подземной разработке медноколчеданных месторождений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Зубков Артем Анатольевич; Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2013. – 20 с.
29. Изучение влияния размеров рабочей зоны карьера и направления развития горных работ на показатели качества руды / Ю.А. Килин, А.И. Косолапов, И.И. Вашлаев, А.М. Тодинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 177-180.
30. Имитационное моделирование работы экскаваторно-автомобильного комплекса карьера / И.А. Пыталев, А.А. Козловский, А.А. Полинов [и др.] // Недропользование и транспортные системы. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 62-73.
31. История горного дела / И.В. Шадрунова, В.А. Шадрунов, А.Ю. Глухова [и др.]. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2008. – 193 с.
32. Каплунов, Д.Р. Расширение классификации георесурсов / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S65. – С. 3-17.

33. Каплунов, Д.Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие // Горный журнал.– 2014. – №7. – С.49-51.
34. Касяненко, Е.О. Анализ развития рынка альтернативной энергетики в России / Е.О. Касяненко // Неделя науки СПбПУ : материалы научного форума с международным участием. Инженерно-экономический институт, Санкт-Петербург, 30 ноября – 05 2015 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-экономический институт; отв. ред.: О.В. Калинина, С.В. Широкова. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2015. – С. 413-415.
35. Кашапов, З.М. Разработка технологии управляемого формирования отвальных массивов в выработанном пространстве глубоких карьеров : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кашапов З.М. – Алма-Ата, 1992.
36. Кириченко, А.С. Особенности использования солнечных прудов как одного из видов возобновляемых источников энергии / А.С. Кириченко, А.А. Куличкина, Ю.Л. Муртазаева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 46. – С. 218-221.
37. Классификация и анализ ветроэнергетических установок / А.Б. Кайдар, С.С. Исенов, Р.М. Исаков [et al.] // Bulletin of Toraighyrov University. Energetics series. – 2022. – No. 4.2022. – P. 111-129.
38. Ковалевский, В.А. Разработка технологии отвалообразования при засыпке глубоких карьеров : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ковалевский В.А. – Кривой Рог, 1990.
39. Козловский, А.А. Использование выработанного пространства карьера в качестве полигона для складирования промышленных отходов / Козловский А.А., Хоменко Н.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010.– № 9. – С. 285-288.
40. Козловский, А.А. Особенности технологии складирования промышленных отходов в выработанном пространстве карьеров / Козловский А.А., Бочкарев А.В., Наумкин В.В. // Материалы 67-й науч.-техн. конф. – Магнитогорск, 2009. – С. 150-153.
41. Конончик, Л.Е. Складирование вскрышных пород в отработанное карьерное пространство как способ охраны окружающей среды / Конончик Л.Е., Суслонова Г.Н. // Горный журнал. – 2001. – №7. – С. 26-28
42. Концепция комплексного освоения участка недр с формированием новых источников энергии при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / А.А. Козловский, А.А. Полинов, И.А. Пыталев, В.В. Якшина // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.

- гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. – С. 55-57.
43. Кретьова, В.С. Устройство и принцип работы солнечных панелей и электростанций / В.С. Кретьова, В.А. Метелкин // Будущее науки -2022 : сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 21–22 апреля 2022 года. Т. 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 412-415.
 44. Лапшакова, А.О. Альтернативная энергетика на примере возобновляемых источников энергии на добыче полезных ископаемых / А.О. Лапшакова, А.М. Эйзлер // Материалы Шестнадцатой всероссийской научно-практической конференции «Проблемы развития экономики и предпринимательства», Иркутск, 16–18 апреля 2018 года. – Иркутск: ООО фирма «Илига», 2018. – С. 45-51.
 45. Любимов, Н.И. Справочник по физико-механическим параметрам горных пород рудных районов / Любимов Н.И., Носенко Л.И. – М.: Недра, 1978. – 285 с.
 46. Малафеев, С.И. Мобильная карьерная дизель-генераторная станция: опыт проектирования и эксплуатации / С.И. Малафеев, Н.А. Серебренников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 8. – С. 152-164.
 47. Мельников, Н.Н. Применение ядерной энергии в горной промышленности / Н.Н. Мельников, В.В. Гуцин // Горный журнал. – 2003. – № 9. – С. 15-21.
 48. Методика определения параметров техногенной емкости для условий крутопадающих месторождений полезных ископаемых / Т.С. Кравчук, И.А. Пыталев, Е.Е. Швабенланд, В.В. Якшина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 425-435.
 49. Методы проектного финансирования инвестиционных технологий в сфере недропользования / М.В. Рыльникова, И.А. Пыталев, К.И. Струков, И.А. Трушина // Горный журнал. – 2018. – № 2. – С. 21-26.
 50. Мисриханов, М.Ш. Классификация ветроэнергетических установок с колебательным рабочим движением / М.Ш. Мисриханов, С.А. Ниналалов, М.Х. Рабаданов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 4(54). – С. 76-84.
 51. Низкотемпературная радиально-осевая турбина для утилизационной энергоустановки / Ю. С. Бухолдин, Ю. Зинченко, В. А. Левашов, Д. Сидоренко // Газотурбинные технологии. – 2008. – № 3(64). – С. 14-18.
 52. Новоженин, В.Д. Гидроэнергетика России / В.Д. Новоженин, С.В. Тулянкин // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 1. – С. 2-7.
 53. Новые подходы к оптимизации проектирования карьеров / В.С. Хохряков, С.В. Корнилков, Ю.И. Лель [и др.] // Известия Уральского государственного горного университета. – 2007. – № 22. – С. 81-93.
 54. Обоснование возможности формирования солнечного пруда в процессе разработки месторождения твердых полезных ископаемых открытым способом /

- И.А. Пыталев, В.В. Якшина, А.А. Козловский, А.А. Полинов // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 23–24 ноября 2023 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. – С. 165-169.
55. Обоснование системы разработки с внутренним отвалообразованием при освоении крутопадающего месторождения «Курасан» / И.А. Пыталев, В.В. Якшина, А.А. Козловский, А.А. Полинов // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 4(66). – С. 34-38.
56. Обоснование технических решений по созданию и эксплуатации техногенной емкости, формируемой на базе внешних отвалов для размещения обезвоженных хвостов обогащения в условиях Гайского горно-обогатительного комбината / О. В. Зотеев, С. Е. Гавришев, И. А. Пыталев [и др.] // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: сборник статей по результатам Международной конференции, Магнитогорск, 27–31 мая 2019 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2019. – С. 240-248.
57. Обоснование технологии открытой разработки месторождений руд цветных металлов с учетом мировых тенденций снижения эмиссии парниковых газов / И.В. Зеньков, Л.Х. Чинь, В.Н. Вокин [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 48-53. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-1-48-53. – EDN HKNNCF.
58. Обоснование ударно-воздушной волновой безопасности промышленных взрывов больших блоков в каскадах / Д.В. Доможиров, В.Х. Пергамент, А.А. Полинов, И.А. Пыталев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 413-426.
59. Определение ценности техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Павлова Е.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.– 2010.– №2. С. 5 – 8
60. Павлова, Е.В. Обоснование параметров карьеров при комплексном освоении природных и техногенных георесурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ Павлова Е.В. – Магнитогорск, 2013.
61. Панкулинец, А.М. Перспективы развития гидроэнергетики России / А.М. Панкулинец, Л.С. Араратьян, А.В. Крупнов // Энергоресурсосбережение в промышленности : сборник научно-практических трудов. – Тверь : Тверской государственный технический университет, 2023. – С. 175-180.
62. Перельгина, А.В. Классификация турбин ветрогенераторов / А.В. Перельгина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2017 года. – Белгород: Белгородский

- государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 5023-5027.
63. Перспективы и возможности применения подземных ядерных взрывов в геотехнологии / А.А. Спивак, Н.Н. Перов, И.Л. Машковцев, Саумитра Нараян Деб // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2004. – № 2. – С. 113-124.
64. Планирование открытых горных работ : учебник / С.В. Корнилков, О.В. Наговицын, Ю.О. Славиковская [и др.]. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 346 с.
65. Полинов, А.А. Геотехнологические способы обеспечения требуемых углов откосов уступов верхних горизонтов карьера для монтажа на них солнечных батарей / А.А. Полинов // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 23–24 ноября 2023 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. – С. 160-164.
66. Пособие по проектированию автомобильных отвалов / под ред. Б.А. Тимофеева. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1990.
67. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».
68. Постановления Правительства РФ от 10 июля 2018г. №800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (с изменениями на 07.03.2019 г.).
69. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых”» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400102700/>
70. Проектирование горных работ при формировании карьерного пространства зонами концентрации / Галкин В.А., Сидоренко В.Н., Гавришев С.Е., Носов А.Н. – Магнитогорск: МГМИ, 1991.– 57 с.
71. Проектное финансирование совокупного использования природных и техногенных ресурсов: монография / М.В Рыльникова, К.И. Струков, И.А. Пыталев, И.А. Трушина.– М.: ИПКОН РАН, 2018. – 146 с.
72. Пыталев, И.А. Обоснование параметров карьеров и отвалов, формируемых в виде емкостей для размещения промышленных отходов : автореф. дис. ... канд. техн. наук/ Пыталев И.А. – Магнитогорск, 2008.
73. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горно-технических систем: специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Пыталев Иван

- Алексеевич. – Магнитогорск, 2019. – 36 с.
74. Пыталев, И.А. Основы перехода к комплексному освоению участка недр при открытом способе разработки месторождений твердых полезных ископаемых и формировании возобновляемых источников энергии / И.А. Пыталев, А.А. Полинов // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 5(127). – С. 17-23
75. Пыталев, И.А. Формирование и освоение горнотехнических сооружений при открытой разработке месторождений полезных ископаемых с целью экологически безопасного размещения промышленных отходов / С.Е. Гавришев, С.Н. Корнилов, И.Т. Мельников, И.А. Пыталев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 6. – С. 56-66.
76. Разработка методов и техники определения расчетных деформационных и прочностных характеристик местных материалов с учетом технологических способов их укладки для расширения перечня местных материалов, применяемых для возведения плотин: отчет о НИР / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. № Б410156. – Л., 1974.
77. Разработка установок-утилизаторов низкопотенциального тепла на основе органического цикла Ренкина / А.А. Кишкин, Д.В. Черненко, А.А. Ходенков [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 14(136). – С. 57-63.
78. Расчет толщины защитного экрана на поверхности внутреннего отвала Учалинского карьера / О.В. Зотеев, В.Н. Калмыков, И.А. Пыталев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S4-2. – С. 39-45.
79. Решение Совета депутатов Агаповского сельского поселения Агаповского муниципального района Челябинской области «Об утверждении Положения "Об установлении земельного налога на территории Агаповского сельского поселения» (в ред. решения от 09.06.2020 № 190) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.klerk.ru/tools/taxation/74/2803-zemelnyj-nalog/2022/1188679-resenie-soveta-deputatov-agapovskogo-selskogo-poselenia-agapovskogo-municipalnog/> (дата обращения: 23.01.2024)
80. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Ч. II / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
81. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612706. Программа расчета суммарного и удельного расхода топлива автосамосвалов с учетом руководящего уклона карьерных автодорог / А.А. Полинов, И.А. Пыталев, В.В. Якшина [и др.]; правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Опубл. 07.02.2023
82. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612706. Программа расчета суммарного и удельного расхода топлива ав-

- тосамосвалов с учетом руководящего уклона карьерных автодорог / А.А. Полинов, И.А. Пыталев, В.В. Якшина [и др.]; правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Оpubл. 07.02.2023
83. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612477. Программа расчета КЗУ откосов борта карьера и отвалов / А.А. Полинов, И.А. Пыталев, В.В. Якшина [и др.]; правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Оpubл. 01.02.2024.
84. Свод правил СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91*. Промышленный транспорт». Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91* (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/7)
85. СН 551-82. Инструкция по проектированию и строительству противоточных устройств из полиэтиленовой пленки для искусственных водоемов.
86. Современные научные исследования и инновации. 2012. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2012/04/11549> (дата обращения: 19.04.2024)
87. Состояние окружающей среды в регионах размещения горного производства / Т.В. Корчагина, Г.В. Стась, Д.О. Прохоров, А.Е. Коряков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 4. – С. 40-53.
88. Сысоева, Е.В. Применение ESG принципов в управлении компанией как способ повышения конкурентоспособности / Е.В. Сысоева // Финансовые рынки и банки. – 2023. – № 1. – С. 26-30.
89. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990-2008 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. – 370 с.
90. Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве. Москва: АО «Институт «Гидропроект», 1997.
91. Тимчук, О.Г. Альтернативные источники энергии – неотъемлемая часть концепции зеленой экономики / О.Г. Тимчук, А.А. Римша, К.С. Анегденко // Финансовая экономика. – 2023. – № 2. – С. 151-155.
92. Томаков, П.И. Рациональное землепользование при открытых горных работах / П.И. Томаков, В.С. Коваленко. – М.: Недра, 1984. 213 с.
93. Трубецкой, К.Н. Развитие технологий открытой разработки месторождений полезных ископаемых при комплексном освоении // Проблемы открытой разработки глубоких карьеров: материалы Международного симпозиума по открытым горным работам «Мирный_91», 25-27 июня 1991, г. Удачный. – 1991. – С. 3–7.
94. Тургенев, И.А. Разработка требований к тяговым аккумуляторным батареям на основе лития для карьерных самосвалов на электрической тяге / И.А. Тургенев, А.А. Шевченко // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–20 октября 2021 года / Редкол. Д.М.

- Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 405-409.
95. Угольников, В.К. История горного и взрывного дела : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Взрывное дело» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело» / В.К. Угольников, П.С. Симонов, Н.В. Угольников; Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2005. – 106 с.
96. Устойчивость деформированных бортов карьеров: тематическое исследование северного борта Светлинского карьера / И.А. Пыталев, В.Ю. Заляднов, Р.К. Габдулхаев, Ю.О. Семавина // Недропользование и транспортные системы. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 33-45.
97. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 3 декабря 2020 года № 494 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения"» (с изменениями на 25 мая 2022 года).
98. Федеральный закон №О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую № от 21.12.2004 № 172-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50874/
99. Фишов, А.Г. Анализ состояния и направление развития малой гидроэнергетики Таджикистана / А.Г. Фишов, А.Х. Гуломзода, Л.С. Касобов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 13-22.
100. Хазин, М.Л. Направления развития карьерного автотранспорта / М.Л. Хазин // Недропользование. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 144-150.
101. Харланова, В.Н. Государственное регулирование развития рынка возобновляемых источников энергии и альтернативной энергетики в Швеции / В.Н. Харланова, В.В. Коварда // Будущее науки-2019 : сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 25–26 апреля 2019 года. Т. 6. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 266-270.
102. Холодняков, Г.А. Проектирование открытой разработки комплексных месторождений / Г.А. Холодняков. – Л.: ЛГИ, 1987. – 84 с.
103. Хохряков, В.С. Проектирование карьеров: учеб. для вузов. 3-е изд. перераб. и доп. / В.С. Хохряков. – М.: Недра, 1992. – 383 с.: ил.
104. Хубиева, В.М. Применение альтернативных источников энергии в алмазодобывающей промышленности / В.М. Хубиева, В.Е. Внуков // Горный журнал. – 2024. – № 2. – С. 77-83.
105. Хубиева, В.М. Применение альтернативных источников энергии в Мирнин-

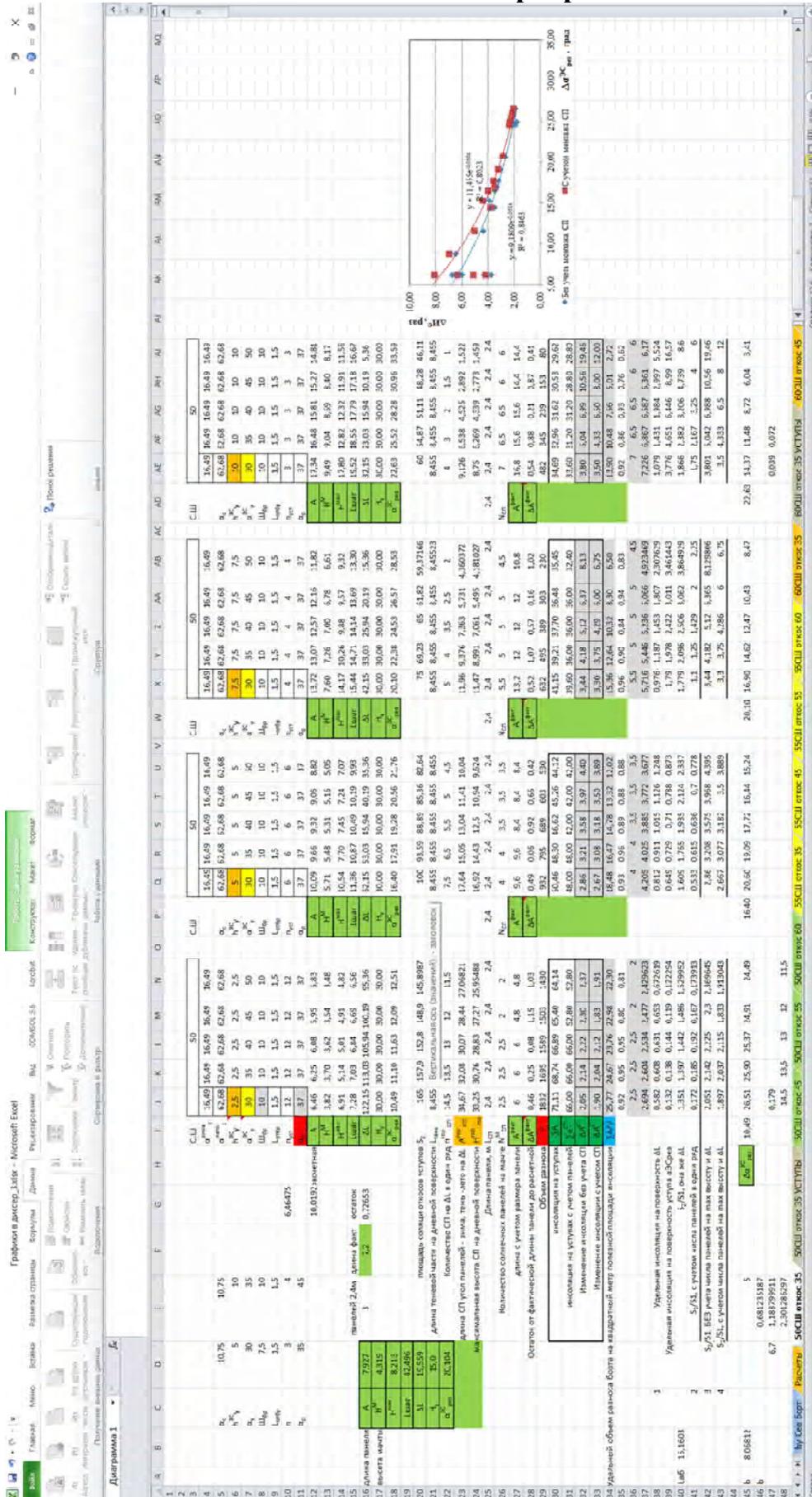
- ско-Нюрбинском горно-обогатительном комбинате АК «АЛРОСА» (ПАО) / В.М. Хубиева, Д.А. Сидоров // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 20–21 апреля 2023 года. – Москва: ООО «Издательство "Спутник+», 2023. – С. 133-137.
106. Целенаправленное формирование техногенных георесурсов как способ одновременной рекультивации нарушенных земель и повышения их кадастровой стоимости в процессе ведения открытых горных работ / И.А. Пыталев, А.А. Полинов, В.В. Якшина [и др.] // Недропользование и транспортные системы. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 39-47.
107. Чабанный, А.А. Ветроэнергетические установки-преобразователи энергии / А.А. Чабанный // Молодежь в науке: новые аргументы : сборник научных работ V международного молодежного конкурса, Липецк, 10 ноября 2016 года. Ч. I. – Липецк: Научное партнерство «Аргумент», 2016. – С. 223-228.
108. Шевелев, Д.В. Оценка характеристик солнечной тепловой электрической станции для климатических условий Калужской области / Д.В. Шевелев, А.А. Жинов, М.И. Соколов // Энергетика. Экология. Энергосбережение : Тезисы докладов международной научно-практической конференции, Калуга, 29 сентября – 01 октября 2021 года. – Калуга: Калуга: Манускрипт, 2021. – С. 25-26.
109. Шевцов, Н.С. Разработка методики обоснования параметров горнотехнических систем с намывными сооружениями при освоение железорудных месторождений: дис. ... канд. техн. наук / Шевцов Н.С. – Магнитогорск, 2013.
110. Шершнев, А.А. Обоснование технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Шершнев Андрей Александрович. – Красноярск, 2017. – 19 с.
111. Экспериментальное исследование эффективности естественного проветривания карьера через трубопроводы / Шахрай С.Г., Курчин Г.С., Сорокин А.Г. Известия высших учебных заведений // Горный журнал. – 2019. – № 1. С. 127-133.
112. Эффективность комбинирования технологий выемки руд в пределах рудного поля / В. И. Голик, В. Г. Лукьянов, Н. М. Качурин, Г. В. Стась // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 10. – С. 32-39.
113. Яковлев, В.Л. Горная наука экологическим проблемам / Яковлев В.Л., Чайкина Г.М., Конорев М.М. // Урал: наука, экология. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999.
114. Якшина, В.В. Обоснование параметров открытой геотехнологии с формированием техногенной емкости для размещения хвостов обогащения руд : специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» :

- дис. ... канд. техн. наук / Якшина Виктория Владимировна, 2022. – 169 с. – EDN VCNXJM.
115. Янсон, Р.А. Ветроустановки : учеб. пособие / Р.А. Янсон. – М. : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 37 с.
 116. Ярощук, О.Н., Развитие метода выбора рационального направления рекультивации земель, нарушенных горными работами / Ярощук, О.Н., Хабарова Е.И., Светлосанов В.А. // Безопасность жизнедеятельности. – 2006. – №12. – С. 24-29.
 117. 利用开放式可再生能源开采和形成方法综合开发地下区域的基本原理 / I. A. Rytalev, A. A. Polinov, I. S. Turkin, V. V. Yakshina // 联合创新-联合发展 : 国际外国科学会议, 哈尔滨 中国, 24 октября 2023 года. – 哈尔滨 中国: HNRI "National development", 2023. – P. 47-50.
 118. «Global Wind Atlas» – официальный сайт. – Россия. URL: <https://globalwindatlas.info/ru/area/Russia/Bashkortostan>
 119. «ROS VETROGENERATOR» – официальный сайт. – Россия. – Обновляется в течение суток. URL: <https://rosvetrogenerator.ru/>
 120. «Гидрометцентр России» – официальный сайт. – Россия. – Обновляется в течение суток. URL: <https://meteoinfo.ru/>
 121. «Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 №136-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2023) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/
 122. Ali Sayigh. Comprehensive Renewable Energy. 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sciencedirect.com.focus.lib.kth.se/science?_ob=RefWorkIndexURL&_idxType=GI&_cid=282715&_acct=C000034958&_version=1&_userid=4478132&md5=8d196220a025d681642df48e80070e7b
 123. Bascetin, A. The study of decision making tools for equipment selection in mining engineering operations / Bascetin, A. // Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. – 2009. – Т. 25. – №3. – pp. 37–56.
 124. De Werk Marco. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study / Marco de Werk, B. Ozdemir, B. Ragoob, T. Dunbrack, M. Kumral // The Engineering Economist, P. 1-18.
 125. Design of an open-pit gold mine by optimal pitwall profiles / Gosti A., Utili S., Gregory D., Lapworth A., Samardzic J. & Prawasono A. // CIM Journal, (2021), pp. 1-21.
 126. Despodov, Z. Methodology for selection of the most convenient ore transportation system in regard to the environmental protection / Despodov Z., Mirakovski D., Mijalkovski S. // The International Journal of Transport and Logistics. – 2013. – №13(26). – 10 p.
 127. Ercelebi, S.G. Optimization of Shovel-truck system for surface mining / S.G. Ercelebi, A. Bascetin // The Journal of The Southern African Institute of Mining and

- Metallurgy, July 2009. – Vol. 109. – P. 433-439.
128. Golestanifar, M. TISS: a decision framework for tailing impoundment site selection / Golestanifar M., Aghajani Bazzazi A. // *Environmental Earth Sciences*. – 2010. – Т.61. – N7. – Pp. 1505–1513.
 129. Goossens, Ehren, "Chevron Uses Solar-Thermal Steam to Extract Oil in California", "Bloomberg", October 3, 2011.
 130. https://greentec-group.ru/upload/iblock/4b3/Ветрогенератор_Condor_Air.pdf Руководство пользователя. Ветрогенераторы горизонтально-осевые. Серия «Condor Air» (мощность от 10 до 60 кВт)
 131. <https://almaz-media.tv/syuzhetyi/mirnyy/10225-solnechnye-paneli-v-njurbinskom-gok-dokazali-svoju-jeffektivnost.html>
 132. https://climate-energy.ru/weather/spravochnik/wdsp/climate_sprav-wdsp_2883801631.php
 133. <https://e-solarpower.ru/solar/solnechnye-elektrostantsii-dlya-predpriyatij/ekonomiya/setevaya-solnechnaya-elektrostantsiya-ofis-1-ekonomiya/>
 134. <https://planetcalc.ru/320/>
 135. <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivation/>
 136. Identifying and clarifying environmental policy best practices for the mining industry—A systematic review / F.X. Tuokuu, U. Idemudia, J.S. Gruber, J. Kayira // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – V. 222. – P. 922–933.
 137. Marco de Werk. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study / Marco de Werk, Burak Ozdemir, Bellal Ragoub, Tyrrell Dunbrack, Mustafa Kumral // *The engineering economist* – 2016. – P. 1-18"
 138. Optimization of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery From Aluminum Production Plants / Castelli A.F., Elsidio C., Scaccabarozzi R., Nord L.O., Martelli E. // *Frontiers in Energy Research*. – 2019. – Vol. 7. – Art. 44. – 19 p.
 139. Popel O. Renewable energy: the role and place in contemporary and future energy. // *Russian chemical journal*. – 2018.– Vol. 6. – P. 95–106.
 140. Shen, L. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach / Shen L., Muduli K., Barve A. // *Resources Policy*. – 2015. – N46. – Pp. 15–26.
 141. Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfirat M.K. Mine Reclamation and Restoration of Nature. // *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 9(2). – P. 39–49.
 142. Vinter G., Price G., Lee D. *Project Finance*. 4th ed. – London: Sweet & Maxwell, 2010. – 606 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Фрагмент интерфейса окна моделирования параметров откосов борта карьера



Методика моделирования горнотехнической системы и аэродинамического анализа

Моделирование осуществляется в три основных этапа:

- подготовка цифрового двойника горнотехнической системы в горно-геологической информационной системе ГГИС;
- подготовка и осуществление процедуры экспорта-импорта цифрового двойника в систему инженерного анализа с использованием трёхмерных систем автоматизированного проектирования и черчения;
- проведение инженерного анализа в программных продуктах САЕ.

Подготовка данных для моделирования и непосредственно расчет производится в программных комплексах систем автоматизированного проектирования. Укрупненно шаги подготовки и моделирования горнотехнической системы для проведения эксперимента включают в себя:

- I. Использование горно-геологической информационной системы ГГИС:
 1. Подготовка трехмерной модели участка недр с горизонтальной дневной поверхностью (рельефом) месторождения. Геометрические размеры участка недр приняты $4,5 \times 3,4 \times 0,4$ км (рисунок П2.1).



Рисунок П2.1 – Участок недр с длиной 4,5 км, шириной 3,5 км и высотой 400 м

2. Создание каркасной модели круглой формы в плане карьера размерами 850×810 м при глубине 280 м (рисунок П2.2).

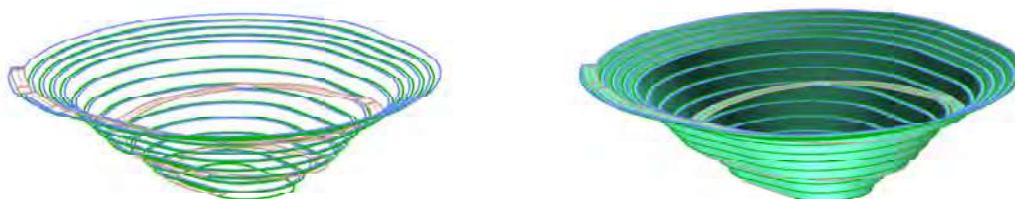


Рисунок П2.2 – Каркасная модель карьера круглой формы в плане

3. Подготовка модели участка недр с карьером круглой формы на конец отра-

ботки (рисунок П2.3). Объем горной массы в контуре карьера – 953 млн м³.

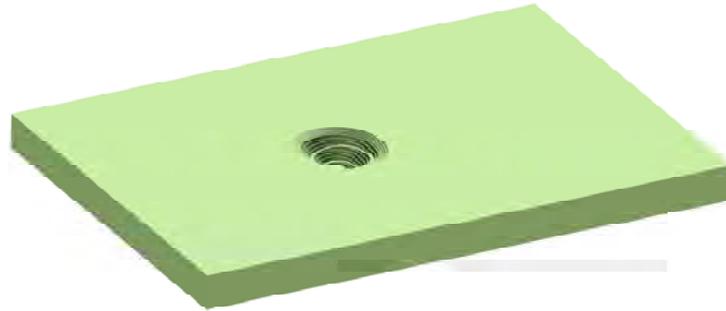


Рисунок П2.3 – Каркасная модель карьера круглой формы в плане

4. Создание каркасной модели отвала объемом 150 млн м³ площадью основания 101,9 га с углом откосов 35° при высоте 71 м (рисунок П2.4).

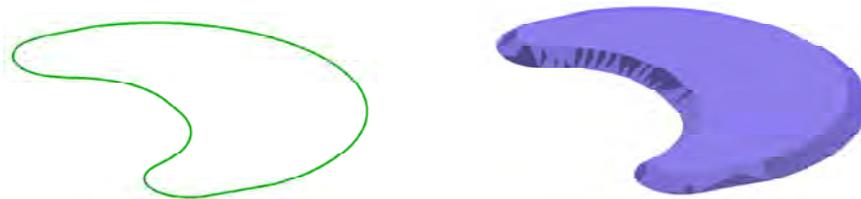


Рисунок П2.4 – Каркасная модель отвала с углом откосов 35°

5. Сборка горнотехнической системы на конец отработки (рисунок П2.5).

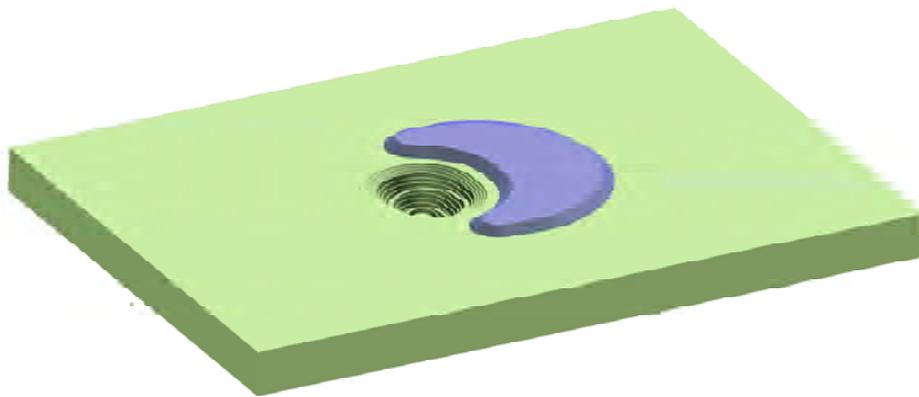


Рисунок П2.5 – Модель горнотехнической системы на момент окончания отработки балансовых запасов

Модель горнотехнической системы готова для экспорта в формате DFX в систему компьютерного проектирования, технического анализа и подготовки изделий к производству любой сложности (CAE). Поскольку ГГИС и САЕ система не позволяют осуществлять прямые процедуры экспорта-импорта 3D-тел, в работе предусматривается использование САД-систем в качестве промежуточной среды для осуществления процедур экспорта-импорта исследуемых

объектов.

II. Использование трёхмерной системы автоматизированного проектирования и черчения (CAD):

1. Импорт DXF-файлов с 3D-телом в CAD-систему с предварительно установленной переменной, отвечающей за работу с сетями и ее сглаживанием SMOOTHMESHCONVERT значение «3».
2. Поскольку процедура импорта 3D-тело из ГГИС в CAD преобразуется в виде многогранной сети, необходимо применить команду СЕТЬСГЛАДИТЬ и создать новую сеть. При этом будет осуществлено принудительное сглаживание сети, и исходный объект примет форму отличную от исходной (рисунок П2.6, а). Для отключения принудительного сглаживания сети в свойствах объекта в разделе «Геометрия» в графе «Гладкость» необходимо указать «Нет», при этом 3D-тело примет исходный вид (рисунок П2.6, б).

а

б

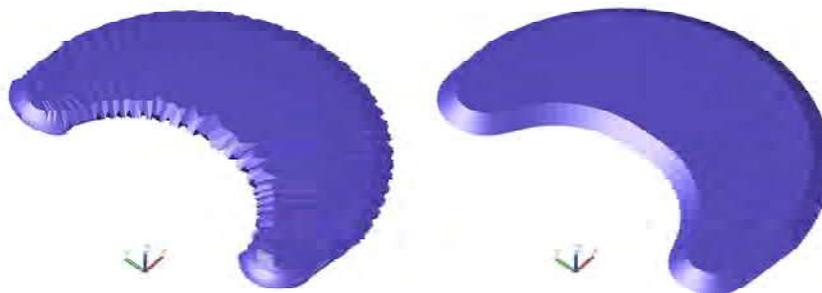


Рисунок П2.6 – Трёхмерное модель отвала в виде: а - сглаженной сети б - 3D-тела

3. Преобразование сети в 3D-тело производится командой ПРЕОБВТЕЛО.
4. Полученный результат необходимо сохранить под соответствующим именем, поскольку он является готовым 3D-телом, готовым для импорта в систему компьютерного проектирования, технического анализа и подготовки изделий к производству любой сложности (САЕ).

III. Использование системы компьютерного проектирования, технического анализа и подготовки изделий к производству любой сложности (САЕ):

1. Необходимо импортировать все модели горнотехнической системы в

программу инженерного анализа. Для этого следует импортировать DXF-файлы как новую деталь 3D-модели (рисунок П2.7). Следует обращать внимание, чтобы импортировался только слой с требуемым объектом. Результат необходимо сохранить как деталь в формате программы САЕ.

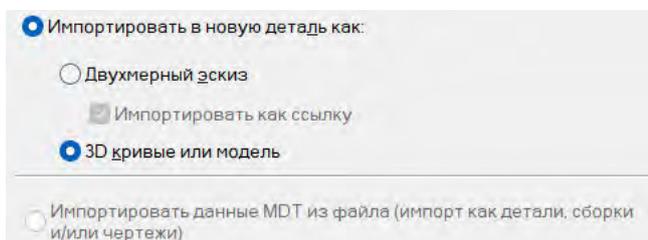


Рисунок П2.7 – Окно импорта горнотехнических объектов в САЕ-систему

2. Необходимо осуществить сборку модели всех импортированных объектов горнотехнической системы и обеспечить верное их взаимное расположение. Для этого необходимо ориентироваться на базовую точку начала системы координат импортируемых объектов (рисунок П2.8).

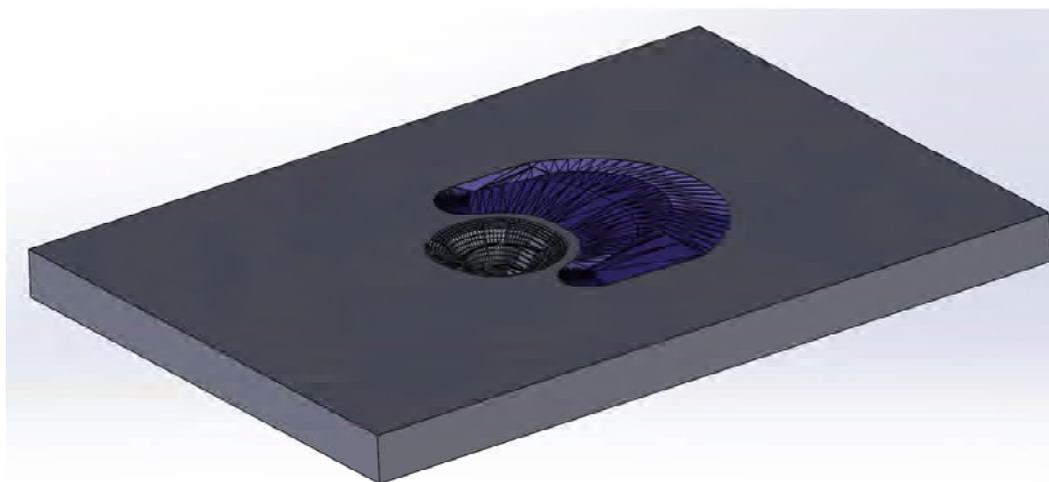


Рисунок П2.8 – Сборка модели горнотехнической системы

3. Необходимо создать проект для аэродинамического анализа и задать исходные данные (рисунок П2.9). Тип задачи – внешний, внутреннее пространство – исключить. Значение скорости ветра необходимо указать с учетом ее изменения от высоты. Для этого в графе «Скорость в направлении X» следует указать зависимость скорости ветра на различной высоте, с учетом единиц измерений расчетной области и геометрических размеров модели горнотехнической системы. Обязательно необходимо подключить гравитацию.

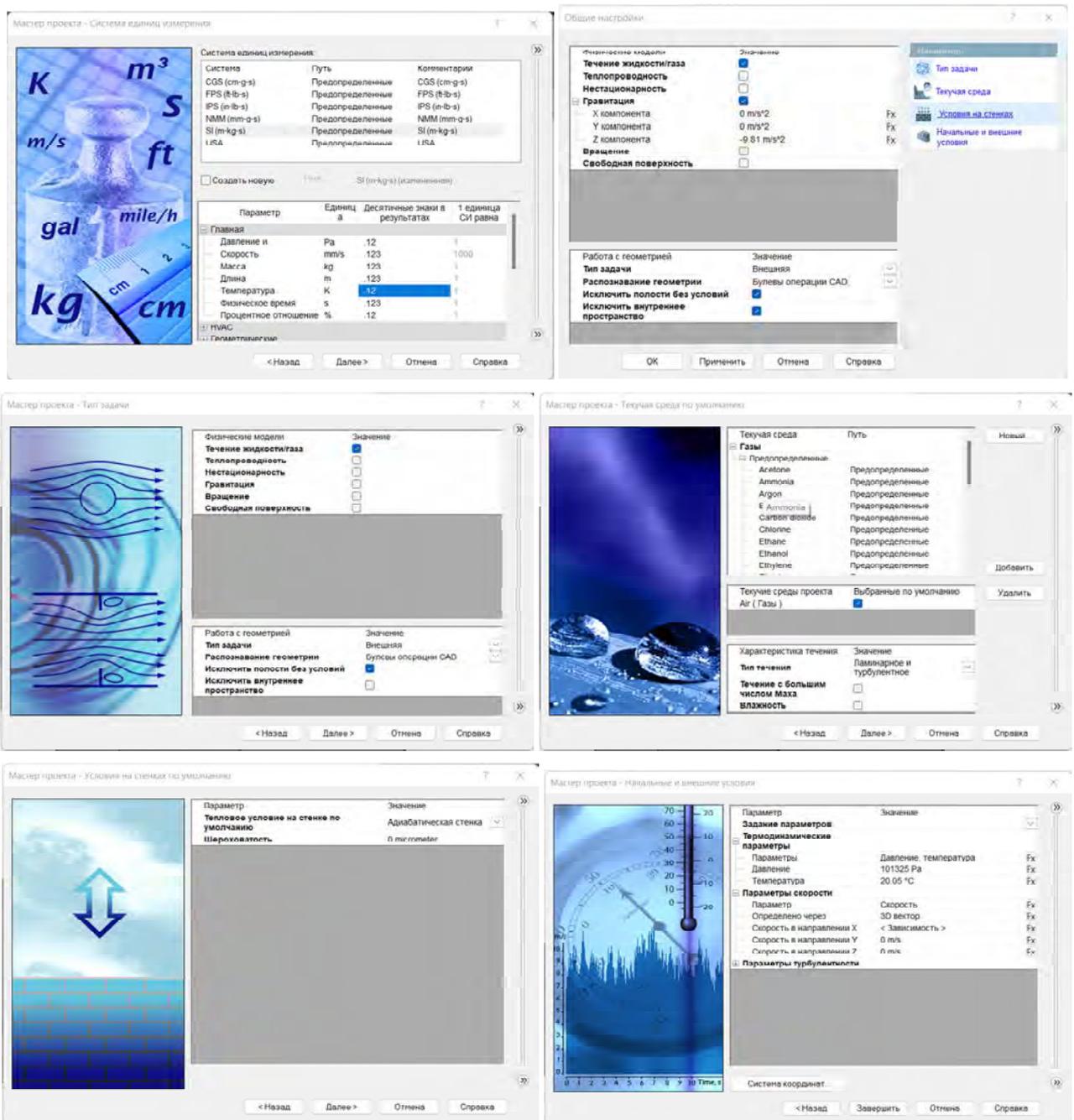


Рисунок П2.9 – Настройка проекта для анализа горнотехнической системы

4. После создания проекта необходимо скорректировать расчетную зону, минимизируя ее для снижения требуемых вычислительных мощностей (рисунок П2.10).

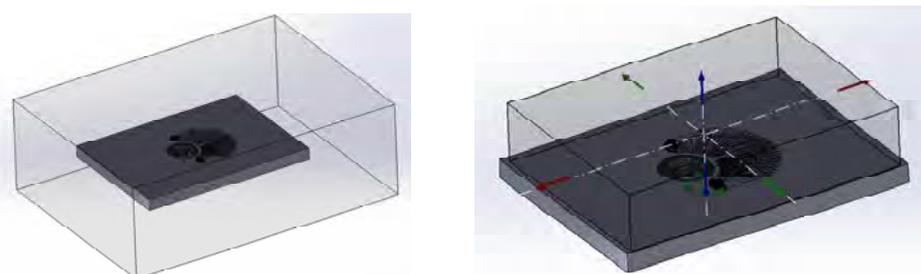


Рисунок П2.10 – Определение расчетной области

5. Необходимо задать граничные условия, указав дневную поверхность и исследуемый отвал или их группу в качестве идеальной стенки (рисунок П2.11, а). Данное условие необходимо для обеспечения постоянной скорости ветра над всей дневной поверхностью моделируемого участка недр. В противном случае модель является некорректной по причине постоянного снижения скорости ветра по мере его следования из-за шероховатости поверхности рельефа (рисунок П2.11,б), в отличие от идеальной стенки (рисунок П2.11, в).

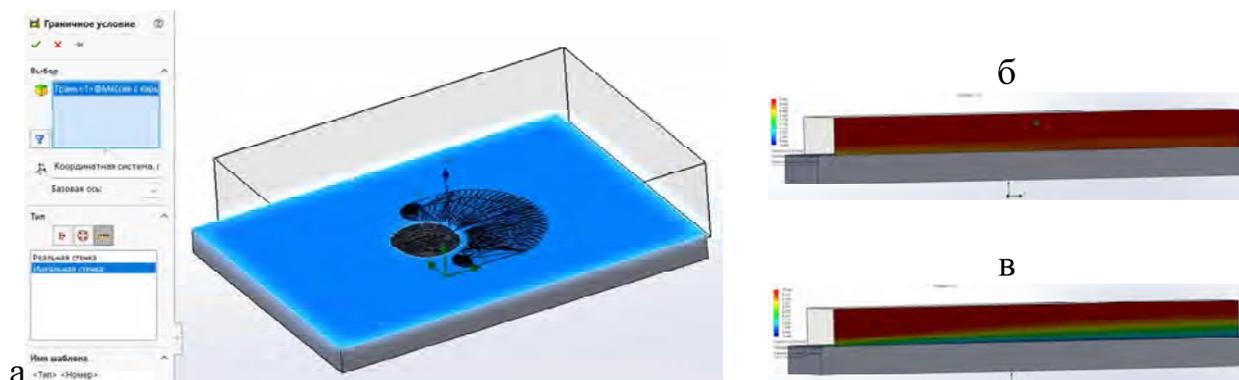


Рисунок П2.11 – Установление граничных условий

6. Добавить цели: глобальные (рисунок П2.12,а) и поверхностные (рисунок П2.12,б)

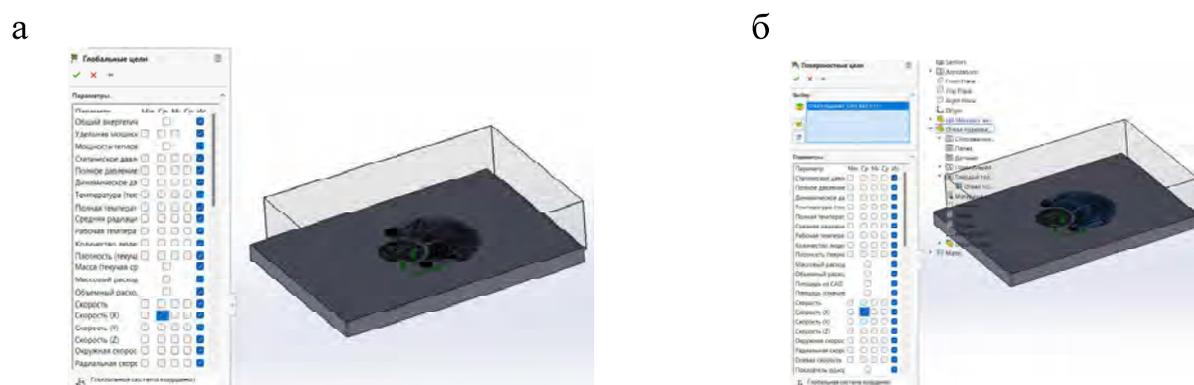


Рисунок П2.12 – Установление целей: а) глобальных; б) поверхностных

7. Настроить глобальную сетку, указав значение 5-6 и запустить расчет (рисунок П2.13).

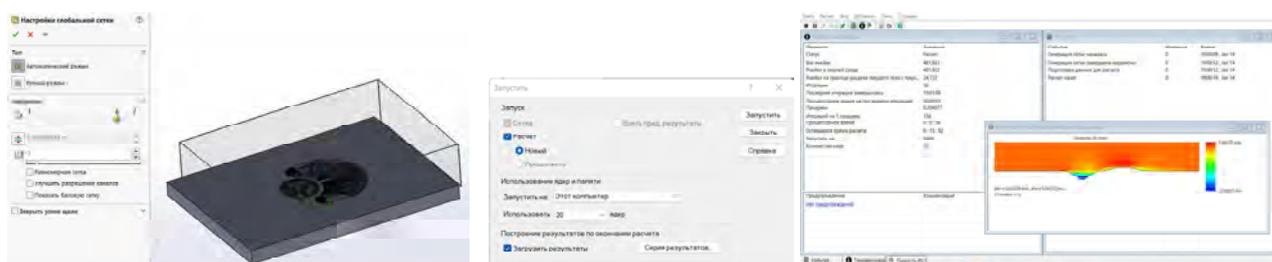


Рисунок П2.13 – Настройка глобальной сетки и запуск расчета

8. Визуализировать результаты расчета траектории движения воздушных масс (рисунок П2.14).

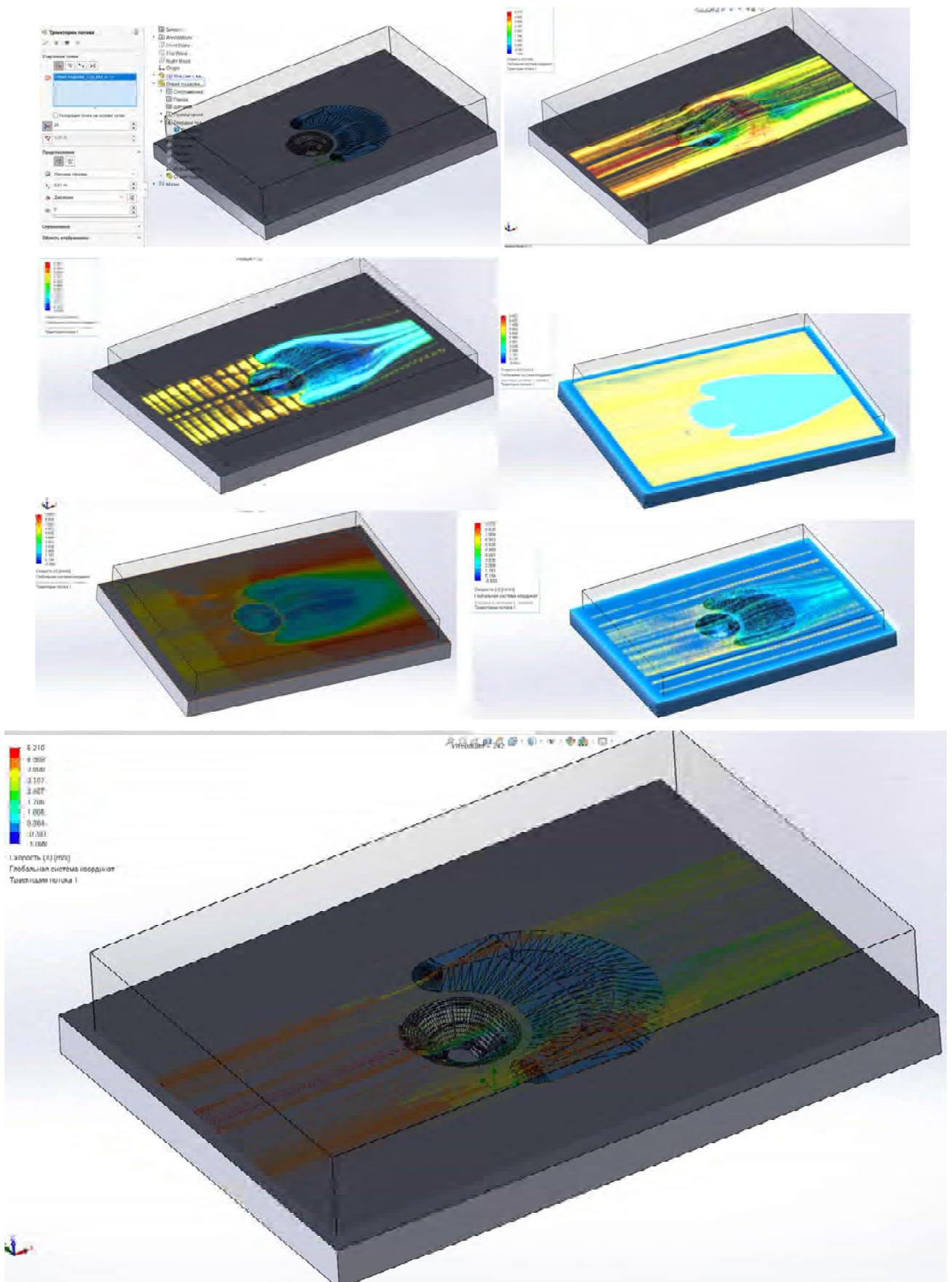


Рисунок П2.14 – Визуализация траектории движения воздушных масс

Схема для расстановки точек мониторинга представлена на рисунке П2.15.

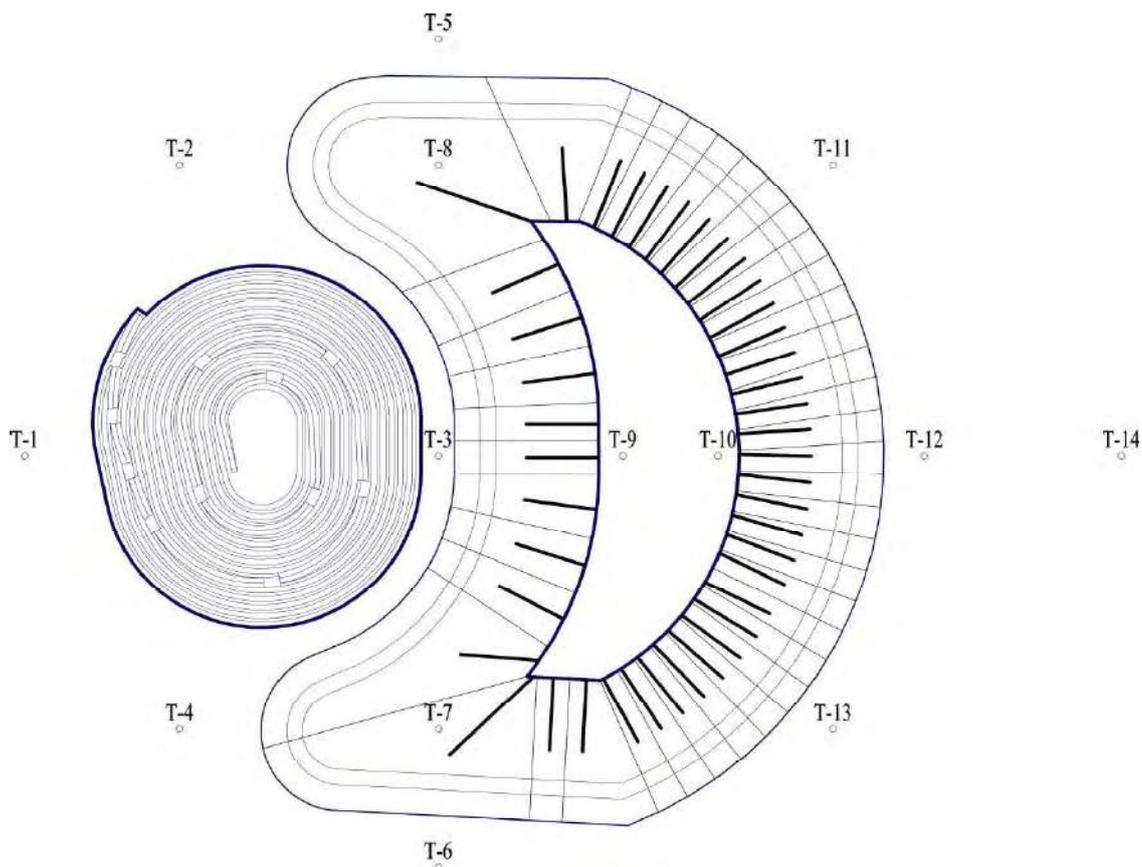


Рисунок П2.15 – Схема расстановки точек мониторинга скорости ветра

Способ учета изменения скорости ветра на разной высоте в масштабах модели представлен на рисунке П2.16.

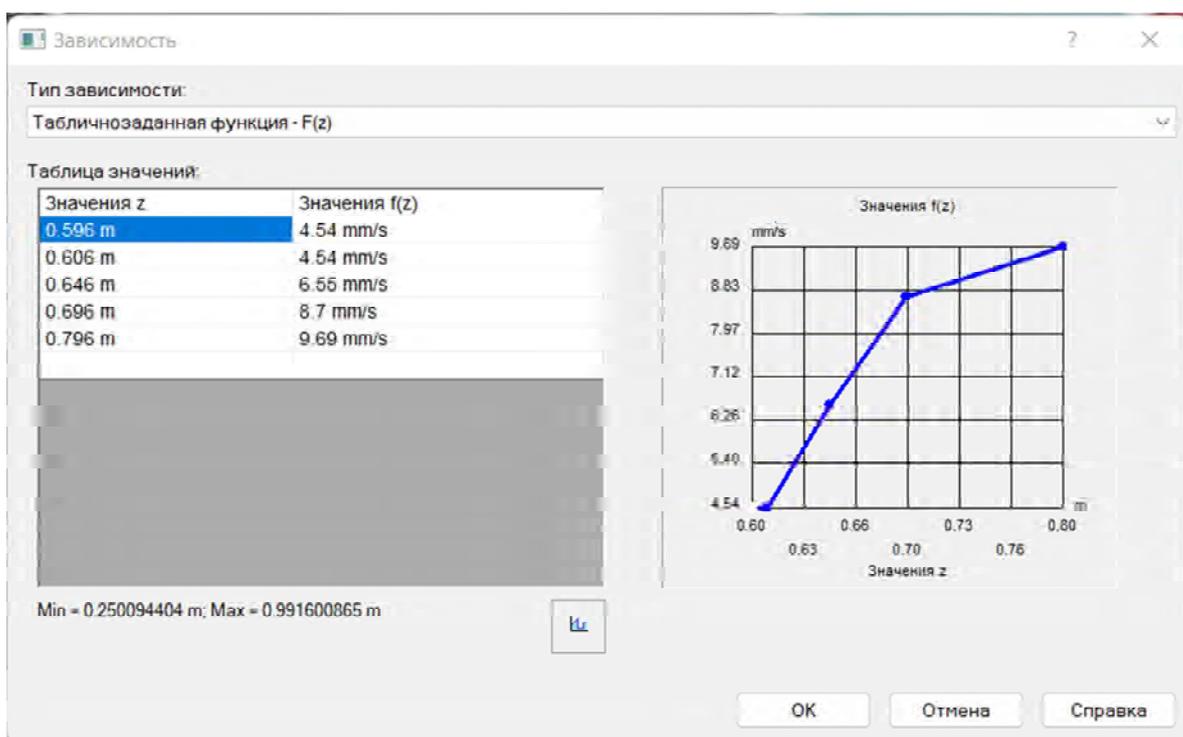


Рисунок П2.16 – Учет изменения скорости ветра на разной высоте

В соответствии с разработанной методикой эксперимента были проведены исследования различных форм и параметров отвалов. Результаты моделирования представлены на рисунках П2.17- 2.24 и в таблицах П2.1-П2.8. При этом моделирование проводилось с учетом дополнительных отвалов, так называемых «крыльев», призванных обеспечить концентрацию потоков воздуха на пути к основному отвалу.

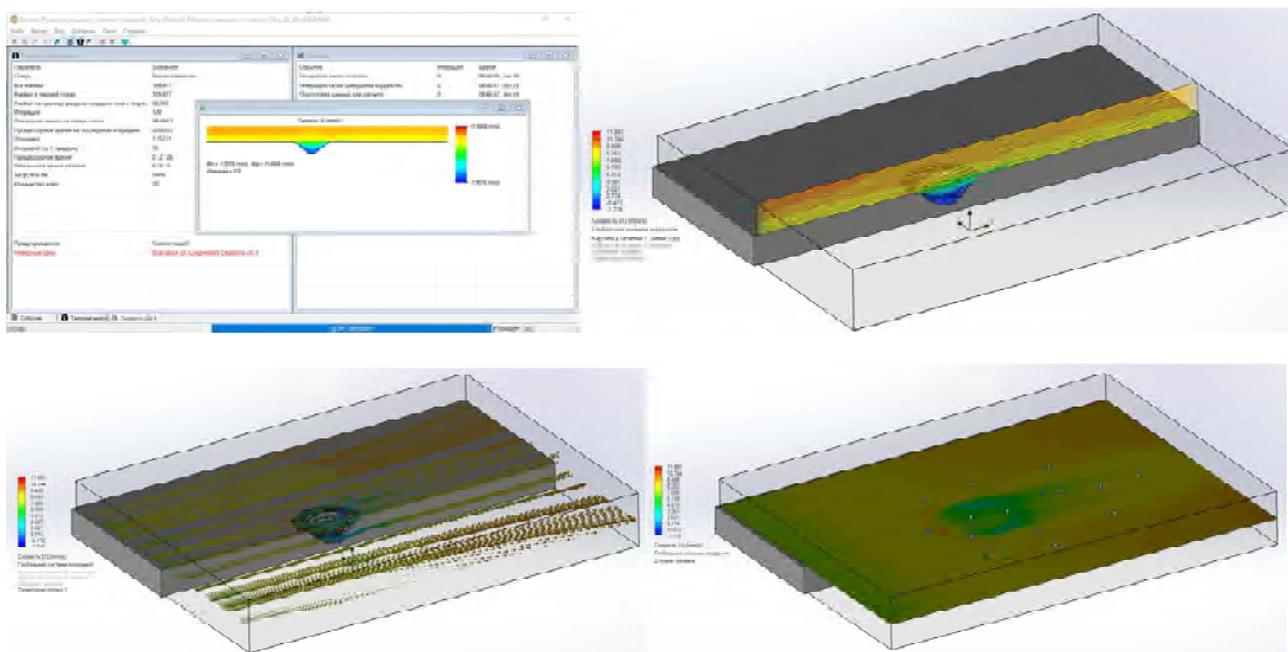


Рисунок П2.17 – Карьер без отвалов

Таблица П2.1 – Параметры скорости ветра для карьера без отвалов

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0,927	0,149	0,632	Текучая среда	8,707
2.	-0,457	1,039	0,632	Текучая среда	8,238
3.	0,327	0,149	0,632	Текучая среда	3,8
4.	-0,457	-0,687	0,632	Текучая среда	8,428
5.	0,327	1,423	0,632	Текучая среда	8,615
6.	0,327	-1,108	0,632	Текучая среда	8,642
7.	0,327	-0,687	0,693	Текучая среда	8,842
8.	0,327	1,039	0,685	Текучая среда	8,629
9.	0,887	0,149	0,724	Текучая среда	6,25
10.	1,175	0,149	0,724	Текучая среда	6,529
11.	1,524	1,038	0,632	Текучая среда	8,802
12.	1,801	0,149	0,632	Текучая среда	6,879
13.	1,524	-0,687	0,632	Текучая среда	8,874
14.	2,398	0,149	0,632	Текучая среда	7,417
15.	-0,222	0,133	0,642	Текучая среда	5,663
16.	-0,200	0,222	0,490	Текучая среда	0,007
17.	-0,210	0,221	0,362	Текучая среда	-0,797

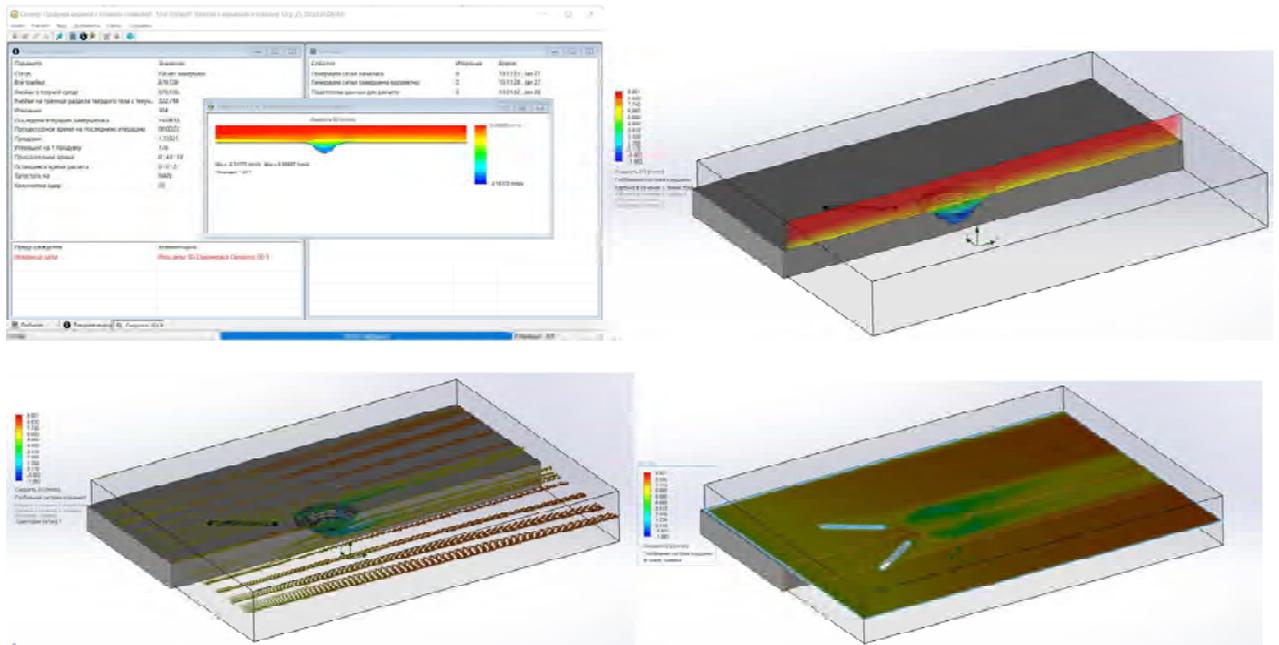


Рисунок П2.18 – Карьер без отвала, но с направляющими отвалами-крыльями – узкое расположение отвалов-крыльев

Таблица П2.2 – Параметры скорости ветра для карьера без отвала, но с направляющими отвалами-крыльями – узкое расположение отвалов-крыльев

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.525	7.525
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.588	7.587
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	5.588	5.574
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	7.537	7.535
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.880	7.879
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.917	7.915
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	8.179	8.178
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	8.134	8.133
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	7.645	7.644
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	7.692	7.691
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	8.161	8.160
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	6.893	6.892
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	8.157	8.157
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	7.174	7.174
15.	-0.222	0.200	0.642	Текучая среда	5.959	5.949
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.891	0.057
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.662	-0.544

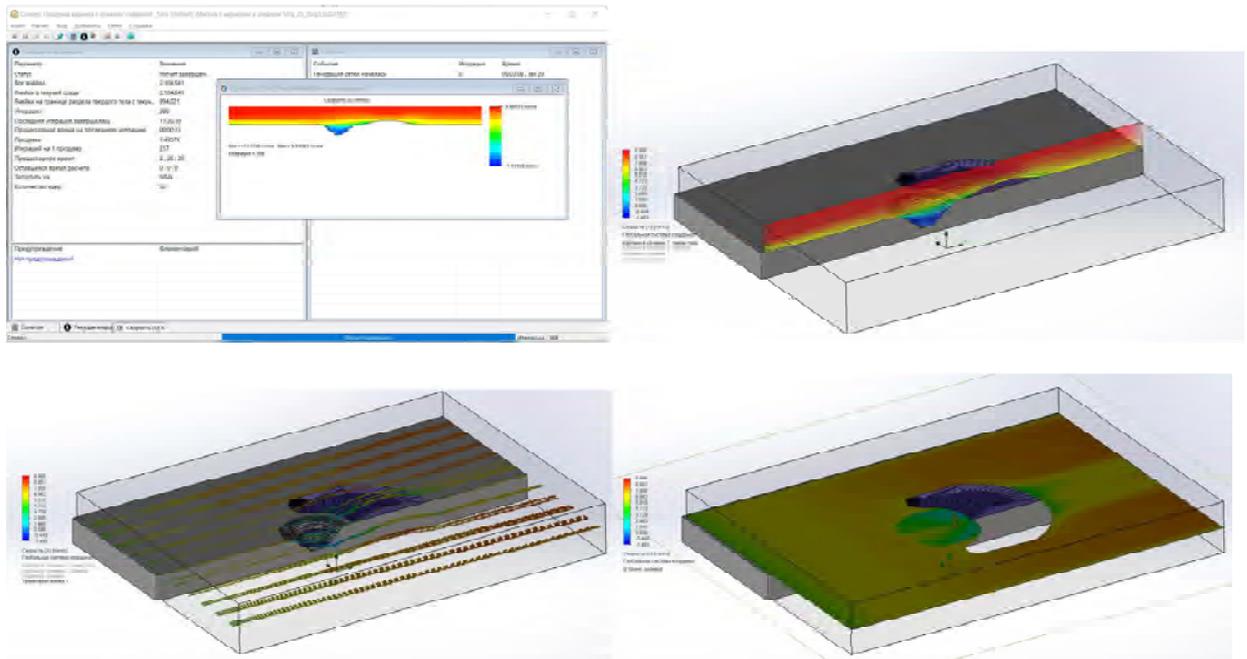


Рисунок П2.19 – Карьер и отвал 12° без крыльев

Таблица П2.3 – Параметры скорости ветра для карьера и отвала 12° без крыльев

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.292	7.292
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.258	7.257
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	4.010	3.989
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	7.202	7.202
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.797	7.790
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.764	7.756
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.879	7.859
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	7.976	7.958
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	7.040	7.037
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	7.481	7.476
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.782	7.781
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	6.029	6.028
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	7.654	7.653
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	6.922	6.921
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	6.136	6.130
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.531	-0.362
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.657	-0.570

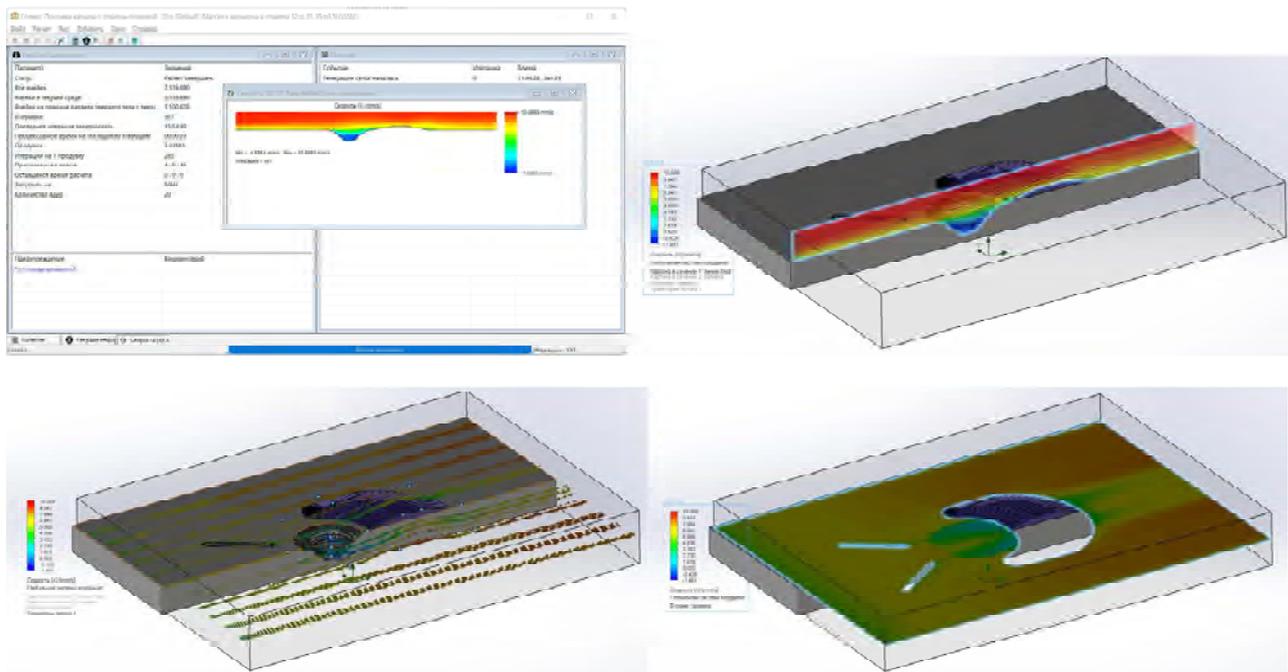


Рисунок П2.20 – Карьер и отвал 12° с крыльями

Таблица П2.4 – Параметры скорости ветра для карьера с отвалом 12° с крыльями

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.249	7.249
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.247	7.247
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	4.142	4.126
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	7.141	7.140
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.802	7.796
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.769	7.763
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.914	7.901
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	8.020	8.006
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	7.109	7.107
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	7.538	7.533
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.855	7.855
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	6.115	6.115
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	7.715	7.713
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	6.963	6.962
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	6.280	6.272
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.468	-0.150
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.689	-0.593

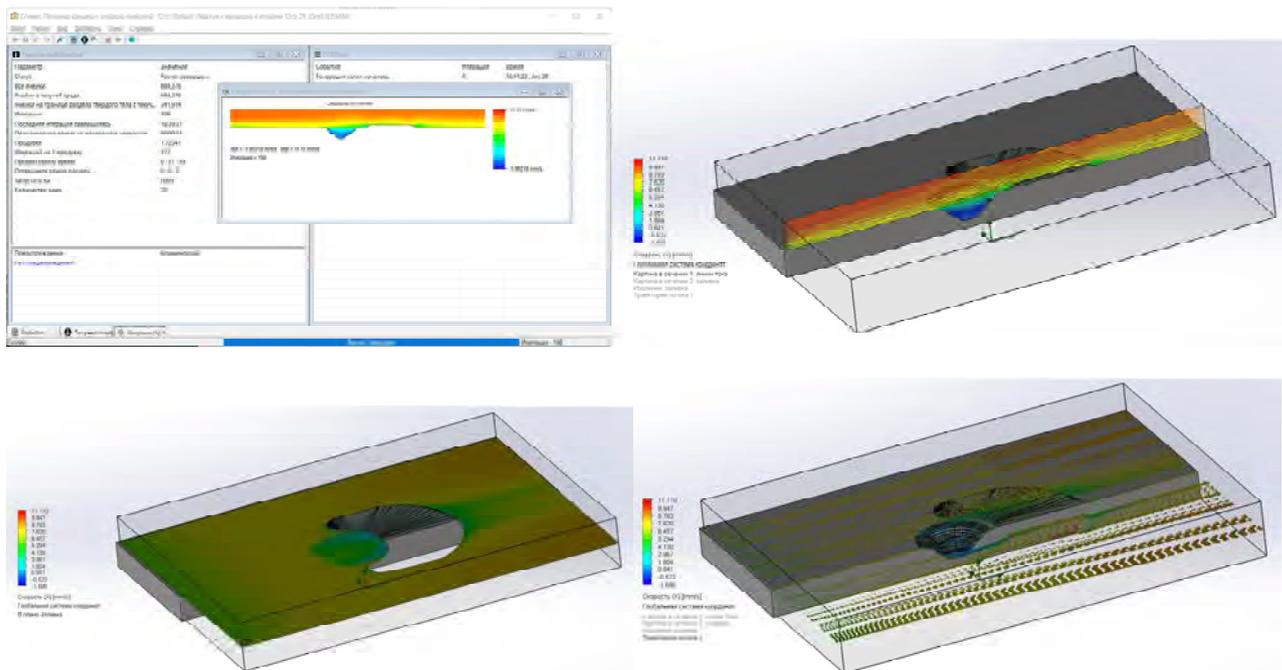


Рисунок П2.21 – Карьер с отвалом 25° без крыльев

Таблица П2.5 – Параметры скорости ветра для карьера с отвалом 25° без крыльев

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.324	7.323
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.210	7.207
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	3.982	3.960
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	7.148	7.144
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.899	7.889
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.848	7.839
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.758	7.730
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	7.689	7.674
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	6.801	6.800
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	7.024	7.022
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.501	7.488
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	5.338	5.333
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	7.175	7.152
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	6.566	6.564
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	5.995	5.991
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.731	-0.315
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.729	-0.609

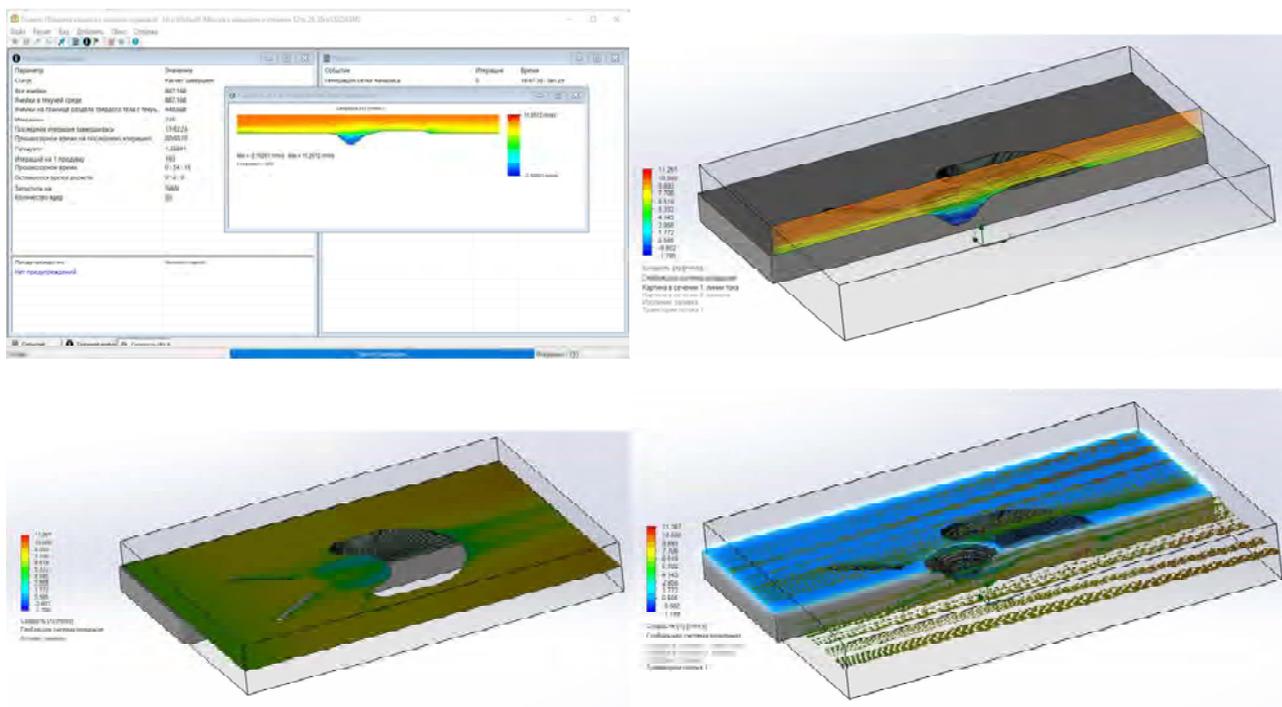


Рисунок П2.22 – Карьер с отвалом 25° с крыльями

Таблица П2.6 – Параметры скорости ветра для карьера с отвалом 25° с крыльями

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.345	7.343
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.199	7.198
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	4.164	4.155
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	7.065	7.061
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.897	7.888
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.904	7.897
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.829	7.822
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	7.710	7.696
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	6.985	6.984
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	7.213	7.211
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.578	7.565
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	5.719	5.717
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	7.318	7.290
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	6.645	6.644
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	6.246	6.238
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.799	-0.096
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.765	-0.677

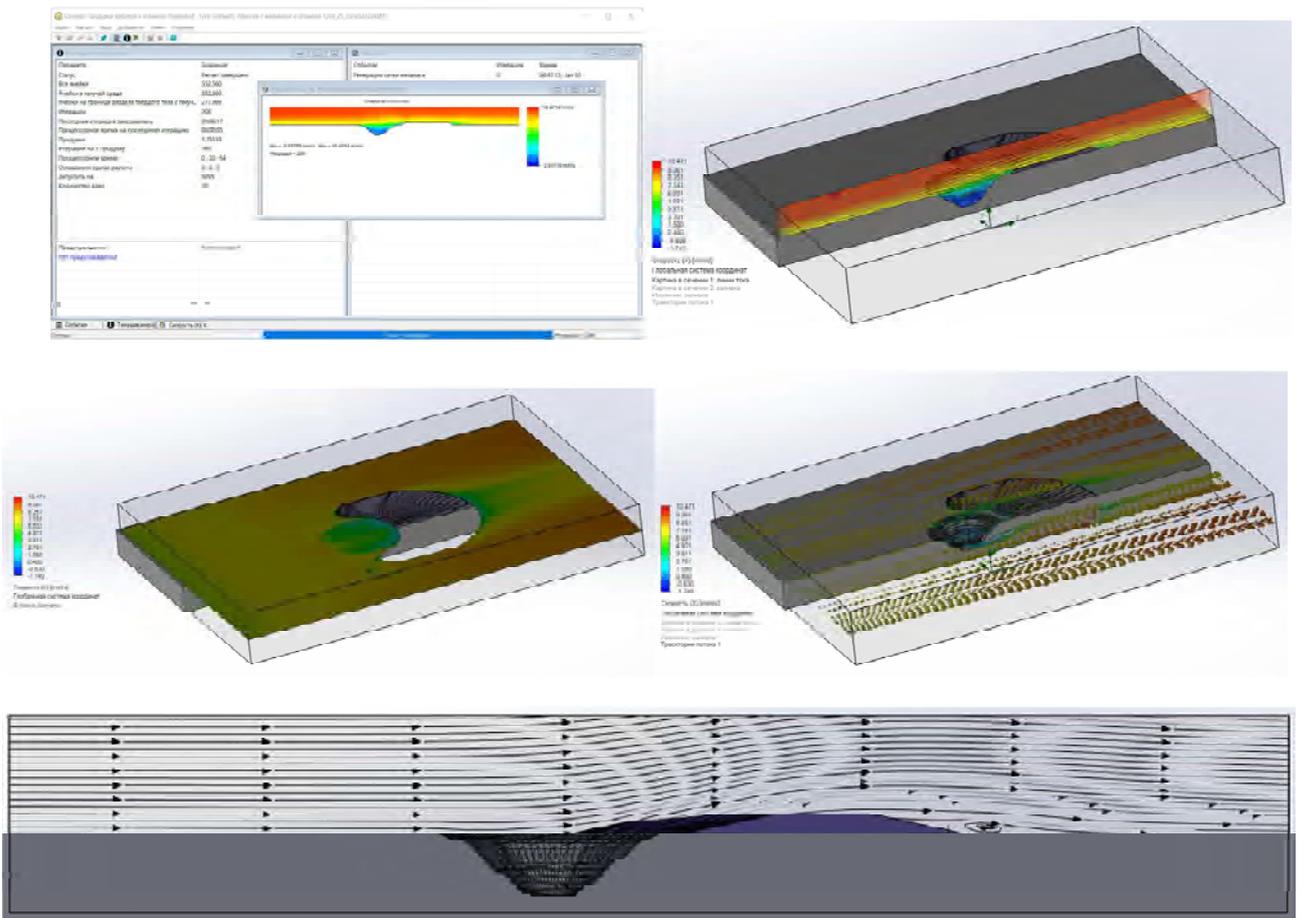


Рисунок П2.23 – Карьер с отвалом 35° без крыльев

Таблица П2.7 – Параметры скорости ветра для карьера с отвалом 35° без крыльев

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.245	7.185
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.162	7.152
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	3.633	3.656
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	6.985	6.971
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.879	7.456
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.246	7.722
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.469	7.462
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	7.384	7.162
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	6.608	6.607
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	6.790	6.687
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.203	7.148
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	4.543	4.538
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	6.562	6.272
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	5.829	5.318
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	6.104	6.049
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.671	-0.143
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.577	-0.526

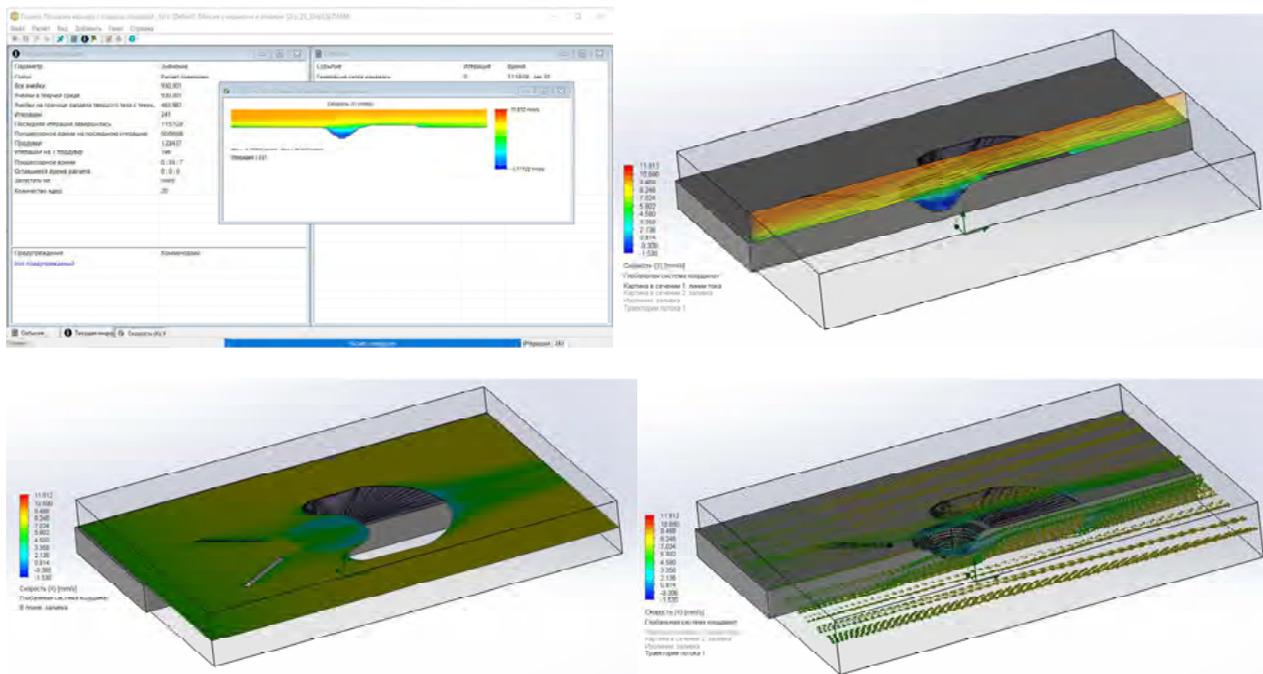


Рисунок П2.24 – Карьер с отвалом 35° с крыльями

Таблица П2.8 – Параметры скорости ветра для карьера с отвалом 35° с крыльями

Точка номер Т-	X [m]	Y [m]	Z [m]	Среда	Скорость [mm/s]	Скорость (X) [mm/s]
1.	-0.927	0.149	0.632	Текучая среда	7.295	7.285
2.	-0.457	1.039	0.632	Текучая среда	7.162	7.152
3.	0.327	0.149	0.632	Текучая среда	3.663	3.646
4.	-0.457	-0.687	0.632	Текучая среда	6.985	6.971
5.	0.327	1.423	0.632	Текучая среда	7.879	7.856
6.	0.327	-1.108	0.632	Текучая среда	7.746	7.724
7.	0.327	-0.687	0.693	Текучая среда	7.469	7.462
8.	0.327	1.039	0.685	Текучая среда	7.384	7.367
9.	0.887	0.149	0.724	Текучая среда	6.608	6.607
10.	1.175	0.149	0.724	Текучая среда	6.790	6.788
11.	1.524	1.038	0.632	Текучая среда	7.203	7.148
12.	1.801	0.149	0.632	Текучая среда	4.543	4.538
13.	1.524	-0.687	0.632	Текучая среда	6.862	6.775
14.	2.398	0.149	0.632	Текучая среда	5.829	5.818
15.	-0.222	0.200	0.662	Текучая среда	6.104	6.099
16.	-0.200	0.222	0.490	Текучая среда	0.671	-0.163
17.	-0.210	0.221	0.362	Текучая среда	0.577	-0.516

Натурные исследования в условиях месторождений «Малый Куйбас» и «Агаповское» Рудника ГОП ПАО «ММК»

Проведение эксперимента было осуществлено на месторождениях «Малый Куйбас» и «Агаповское» на каждом в два этапа. Каждый этап предусматривал замер скорости и направления ветра одновременно пятью приборами.

На месторождении «Малый Куйбас» этапы приурочены к отвалам: Этап I (Северный отвал) Этап II (Южный отвал).

На месторождении «Агаповское» этапы приурочены к направлению линий установки приборов: Этап I (в широтном направлении) Этап II (в меридианном направлении).

Изменения проводились с 9.00 утра до 16.00 дня с интервалом 15 минут в течение смены. Результаты измерения заносись в таблицы ПЗ.1-3.4.

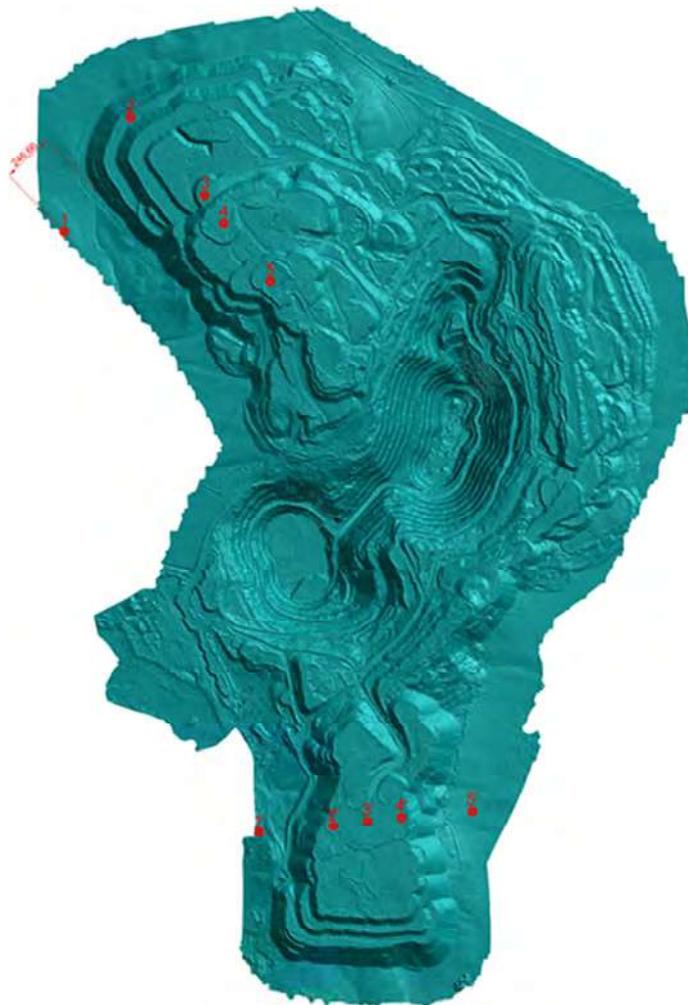


Рисунок ПЗ.1 – Места мониторинга скорости и направления ветра на карьере «Малый Куйбас»



Таблица ПЗ.1 – Результаты измерений на карьере «Малый Куйбас» Северный отвал

№ точки	Объект	Месторождение «Малый Куйбас» Северный отвал															
		9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
1	Время, чч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	1.2	0.9	0.5	1.4	1.6	2.6	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	2.5	4.5	5.0	4.5	3.5
	Направление ветра	N-NE	N-NE	SE-S	SE	SE	SE	SE	S-SE	SE	SE	SE	SE	NW	NW	NW	NW
2	Время, чч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00	
	Скорость ветра, м/сек	1.1	1.2	1.0	0.7	0.8	2.0	2.5	2.0	3.3	3.3	2.6	4.1	2.3	2.1	2.0	
	Направление ветра	N	N	N	N	N	SW	S	S	SW	SW	N	SW	S	SE	SE	SE
3	Время, чч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00	
	Скорость ветра, м/сек	1.8	1.5	1.4	1.0	0.7	0.9	0.8	1.5	1.7	1.6	2.5	4.0	2.0	2.4	3.6	
	Направление ветра	NE	E	E	NE	NE	SW	SW	SW	SW	SW	S	W	NW	NW	NW	NW
4	Время, чч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00	
	Скорость ветра, м/сек	1.0	1.2	1.2	0.5	1.2	0.5	0.5	1.5	1.6	2.0	1.9	5.0	5.7	3.8	4.0	
	Направление ветра	E	E	E	SE	N	S	S	SW	S	S	S	NW	NW	NW	NW	NW
5	Время, чч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00	
	Скорость ветра, м/сек	1.4	1.4	1.5	0.9	0.5	2.1	2.0	2.2	1.8	2.3	2.0	2.5	3.3	4.3	4.1	
	Направление ветра	E	SE	E	SE	SE	S	S	S	S	S	SW	NW	N	N	N	NW

Таблица ПЗ.2 –Координаты точек контроля скорости ветра на месторождении «Малый Куйбас» Северный отвал

Номер точки	Координаты		Абсолютная отметка
	X	Y	
1	18706,3422	16527,7385	431,62
2	19303,562	16806,663	503,87
3	18924,724	17160,102	558,11
4	18746,3859	17282,5445	569,38
5	18466,8346	17502,2488	573,94

Таблица ПЗ.3 –Координаты точек контроля скорости ветра на месторождении «Малый Куйбас» Южный отвал

Номер точки	Координаты		Абсолютная отметка
	X	Y	
1`	15837.345	17450.0414	488.83
2`	15866.1251	17800.2574	580.09
3`	15890.5733	17961.6851	580.58
4`	15908.8217	18122.0359	578.99
5`	15939.0965	18457.3289	478.29

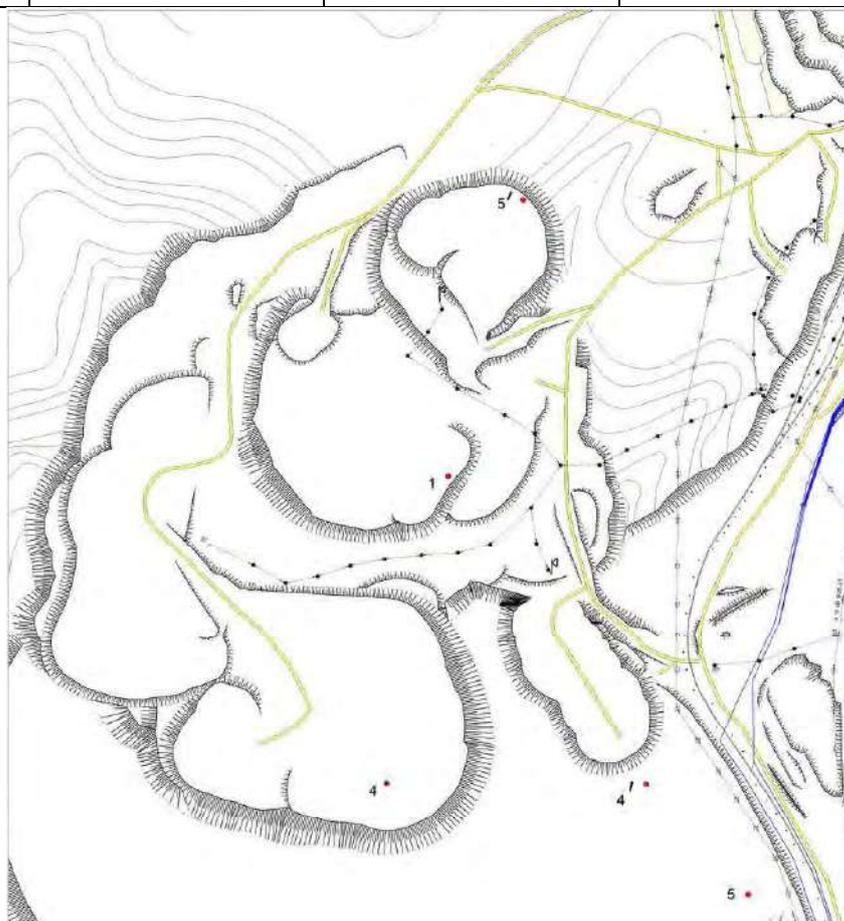
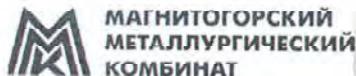


Рисунок ПЗ.2 – Места мониторинга скорости и направления ветра на карьере «Малый Куйбас»



Таблица ПЗ.4 – Результаты измерений на карьере «Малый Куйбас» Южный отвал

№ точки	Объект	Месторождение «Малый Куйбас» Южный отвал															
		9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45
1'	Время, ч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	2.4	1.7	1.4	1.1	1.2	1.2	2.4	2.0	1.4	1.5	2.3
	Направление ветра	SE	S	SW	SW	S-SW	SW-W	SW-W	W	W	W	S	SW-W	SW	W-SW	SW-W	SW-W
2'	Время, ч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	3.0	3.8	5.0	3.0	2.9	4.0	3.6	2.5	2.2	2.0	2.0	3.5	1.5	3.5	2.7	1.9
	Направление ветра	S	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
3'	Время, ч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	3.8	4.1	5.2	4.4	4.1	2.8	5.3	3.1	2.7	4.1	4.1	4.0	3.3	3.7	3.2	3.5
	Направление ветра	SW-S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW	S
4'	Время, ч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	4.2	5.3	3.9	4.9	4.5	4.3	3.7	4.7	2.7	3.6	3.6	4.2	2.4	3.6	2.9	4.0
	Направление ветра	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	W
5'	Время, ч:мм	9-00	9-15	9-30	9-45	10-00	12-00	12-15	12-30	12-45	13-00	13-00	15-00	15-15	15-30	15-45	16-00
	Скорость ветра, м/сек	4.5	4.0	1.9	1.7	2.2	2.9	2.4	1.5	1.4	3.0	3.0	2.7	3.1	0.7	2.9	2.7
	Направление ветра	SW	SW	SW-S	SW	S	S	SE	SE	SE	SE	S	N	NW	SW	SW	SW-S



Публичное акционерное общество
«Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)

**горно-обогатительное производство
РУДНИК**

УТВЕРЖДАЮ
Начальник цеха

№ _____
г. Магнитогорск



В.Р. Зиганшин

Внедрения материалов диссертации

АКТ

внедрения материалов диссертации Полинова Андрея Александровича «Обоснование параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии» на Руднике ГОП ПАО «Магнитогорский Металлургический комбинат»

1. Наименование системы.

Методика обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии, определяющая конструкцию верхних уступов карьера и откосов внешних отвалов, их форму в плане, необходимые объемы вскрышных пород, а также их физико-механические характеристики и пространственное положение в природном массиве и в горнотехнической системе.

2. Новизна методического решения.

Методика обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии, базирующаяся на критериях оптимальности соотношения объема вскрышных пород и полезной площади инсоляции откосов верхних уступов северного борта карьера и южного склона отвал.

Предложена номограмма для определения объемов горных пород и коэффициента инсоляции при различных конструкциях и параметрах участка северного борта карьера. Номограмма позволяет также определять рациональное количество уступов с учетом их высоты и угла откоса. При этом для определения высоты откоса уступа северного борта карьера с круглогодичной инсоляцией с учетом географического месторасположения месторождения разработана соответствующая номограмма.

Успешная реализация предложенной методики и разработанных номограмм при составлении проектной документации на опытно-промышленное испытание преобразования солнечного излучения и потоков воздушных масс в условиях сырьевой базы Магнитогорского металлургического комбината позволило обосновать оптимальную конструкцию откоса южного склона отвалов на Агаповском месторождении флюсового известняка и железорудном карьере «Малый Куйбас» для монтажа солнечных панелей, ветрогенераторов и

гидроаккумулирующей техногенной емкости с целью использования природной и техногенной возобновляемой.

3. Место внедрения.

Рудник ГОП ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – Агаповское месторождение флюсового известняка и железорудный карьер «Малый Куйбас».

4. Время работы после внедрения.

Начало внедрения работ по использованию методики расчета обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии – май 2023 года.

Окончание работ – сентябрь 2023 года.



Публичное акционерное общество
«Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)

горно-обогатительное производство
РУДНИК

№ _____
г. Магнитогорск

Внедрения материалов диссертации



УТВЕРЖДАЮ
Начальник цеха

В.Р. Зиганшин

АКТ

внедрения материалов диссертации Полинова Андрея Александровича «Обоснование параметров открытой геотехнологии с формированием отвалов и бортов карьера для использования природной и техногенной возобновляемой энергии» на Руднике ГОП ПАО «Магнитогорский Металлургический комбинат»

1. Наименование системы.

Технологические схемы изменения результирующего угла откосов верхних уступов карьера и формирования внешних отвалов заданной конструкции и формы в плане, а также аккумулирующих техногенных емкостей, применение которых позволяет концентрировать в заданных областях горнотехнических сооружений солнечную и ветровую энергию с полной компенсацией их непостоянства.

2. Новизна технологического решения.

Разработаны технологические схемы выполаживания откосов верхних уступов северного борта карьера и южного склона отвала с целью обеспечения концентрирования в заданных областях горнотехнических сооружений солнечной и ветровой энергии путем монтажа в них солнечных панелей и ветровых установок.

Предложен порядок ведения вскрышных и отвальных работ обеспечивающий повышение комплексности и полноты освоения участка недр за счет совмещения горных работ и мероприятия по восстановлению нарушенных земель при увеличении ее кадастровой стоимости и как следствие налогооблагаемой базы.

Предложены технико-технологические решения, обеспечивающие совмещение способов подготовки пород к выемке с увязкой параметров применяемого горного оборудования, позволяющие вести опережающую выемку горных пород в заданной части месторождения при постановке северного борта карьера в предельное положение.

Внедрение технических и технологических решений в условиях железорудного месторождения «Малый Куйбас» и Агаповского месторождения флюсового известняка, предусматривающие зонирование северного борта карьеров в плане и по мощности карьерного поля, обоснование оптимальной конструкции участка откоса борта и выбора применяемых установок по преобразованию альтернативных источников энергии в электрическую, позволило повысить полезную площадь инсоляции не менее чем в 1,5 раза. Достигнуто

повышение полноты и комплексности освоения участка недр за счет вовлечения в хозяйственное использование территорий, приходящихся на откосы карьера и его приоткосную часть.

Успешная реализация указанных технических решений позволила увеличить площадь восстановленных земель на 8% при снижении в 2,1 раза сроков выполнения мероприятий по рекультивации нарушенных земель.

3. Место внедрения.

Железородное месторождение «Малый Куйбас» и Агаповское месторождение флюсового известняка.

4. Время работы после внедрения.

Начало внедрения механической подготовки и выемки вскрышных пород на северном борту карьеров – сентябрь 2023 года.

Окончание работ по механической подготовке и выемки вскрышных пород на северном борту карьеров – «1» мая 2024 года.

5. Экономическая эффективность.

Ожидаемый экономический эффект от применения технологических схем вылаживания откосов верхних уступов карьеров при использовании природной и техногенной возобновляемой энергии составит - 47,3 млн. руб.