

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Тян Лаура Ерлановна

Оптимизация подземных выемочно-добычных единиц с применением ПО MICROMINE в
зависимости от экономических показателей

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Горное дело»

УДК 622.06

На правах рукописи

Тян Лаура Ерлановна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Оптимизация подземных выемочно-добычных единиц с
применением ПО MICROMINE в зависимости от
экономических показателей

Направление подготовки

7M07203 – «Горная инженерия»

Научный руководитель

канд.техн.наук, ассоц.профессор

Д.К. Ахметканов
«11» 06 2025г.

Рецензент

канд.техн.наук,

Е.А. Ельжанов
«12» 06 2025г.

Нормоконтроль

ведущий инженер

Д.С. Мендекинова
«12» 06 2025г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой «Горное дело»
д-р.техн.наук, профессор
С.К. Молдабаев
«10» 06 2025г.

Подпись

заверяю

HR департамент

«12» 06 2025

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

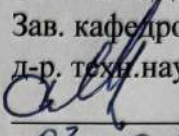
Кафедра «Горное дело»

7M07203 – «Горная инженерия»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «Горное дело»

д-р. техн. наук, профессор

 С.К. Молдабаев

«03» 01 2025г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Обучающемуся: Тян Лаура Ерлановна

Тема: Оптимизация подземных выемочно-добычных единиц с применением ПО MICROMINE в зависимости от экономических показателей

Утверждена приказом по университету № _____ от "___" _____ 20__.

Срок сдачи законченной магистерской диссертации «__» _____ 2025г.

Исходные данные к дипломному проекту: Предусматривается разработка одноименного жильного крутопадающего месторождения Гужумсай. На месторождении разведено около 27 рудных тел. Мощность рудных тел 0,5-3,2 м, в среднем составляя 1,3 м, угол падения 65°-85°; коэффициент крепости руд и вмещающих пород по шкале Протодяконова 8-14. Размеры шахтного поля: по простиранию - до 1,8 км, по падению до 550 м, ширина рудной зоны изменяется от 500 м до 1200 м.

Согласно заданию на проектирование настоящий рабочий проект разработан для вскрытия и отработки запасов горизонтов 660 м и 600 м месторождения Гужумсай. Задачи исследования:

- анализ существующих методов проектирования выемочных единиц
- разработка алгоритма создания цифровой геолого-технологической модели месторождения
- обоснование критериев оптимизации параметров выемки
- разработка экономико-математической модели оценки эффективности
- апробация методики на примере месторождения Гужумсай

Рекомендуемая основная литература:

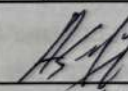
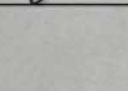
Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы. Утверждены приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30.12.2014. - № 352, Пасечник И. П. Современные методы оптимизации в горном деле. — М.: Горная книга, 2022. — 244 с.

ГРАФИК подготовки магистерской работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Геологическая часть	19.12.2023 г.	
Алгоритм выделения перспективных выемочных единиц	29.04.2024 г.	
Описание проектирования горных выработок	17.12.2024 г.	
Сравнительный анализ показателей до и после оптимизации	28.04.2025 г.	

Подписи

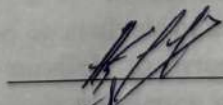
консультантов и нормоконтролера на законченный работы
с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Ф.И.О консультанты (уч. степень, звание)	Дата	Подпись
Горно-геологическая характеристика месторождения	ассоц.профессор Д.К. Ахметканов	11.06.25	
Анализ существующей системы разработки на Месторождении Гужумсай	ассоц.профессор Д.К. Ахметканов	11.06.25	
Комплексного моделирования выемочных единиц	ассоц.профессор Д.К. Ахметканов	11.06.25	
Оценка эффективности внедренных решений	ассоц.профессор Д.К. Ахметканов	11.06.25	
Нормоконтроль	Мендекинова Д.С.	12.06.25г.	

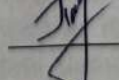
ABSTRACT

The dissertation work focuses on optimizing the parameters of mining blocks in the Gushumсай deposit using digital geostatistical modeling in MICROMINE software. The objective of the study is to enhance the efficiency of deposit development through rational design of mining parameters and selection of optimal parameters, taking into account geological and economic conditions. As part of the work, a 3D model of the deposit was constructed, block parameters were determined, and the optimal parameters for mining blocks were selected.

Научный руководитель

 Д.К. Ахметканов

Задание принял к исполнению студент

 Л.Е. Тянь

Дата

" 05 " 01 20 25 "

АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертационной работе рассматривается оптимизация параметров выемочных единиц месторождения Гужумсай на основе цифрового геологического моделирования с использованием программного обеспечения MICROMINE. Цель исследования – повышение эффективности разработки месторождения за счёт рационального проектирования границ выемок и выбора оптимальных параметров с учётом геолого-экономических условий. В рамках работы была построена 3D-модель месторождения, выполнено блочное моделирование полезного ископаемого, проведён анализ вскрыши и добычи. Результаты моделирования позволили определить наиболее экономически целесообразные параметры выемочных единиц. Оценка экономической эффективности проводилась на основе сравнительного анализа капитальных и эксплуатационных затрат, а также показателей чистого дисконтированного дохода (NPV) и срока окупаемости проекта. Полученные данные демонстрируют значительный потенциал цифрового моделирования для повышения точности планирования горных работ и оптимизации экономических показателей разработки месторождения.

АНДАТПА

Магистрлік диссертациялық жұмыста Гужумсай кен орнындағы қазу блоктарының параметрлерін MICROMINE геологиялық модельдеу бағдарламасы негізінде оңтайландыру мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – қазу шекараларын ұтымды жобалау және геологиялық-экономикалық жағдайларды ескере отырып, оңтайлы параметрлерді таңдау арқылы кен орнын игеру тиімділігін арттыру. Жұмыс аясында кен орнының 3D моделі жасалып, пайдалы қазбалардың блоктық модельдеуі жүргізілді, қазу және өндіру жұмыстары талданды. Модельдеу нәтижелері ең тиімді қазу параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді. Экономикалық тиімділік капиталық және пайдалану шығындарын салыстырмалы талдау, таза дисконтталған табыс (NPV) және жобаның өзін-өзі ақтау мерзімі көрсеткіштері негізінде бағаланды. Алынған мәліметтер модельдеудің тау-кен жұмыстарын жоспарлау дәлдігін арттыру және кен орнын игеру экономикалық көрсеткіштерін оңтайландырудағы жоғары әлеуетін көрсетеді.

ABSTRACT

The dissertation work focuses on optimizing the parameters of mining blocks at the Guzhumsay deposit using digital geological modeling in MICROMINE software. The objective of the study is to enhance the efficiency of deposit development through rational design of excavation boundaries and selection of optimal parameters, taking into account geological and economic conditions. As part of the work, a 3D model of the deposit was constructed, block modeling of the mineral was carried out, and an analysis of stripping and extraction processes was performed. The modeling results made it possible to determine the most economically viable parameters for the mining blocks. The economic efficiency was evaluated based on a comparative analysis of capital and operational costs, as well as indicators such as Net Present Value (NPV) and project payback period. The obtained data demonstrate the significant potential of digital modeling for improving the accuracy of mine planning and optimizing the economic performance of deposit development.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	
1	Анализ современных методов оптимизации подземных горных работ	10
1.1	Роль автоматизации в подземных технологиях	10
1.2	Сравнительный анализ и экономические преимущества	14
1.3	Влияние технологий на безопасность и перспективы развития.	16
1.4	Анализ влияния внешних факторов на эффективность работы	18
2	Научно-производственные предпосылки оптимизации добычных работ на месторождении Гужумсай	22
2.1	Горно-геологическая характеристика месторождения	22
2.2	Анализ существующей системы разработки	25
2.3	Обоснование выбора MICROMINE для цифровой трансформации горных работ	30
3	Методика комплексного моделирования выемочных единиц	33
3.1	Формирование цифровой базы данных месторождения	33
3.2	Алгоритм выделения перспективных выемочных единиц	35
3.3	Разработка оптимизационной модели	40
3.4	Методика многофакторного анализа	42
4	Оценка эффективности внедренных решений	46
4.1	Сравнительный анализ показателей до и после оптимизации	46
4.2	Расчет экономического эффекта	52
4.3	Перспективы дальнейшего развития системы	56
	Заключение	
	Список использованной литературы	
	Приложение А	
	Приложение Б	
	Приложение В	
	Приложение Г	
	Приложение Д	
	Приложение Е	
	Приложение Ж	
	Приложение З	
	Оттиск статей	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Современные условия разработки месторождений полезных ископаемых требуют внедрения инновационных подходов к проектированию и оптимизации горных работ. Особую значимость приобретает задача рационального использования минерально-сырьевой базы при отработке сложноструктурных месторождений с неоднородным распределением полезных компонентов. На примере месторождения Гужумсай (Узбекистан) наблюдается существенное отклонение фактических показателей добычи от проектных значений, что выражается в повышенных потерях руды (до 25%) и значительном разубоживании (до 40%).

Проблема усугубляется тем, что традиционные методы проектирования выемочных единиц не учитывают в полной мере:

- пространственную изменчивость качества руды;
- геомеханические особенности массива;
- экономическую целесообразность отработки отдельных блоков.

Применяемые на практике эмпирические подходы к определению параметров выемки часто приводят к:

1. Нерациональному использованию запасов;
2. Повышению себестоимости добычи;
3. Снижению эффективности горного производства.

Главная задача любого горного предприятия – максимизация прибыли при минимальных затратах. Однако традиционные методы проектирования зачастую не учитывают неоднородность распределения полезного компонента что приводит к нерациональной выемке бедных участков и потерям богатых руд, и динамику рыночных цен. Она учитывает изменение стоимости металлов, что требует гибкого подхода к выбору кондиций и границ отработки. Капитальные и операционные затраты – неправильно выбранные параметры выемки увеличивают расходы на крепление, вентиляцию, транспортировку и переработку.

Например, на месторождении Гужумсай до оптимизации фактические потери руды достигали 20-25%, а разубоживание – 35-40%, что снижало рентабельность добычи. Применение цифрового моделирования позволило сократить эти показатели на 10-15%, повысив экономическую эффективность.

Маломощные и сложноструктурные месторождения (жильные, линзообразные залежи) требуют особого подхода к проектированию выемочных единиц из-за высокого разубоживания – при отработке системой подэтажного обрушения или камерными методами в очистное пространство попадают пустые породы. Неустойчивости вмещающего массива – приводит к обрушениям и дополнительному разубоживанию. Ограниченной возможности селективной выемки – стандартные параметры блоков не всегда соответствуют реальной морфологии рудного тела.

Решением является оптимизация с применением MICROMINE, что позволяет точно определить границы рудных тел и зоны с высоким

содержанием металла. Рассчитать оптимальные размеры блоков, снижающие потери и разубоживание. Выбрать рациональную систему разработки (подэтажное обрушение, слоевая выемка и др.). Снижение разубоживания и потерь руды приводит к уменьшению объема отвалов и хвостов – снижение нагрузки на окружающую среду. Также экономии энергии и ресурсов – меньше пустой породы транспортируется и перерабатывается. И повышению безопасности – оптимизированные параметры выемки снижают риск обрушений.

Преимущества цифровой оптимизации (MICROMINE) в том, что ручные методы расчета устарели и не обеспечивают необходимой точности. MICROMINE дает возможность 3D-моделирования – визуализация рудных тел, пустых пород и зон разубоживания. Блочного анализа – расчет запасов с учетом изменчивости содержаний. Экономического моделирования – сравнение вариантов по NPV, IRR, сроку окупаемости. Адаптации к изменениям – оперативная корректировка параметров при изменении геологии или рыночных условий.

Цель диссертационной работы - разработка методики оптимизации параметров подземных выемочных единиц на основе комплексного цифрового моделирования в среде MICROMINE с учетом экономических показателей.

Основные задачи исследования:

- 1) Анализ существующих методов проектирования выемочных единиц;
- 2) Разработка алгоритма создания цифровой геолого-технологической модели месторождения;
- 3) Обоснование критериев оптимизации параметров выемки;
- 4) Разработка экономико-математической модели оценки эффективности;
- 5) Апробация методики на примере месторождения Гужумсай.

Объект исследования - технологические параметры выемочных единиц золоторудного месторождения Гужумсай.

Методы исследования:

- цифровое моделирование в MICROMINE (блочное моделирование, геостатистика);
- геомеханические расчеты устойчивости;
- экономический анализ (NPV, IRR, срок окупаемости);
- статистические методы обработки данных;
- сравнительный анализ технологических вариантов.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексной методики оптимизации параметров выемки на месторождении, где не использовалась цифровизация. Также создании алгоритма экономической оценки вариантов отработки и обосновании критериев выбора оптимальных параметров

Практическая значимость: Внедрение разработанных решений позволило снизить потери руды на и уменьшение коэффициента разубоживания. Повышение экономической эффективности.

Личный вклад автора состоит: Разработана трехмерная геолого-технологическая модель месторождения. Также выполнено блочное моделирование распределения полезных компонентов и комплексная оптимизация параметров выемочных единиц. Доказана эффективность методики на практическом примере.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в минерально-индустриальном мегакомплексе в условиях устойчивого развития экономики» 14-15 марта 2024 и внедрены в производственный процесс.

1 Анализ современных методов оптимизации подземных горных работ

Современные методы оптимизации подземных горных работ направлены на повышение эффективности извлечения полезных ископаемых. Экономико-технологические модели играют важную роль в данном процессе, позволяя анализировать влияние различных факторов на результаты горных работ. Одной из ключевых задач является полное извлечение запасов, что требует разработок новых подходов. В частности, методическое обоснование технологий может минимизировать ущерб, вызванный переизмельчением руды, так как это влияет на эффективность в целом [1].

Конвейерный транспорт, как компонент технологических процессов, активно учитывается в исследованиях, поскольку его использование может привести к сокращению времени и финансовых затрат. Интеграция конвейеров в горные работы позволяет ускорить потоки материалов, улучшая общую производительность [2]. Кроме того, постоянные усовершенствования технологических схем становятся важным фактором, затрагивающим как экономические, так и экологические аспекты. Адаптация с учетом изменений на рынке требует гибкости и инноваций в проектировании шахт [3].

Динамическая оптимизация, реализуемая через непрерывный анализ данных, показывает значимость современных географических информационных систем для оптимизации математических моделей горных процессов. Это особенно актуально для буровзрывных работ, где параметры могут меняться в зависимости от комплексного анализа ситуаций [4]. Важно также упомянуть о сравнительном анализе затрат для различных типов горных работ, что помогает выбрать наиболее экономически оправданный вариант [5].

Общие подходы к оптимизации подразумевают сотрудничество между различными дисциплинами и исследовательскими направлениями. Например, взаимодействие горных инженеров и экологов создает новые возможности для достижения устойчивого развития и минимизации негативных экологических последствий. В этом контексте особое место занимает изучение методов, которые помогают в сокращении ущерба от переизмельчения руды при проектировании горнотехнических систем [1].

Темы, связанные с выбором методов оптимизации, также находят свое применение в практических задачах. Методические инструменты продолжают развиваться, учитывая технологические изменения и новые требования. Системы, нацеленные на оптимизацию параметров буровзрывных работ и механической подготовки, способствуют повышению общей эффективности подземных операций и сокращению издержек. Эти аспекты имеют решающее значение для достижения конкурентоспособности в горной отрасли [2].

1.1 Роль автоматизации в подземных технологиях

Внедрение автоматизации в подземные горные работы позволяет значительно повысить эффективность и безопасность производственных

процессов. Современные технологии автоматизированного управления дают возможность дистанционно контролировать работу экскаваторов, буровых установок и других машин, что особенно актуально для глубоких шахт, где риск для людей возрастает. Применение таких систем позволяет избегать непосредственного контакта оператора с опасным оборудованием, снижая вероятность травм и повышая общую безопасность [1].

Ключевой аспект автоматизации — это разработка алгоритмов, которые учитывают разные параметры, тенденции и потенциальные ограничения. В частности, автоматизированные системы могут моделировать процессы перемещения горной массы, что не только оптимизирует использование ресурсов, но и позволяет более точно прогнозировать затраты [2].

Автоматизация делает возможным не только удаленное управление, но и интеграцию роботизированных машин для выполнения высоко-точных операций. Это кардинально меняет подход к проектированию шахт и карьеров, создавая потенциал для увеличения производительности при сокращении затрат [3].

Применение роботизированной технологии также открывает новые горизонты для разработки горных машин и оборудования. В результате возникает возможность создания более безопасных рабочих условий и повышения производительности добычи полезных ископаемых [4]. Для наглядности можно увидеть это на рисунке 1.1. Анализ рисунка 1.2 позволяет заключить, что автоматизированные системы и роботы могут выполнять более сложные задачи, тем самым увеличивая эффективность операций и сокращая количество необходимых для выполнения определенных работ людей [5].

В условиях углубленного горного производства, где физическое присутствие человека становится небезопасным, автоматизация становится необходимостью для достижения конкурентоспособности в отрасли. Использование автоматизированных технологий не просто ответ на вызовы времени, но и стратегическая необходимость для компаний, стремящихся сохранить позиции на рынке и повысить свою производительность [1].

Системы автоматизации и роботизации адаптируются в зависимости от данных, получаемых во время работы, что позволяет выполнять оперативные корректировки и повышать оперативность принятия решений. Таким образом, автоматизация в подземных горных работах не только улучшает текущие производственные процессы, но и создает основу для устойчивого развития в будущем.

Важным преимуществом автоматизации является возможность интеграции искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших массивов геологических и технологических данных. Это позволяет прогнозировать возможные риски, такие как обрушения или отклонения от плановых показателей. Например, системы на основе ИИ могут автоматически корректировать траекторию буровых установок или распределение горной массы, минимизируя потери и повышая эффективность добычи.

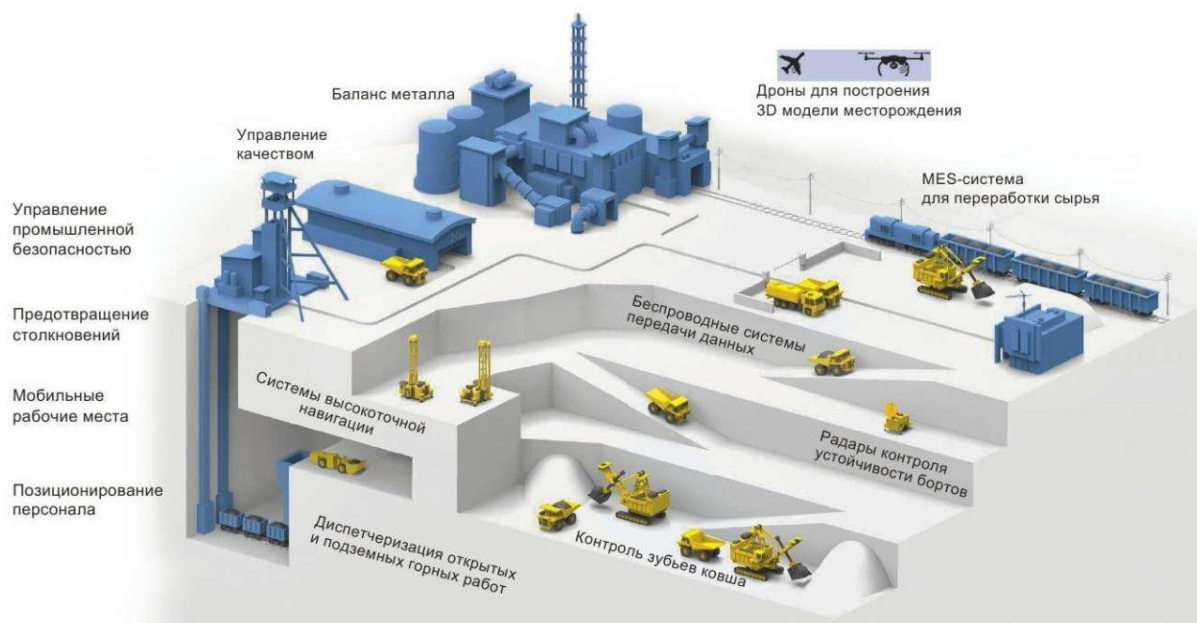


Рисунок 1.1 - Цифровизация в подземных горных работах

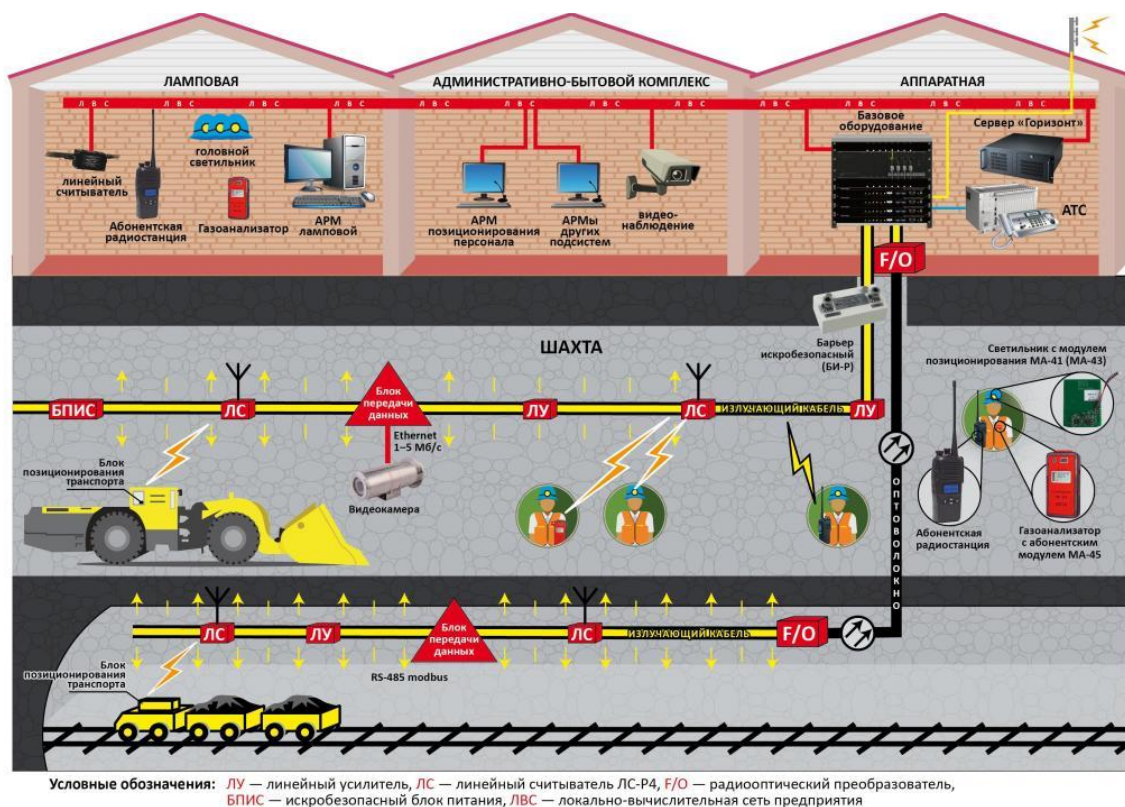


Рисунок 1.2 - Схемы автоматизации в подземных горных работах

Примеры успешного применения оптимизационных методов. Оптимизация подземных горных работ на примере карьера АО «Лебединский ГОК» демонстрирует успешные результаты применения современных методов. В ходе анализа было установлено, что оптимальная глубина перехода от открытых к подземным работам для трубки «Ботубинская» составляет 310 м. При этом запасы руды составляют 9,641 млн т для подземных работ и 7,311

млн т для открытых. Эти данные указывают на значительное увеличение запасов руды при переходе к подземной добыче, что имеет существенное значение для экономической эффективности проекта [1]. Для визуального понимания карьер представлен на рисунке 1.3.

Одним из важных аспектов является влияние различных параметров на общие затраты на горные работы. Специалисты подчеркивают, что позиция открыто-подземного яруса, угол погашения борта карьера и мощность рудного тела влияют на итоговые расходы. Увеличение этих показателей может привести к снижению затрат [2]. Важно также оптимизировать процессы, включая буровзрывные работы и механическую подготовку, что непосредственно влияет на общую эффективность работ и позволяет добиться серьезной экономии [3].

Для минимизации негативного воздействия от переизмельчения руды используются продвинутое методики обоснования технологий подземной разработки. Это актуальная задача, поскольку переизмельчение может привести к значительным финансовым потерям и снижению общей продуктивности [4]. Использование экономико-технологических моделей служит основой для повышения эффективности подземных работ, что в свою очередь позволяет значительно сократить затраты [5].

В заключение, успешное применение современных методов оптимизации в подземных горных работах иллюстрируется не только конкретными примерами, но и анализом более широких тенденций в отрасли. Данный опыт подтверждает необходимость внедрения инновационных решений, направленных на сокращение затрат, повышение производительности и обеспечение эффективной добычи ресурсов в условиях постоянного изменения рынка и потребностей.

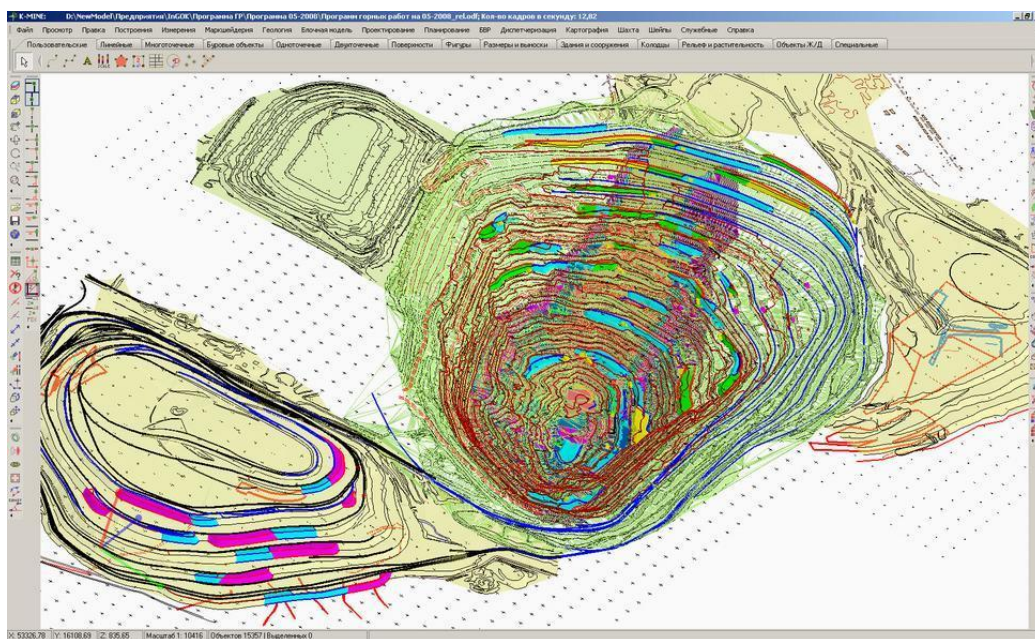


Рисунок 1.3 - Примеры успешного применения оптимизационных методов в горнодобывающей промышленности

1.2 Сравнительный анализ и экономические преимущества

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с необходимостью оптимизации подземных работ для повышения эффективности и минимизации издержек. Успех оптимизации определяется выбором подходящих методов, которые варьируются от математических до применяемых технологий. Математические методы анализа выстраиваются на основе блочных моделей планирования, позволяющих прогнозировать требования пользователей к качеству руды и обеспечивать точность в планировании подземных работ, что существенно повышает коэффициент полезного действия процессов [4].

Изменения в требованиях потребителей к качеству руды, такими как содержание металлов, могут вызвать необходимость пересмотра подходов к проведению горных работ. Это подчеркивает важность постоянного анализа и адаптации методов к изменению рыночной ситуации, что может повлиять на стратегию разработки месторождений [5].

Технологии больших данных (Big Data) также становятся важным инструментом оптимизации. С 2015 по 2024 год наблюдается активное внедрение Big Data в горнодобывающей сфере, что позволяет проводить обширный анализ данных, получаемых с сенсоров, и моделировать производственные процессы. Это, в свою очередь, приводит к повышению производительности и снижению рисков работ. Анализ больших данных может негативно отразиться на производственных показателях простоя и ошибок, что требует комплексного подхода к внедрению [5].

Цифровизация процессов управления играет значительную роль в оптимизации. Интеграция цифровых технологий позволяет делегировать задачи и автоматизировать рабочие процессы, что не только повышает производительность, но и улучшает безопасность работников в подземных условиях [4]. В интеграции различных цифровых систем становится очевидным, что создание комплексных архитектур цифровых решений способствует не только повышению эффективности, но и обеспечивает необходимую экологическую устойчивость.

Сравнительный анализ методов показывает, что линейные и вероятностные методы имеют свои преимущества (рисунок 1.4) и ограничения в зависимости от контекста выполнения задачи. Например, линейный метод оптимизации, несмотря на свою простоту, может не охватывать всех аспектов реального процесса, тогда как вероятностный подход позволяет учесть риски и неопределенности, что критично в условиях изменяющегося рынка [5].

Глобальная оптимизация, включая метод плавающего конуса и генетические алгоритмы, демонстрирует высокую эффективность при решении задач, связанных с определением границ разработки карьеров. Эти методы позволяют находить решения, которые неприменимы при традиционных подходах, обеспечивая более глубокий и комплексный анализ существующих баз [7].

Таким образом, современные методы оптимизации горных работ представляют собой многогранный набор инструментов, каждый из которых имеет свои преимущества и научные основы. Важно помнить о необходимости комбинирования данных технологий, чтобы достичь наилучших результатов в условиях растущих требований к производительности и безопасности на уровне всей отрасли.



Рисунок 1.4 - Схема преимуществ оптимизации подземных работ

Современные технологии в подземных горных работах обеспечивают значительные экономические преимущества, возникающие благодаря внедрению автоматизации и цифровизации. Одним из основных факторов улучшения экономической эффективности является повышение производительности. Автоматизированные системы способны функционировать без перебоев, что позволяет значительно увеличить объемы добычи и повысить производительность труда, в некоторых случаях достигая роста в 1,5-2 раза [3].

Снижение затрат на рабочую силу также играет важную роль. Автоматизация позволяет оптимизировать численность персонала, что, по данным исследований, может сократить затраты на оплату труда в среднем на 27,3%. При этом, несмотря на сокращение числа работников, растет средний уровень зарплат, который увеличивается на 45-74% в условиях расширяющейся автоматизации, что способствует улучшению качества жизни сотрудников и повышению их мотивации.

Безопасность на рабочем месте непременно связана с внедрением роботизированных технологий. Современные роботизированные системы способны выполнять опасные и трудоемкие задания, что значительно снижает риск травматизма. Это становится особенно актуальным в условиях подземных работ, где ситуация может меняться быстро и непредсказуемо [1].

Экологическая безопасность и соблюдение норм также становятся возможными благодаря автоматизации. Современные технологии позволяют оптимизировать процессы добычи, минимизируя негативное воздействие на

окружающую среду. Например, внедрение 3D-моделирования и систем управления значительно улучшает планирование и контроль добычи [3].

Автоматизация в горной промышленности способствует не только экономическим выгодам, но и внедрению инновационных методов. Появление систем, использующих искусственный интеллект, а также технологии, такие как «умные» датчики и мониторинг, открывают новые горизонты для повышения производительности и безопасности трудовой деятельности. Эти изменения формируют требования к работникам, которые должны быть готовы к взаимодействию с новыми технологиями, что представляет собой вызов, но и одновременно создает возможности для роста профессиональных навыков.

Таким образом, интеграция современных технологий в подземные горные работы приводит к улучшению экономических показателей, повышению безопасности и созданию устойчивых приоритетов в области экологической ответственности. Расширение применения автоматизации и цифровизации в будущем, вероятно, станет определяющим трендом в горной отрасли, открывающим новые возможности для ее участников.

1.3 Влияние технологий на безопасность и перспективы развития

Современные технологии в горной отрасли значительно изменяют подходы к обеспечению безопасности подземных работ. Использование многофункциональных систем безопасности (МФСБ), работающих на основе волоконно-оптических технологий, превращается в важный элемент для предотвращения аварий. Это включает в себя мониторинг уровней метана и другие факторы, способные привести к происшествиям, таким как взрывы или пожары [3]. Система позволяет в реальном времени отслеживать изменения в шахтной атмосфере и предупреждать о вероятности опасных ситуаций, что значительно повышает безопасность трудящихся.

Интеграция цифровых решений также способствует улучшению оперативного контроля над рабочими процессами. Например, применение нейросетевых моделей для оптимизации работы очистных комбайнов и вентиляционных систем прямо связано с повышением безопасности. Эти технологии не только помогают предсказывать опасные концентрации газов, но и снижают операционные затраты, приводя к общей экономической эффективности работ [8].

Важно упомянуть о необходимости адаптации существующих нормативно-правовых актов к условиям, создаваемым новыми технологиями. Совершенствование законодательной базы поможет обеспечить еще более надежные условия для работы на шахтах, где технологии постоянно развиваются и улучшаются [2].

Переход к концепции «цифровых рудников» подразумевает значительные изменения в организации процессов, включая безопасное управление и мониторинг всех этапов добычи. В этом контексте важно

учитывать не только технические аспекты, но и влияние на человеческий фактор, поскольку уровень подготовки и обучение специалистов также критически важны для безопасности на рабочих местах [7].

Ключевыми аспектами безопасности остаются взаимодействие между традиционными методами и новыми технологиями, а также обучение и повышение квалификации персонала. Научные исследования показывают, что построение эффективных систем безопасности требует комплексного подхода, включающего в себя не только технические решения, но и развитие культуры безопасности в коллективе [4]. Таким образом, интеграция цифровых технологий в горные работы становится неотъемлемой частью создания безопасной и эффективной рабочей среды для шахтеров.

Перспективы развития инновационных технологий в горном деле. В последние годы горное дело активно адаптируется к новым технологическим вызовам, делая акцент на внедрении инновационных решений. Основные тенденции включают использование цифровых технологий, автоматизацию процессов и интеграцию искусственного интеллекта. Применение таких методов приводит к значительному повышению производительности и улучшению условий труда, что является важным аспектом для устойчивого развития отрасли [1].

Развитие автономных горных работ становится одной из ключевых задач. Современные технологии, такие как роботизированные системы и автоматизированные добывающие машины, позволяют выполнять сложные и рискованные операции без участия человека. Это не только повышает общую безопасность, но также оптимизирует производственные процессы, сокращая затраты и время выполнения работ [2]. Интеграция искусственного интеллекта в управление подземными работами предоставляет возможность оптимизировать планирование и анализ данных, что способствует более эффективному принятию решений и управлению ресурсами [3].

Кроме того, растет интерес к созданию цифровых двойников, которые помогают моделировать и прогнозировать процессы в реальном времени. Это позволяет заранее выявлять потенциальные проблемы и снижать риски, связанные с ведением горных работ. Цифровизация производства обеспечивает доступ к большому массиву данных, что в свою очередь позволяет повышать уровень учёта и управления на различных стадиях процессов [4].

Экологическая устойчивость также становится важным аспектом для горной отрасли. Внедрение новых технологий способствует повышению энергоэффективности, что важно в условиях ограниченных ресурсов и возрастающих требований к экологической ответственности производства. Компании, активно использующие инновации, находят новые пути для сокращения негативного влияния на окружающую среду [5].

В целом, будущее горного дела связано с необходимостью внедрения высоких технологий и инновационных методов. Это предполагает не только

экономическую эффективность, но и значительное улучшение условий труда и повышения безопасности работников в подземных условиях. Прогнозы по развитию технологий показывают, что адаптация к новым условиям станет критически важной для успешного функционирования и конкурентоспособности предприятий в отрасли.

1.4 Анализ влияния внешних факторов на эффективность работы

Данная таблица на рисунке 1.5 представляет собой классификацию факторов, влияющих на эффективность работы предприятия, разделяя их на две большие группы — внешние и внутренние.

Внешние факторы включают в себя такие аспекты, как цикл деловой активности и структурные изменения, ресурсы, а также правительственная политика. К циклу деловой активности и структурным изменениям относятся условия ведения бизнеса, конкуренция, структурные сдвиги между секторами экономики, изменения в структуре капитала, экономия за счёт увеличения масштаба производства, демографические и социальные изменения. Ресурсные факторы охватывают рабочую силу (её спрос и предложение, гибкость и мобильность), землю (её наличие и цену), сырьё и энергоносители, а также доступ к финансам. Влияние государственной политики выражается через политику структурных изменений, мероприятия по повышению эффективности, сглаживание экономических циклов, природоохранное законодательство, фискальную и налоговую политику, а также систему обучения и подготовки кадров.

Внутренние факторы охватывают области, на которые предприятие может оказывать прямое влияние. Они включают факторы, связанные с исходными ресурсами, с процессом производства и с выпуском продукции. Внутренние ресурсы предприятия определяются капитальными вложениями, производственными зданиями и оборудованием, наличием сырья и энергоносителей, уровнем технологий и ноу-хау, проектированием продукта и качеством подбора и найма кадров. Факторы, связанные с производственным процессом, включают мотивацию и обучение работников, рост производительности, проектирование продукта, использование оборудования и технологическое развитие, а также уровень износа и производительности средств труда. Важную роль играют измерение и анализ процессов, обратная связь и система общего управления. Факторы, связанные с выпуском продукции, охватывают объём и ассортимент выпускаемой продукции, её цену и качество, техническое совершенство конструкций, упаковку, уровень послепродажного обслуживания, своевременность поставок, наличие системы гарантий, долю рынка, степень проникновения на рынок и имидж компании.

Таким образом, таблица демонстрирует комплексный подход к анализу условий, определяющих результативность работы предприятия, и может использоваться как методическая основа для стратегического планирования, оценки текущей ситуации и повышения конкурентоспособности.



Рисунок 1.5 - Схема влияния внешних факторов на подземную добычу полезных ископаемых

Эффективность подземных горных работ во многом определяется влиянием внешних факторов, которые делятся на несколько ключевых категорий. Одним из значительных аспектов является правовая среда. Изменения в законодательных и нормативных актах, касающихся недропользования, оказывают заметное влияние на организацию горных работ и их рентабельность [10]. Например, изменения в лицензионных соглашениях или требования к охране окружающей среды могут привести к пересмотру инвестиционных решений и изменению операционных планов.

Цены на товары также представляют важный фактор. Колебания на рынке, особенно для ресурсов, таких как уголь или золото, напрямую сказываются на доходности проектов. Когда цены падают, рентабельность снижается, следовательно, компании вынуждены пересматривать стратегии добычи и оптимизации затрат. В таких условиях необходимо проводить регулярный анализ рыночной ситуации и гибко реагировать на изменения.

Природа и климат также имеют свое влияние. Например, влажность способна изменить физические свойства горных пород, что напрямую затрагивает процесс их разрушения и добычи. Данные факторы могут вызвать значительные отклонения в результатах работы, что требует дополнительных затрат на адаптацию оборудования или технологий [6]. Исследования показывают, что насыщение водой некоторых пород может снижать прочность до 40%, что требует изменения методов обработки.

Горно-геологические и климатические условия, в которых ведутся работы, также необходимо учитывать, поскольку сложность месторождений может существенно повлиять на эффективность добычи. Для сложных геологических условий потребуется адаптировать технологии и

организовывать процессы в соответствии с реальными условиями, что зачастую увеличивает затраты [17].

Конкуренция на рынке требует от предприятий не только корректировки внутренней политики, но и тщательной разработки конкурентоспособных стратегий. Устойчивое развитие и соответствие современным требованиям становятся насущной необходимостью, особенно для малых компаний, стремящихся занять определенную нишу на рынке [29].

Технологические параметры процесса также играют немаловажную роль. Разрушение породы зависит от характеристик задействованного оборудования и методов его применения. Эффективная организация производства может включать внедрение новых технологий и оптимизацию форматов работы с имеющимися ресурсами, что позволяет улучшить результаты [31]. Таким образом, внешние факторы формируют необходимый контекст, в котором сосредоточена практика оптимизации подземных горных работ. Адаптация к изменениям и внешней среды и внедрение гибких стратегий являются критически важными для достижения устойчивости и конкурентоспособности предприятия.

В заключении нашего анализа, мы пришли к тому, что современные методы оптимизации подземных горных работ требуют непрерывного совершенствования и адаптации в условиях быстро меняющегося рынка. Исследования показывают, что успешное проектирование и управление горными процессами напрямую зависят от адекватной оценки запасов месторождений и оптимизации технологий их разработки. Одним из наиболее перспективных подходов является применение динамических моделей, которые позволяют визионировать затраты и результаты, что делает процесс более гибким и адаптируемым к текущим условиям [7].

Характеризуя эффективность проектирования, необходимо учитывать не только геологические и физико-механические свойства породы, но и экономическое обоснование последних тенденций в регулировании затрат на оборудование и технологии. Использование контурных моделей для проектирования карьеров позволяет точно оценить параметры работ, повышая общую эффективность добычи полезных ископаемых и минимизируя риски. С их помощью можно также определить оптимальные площади для работ при изменении условий геологической среды [5].

Существенную роль в оптимизации современных подземных технологий играют принципы полномасштабной оптимизации. Эти принципы учитывают все аспекты жизненного цикла проекта, начиная с геологического разведки и заканчивая рекультивацией земель. Внедрение совершенных программных решений позволяет точно рассчитывать и моделировать бюджеты, что позволяет компаниям снизить затраты и повысить доходность [3].

К числу важных методов также относится оптимизация рабочей зоны глубоких карьеров, которая включает в себя анализ геометрии добычи и технологии обработки полезных ископаемых. Реализация таких методов ведет

к существенному улучшению производственных показателей и увеличивает безопасность и эффективность работ. Важно отметить, что современные технологии требуют от компаний высокой степени интеграции между различными подразделениями [4].

Вопросы управления запасами месторождений становятся более сложными в связи с переходом на алгоритмы «бликрутции», которые позволяют создать гибкие модели добычи. Эти подходы не только минимизируют затраты, но и предусматривают варианты для изменяющихся рыночных условий, таких как колебания цен на металлы и спрос на различные виды ресурсов. Правильное применение таких алгоритмов может значительно повысить конкурентоспособность предприятия [6].

Таким образом, углубленный анализ современных методов оптимизации подземных горных работ показывает, что внедрение высоких технологий и новых подходов к проектированию оказывает значительное влияние на эффективность добычи, безопасность работ и общую экономическую целесообразность горных проектов.

2 Научно-производственные предпосылки оптимизации добычных работ на месторождении Гужумсай

2.1 Горно – геологическая характеристика месторождения

Месторождение Гужумсай расположено на южных склонах центральной части гор Северного Нурату и является западным флангом Чармитанского золоторудного месторождения, а территориально относится к Кошрабадскому району Самаркандской области Республики Узбекистан.

Рудником Гужумсай ЮРУ НГМК предусматривается разработка одноименного жильного крутопадающего месторождения Гужумсай. На месторождении разведено около 27 рудных тел. Мощность рудных тел 0,5-3,2 м, в среднем составляя 1,3 м, угол падения 65°-85°; коэффициент крепости руд и вмещающих пород по шкале Протодяконова 8-14. Обзорную карту месторождения Гужумсай можно увидеть на рисунке 2.1.

Размеры шахтного поля: по простиранию - до 1,8 км, по падению до 550 м, ширина рудной зоны изменяется от 500 м до 1200 м.

Согласно заданию на проектирование настоящий рабочий проект разработан для вскрытия и отработки запасов горизонтов 660 м и 600 м месторождения Гужумсай [12].



1 - Контур выхода палеозойских пород; 2 - Площадь выхода Кошрабадского интрузива; 3 - Железная дорога; 4 - Автомобильные дороги; 5 - Граница вилоятов (областей); 6 - Граница Республики Узбекистан; 7 - Площадь проектируемых работ.

Рисунок 2.1 - Обзорная карта месторождения Гужумсай

Производительность, общая организация работ.

Режим работы рудника, согласно заданию на проектирование, принят следующий:

- число рабочих дней в году - 365;
- число рабочих смен в сутки - 3;
- продолжительность смены на подземных работах - 7,2 часа;
- производственная мощность рудника составит 550 тыс. т руды в год;
- потери руды среднее по горизонтам -17,9%;
- разубоживание, среднее по горизонтам -35%.

Вскрытие месторождения. Горно-капитальные работы

Месторождение Гужумсай в технических границах проектируемого одноименного подземного рудника вскрывается по фланговой схеме наклонным транспортным стволом №5-Г, вертикальным стволом «Вспомогательный №6-Г», существующим разведочным стволом шахты №1 до горизонта 720 м, каскадом лифтовых восстающих ниже горизонта 720 м выходящим в район ствола шахты №1 и этажными квершлагами.

Настоящее время ведутся строительные и добычные работы на вышележащих горизонтах 820 м, 780 м и 720 м рудника Гужумсай. Шахтное поле рудника Гужумсай, на текущий момент, вскрыто существующим разведочным стволом шахты №1, наклонным транспортным стволом №5-Г до гор. 600 м и частично пройденными этажными квершлагами на гор. 820 м, 780 м и 720 м. Разведочный ствол шахты №1 пройден с поверхности с высечками на гор. 820, 780 и 720 м. Диаметр ствола в свету 4,5 м ($S_{св} = 15,9 м^2$), крепь - монолитный бетон, глубина ствола 242 м. Ствол шахты №1 служит для выдачи горной массы на поверхность, спуска-подъема людей и различных грузов, а также для подачи свежего воздуха до ввода в эксплуатацию ствола «Вспомогательный №6-Г». Наклонный транспортный ствол №5-Г (НТС 5-Г) пройден с поверхности под углом 8 ($i=0,141$) с заездами на гор. 820, 780 м, 720 м, 660 м, и 600 м. Наклонный транспортный съезд служит для выдачи горной массы, доставки людей, самоходного горно-шахтного оборудования и различных грузов в горные работы, а также для выдачи исходящей струи воздуха.

Площадь поперечного сечения НТС-5-Г в проходке на прямолинейных участках составляет $S_{св} = 17,55 м^2$, крепь - набрызгбетон, на ослабленных участках — комбинированная (штанговая с набрызгбетоном), в неустойчивых породах — арочная металлическая крепь из СВП-27 с ж.б. затяжками.

Площади поперечных сечений вскрывающих откаточных квершлагов и штреков (при самоходном транспорте) на прямолинейных участках в свету составляет $S_{св} = 12,53 м^2$ за исключением участков, по которым будет производиться транспортировка горной массы шахтными самосвалами грузоподъемностью 28 тн; сечения квершлагов на этих участках аналогичны сечениями НТС 5-Г. Крепь — набрызгбетон, на ослабленных участках - комбинированная или арочная металлическая из СВП-22 с ж.б. затяжками.

Схема подготовки шахтного поля — полевая, групповая. Из вскрывающих квершлагов в лежащем боку, за зоной сдвижения пород, проходятся откаточные (доставочные) штреки, из полевых откаточных штреков через 100-200 м проходятся участковые квершлагы (орты), которые делят шахтное поле на выемочные участки. Полевые откаточные штреки, как правило, закладываются для отработки группы рудных тел. Поперечные сечения полевых откаточных штреков и участковых квершлагов в свету на прямолинейных участках $S_{св} = 12,53 \text{ м}^2$.

Ствол «Вспомогательный № 6-Г» пройдено с поверхности до гор. 480 м с высечками на горизонтах 820 м, 780 м, 720 м, 660 м, 600 м, 540 м и 480 м. Диаметр ствола в свету 6,0 м ($S_{св} = 28,2 \text{ м}^2$), крепь - монолитный бетон, глубина ствола - 493 м, Ствол оборудовано двухклетевым подъемом и служит для спуска-подъема людей, выдачи горной массы на поверхность и подачи свежей струи воздуха. Наклонный транспортный ствол № 5-Г, при выходе рудника на проектную производительность, служит для выдачи основной горной массы на поверхность, спуска-подъема самоходного оборудования, доставки различных грузов и выдачи исходящей струи воздуха.

Разведочный ствол шахты № 1, при полном развитии горных работ, служит для спуска-подъема различных грузов, выдачи исходящей струи воздуха и является вторым выходом на поверхность с горизонтов 820 м, 780 м и 720 м, оборудованным механическим подъемом, где с горизонта 600 м рассматривается совместно с лифтовым восстающим, проходимым с гор. 600 м до гор. 720 м.

Как сказано выше, на каждом горизонте пройдено комплекс горизонтальных горно-капитальных выработок: околоствольные выработки, вскрывающие квершлаг и штреки, погрузочные пункты для загрузки самосвалов, перегрузочные пункты для загрузки вагонеток и камеры общерудничного назначения.

Горная масса на поверхность выдается по двум стволам: НТС 5-Г и «Вспомогательному № 6-Г». При выдаче по стволу НТС 5-Г горная масса из очистных и горнопроходческих работ погрузочно-доставочными машинами грузоподъемностью 3,0-6,8 т доставляется к погрузочным пунктам НТС 5-Г, где она грузится в автосамосвалы грузоподъемностью 28 т и выдается на поверхность. При выдаче по стволу «Вспомогательный № 6-Г» горная масса погрузочно-доставочными машинами доставляется к перегрузочным пунктам, где она перегружается в вагонетки и электровозами доставляется к околоствольным дворам и далее выдается на поверхность по стволу.

В период полного развития горных работ воздухоподающим стволом является ствол «Вспомогательный № 6-Г», исходящая струя воздуха выдается на поверхность по наклонному транспортному стволу НТС 5-Г и разведочному стволу шахты №1. На рисунке 2.2 представлена геологическая ресурсная модель месторождения.

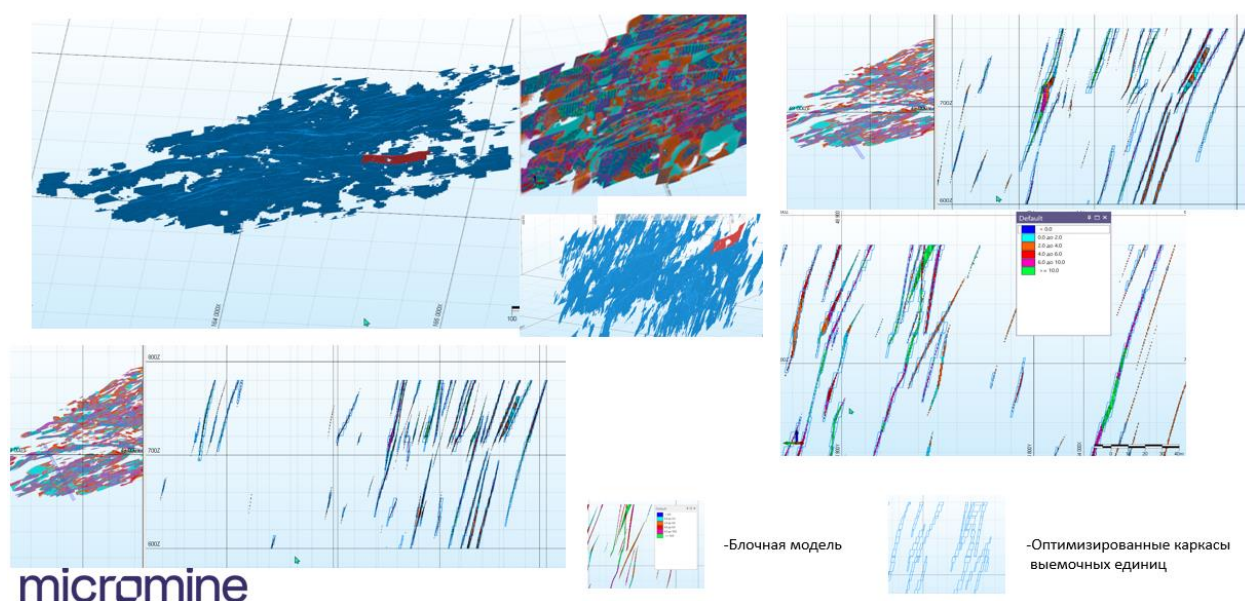


Рисунок 2.2 - Геологическая ресурсная модель месторождения

2.2 Анализ существующей системы разработки

Распределение балансовых запасов по средней горизонтальной мощности руды

На основании анализа геологической информации, представленной специалистами Горного отдела института произведено распределение запасов балансовой руды на горизонтах +660 м и +600 м месторождения Гужумсай по средней горизонтальной мощности руды.

Произведенное распределение балансовых запасов позволяет сделать следующие выводы:

Горизонт +660 м

- 29,6% объема балансовой руды и 27,7% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью до 1,0 м;
- 30,8% объема балансовой руды и 29,3% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,0 м до 1,5 м;
- 36,1% объема балансовой руды и 40,5% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,5 м до 2,5 м;
- 3,4% объема балансовой руды и 2,5% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью более 2,5 м.

Горизонт +600 м

- 32,2% объема балансовой руды и 31,4% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью до 1,0 м;

- 37,5% объема балансовой руды и 33,6% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,0 м до 1,5 м;
- 25,6% объема балансовой руды и 31,1% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,5 м до 2,5 м;
- 4,7% объема балансовой руды и 4,9% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью более 2,5 м.

Всего по общим запасам горизонтов +660 м и +600 м:

- 30,7% объема балансовой руды и 29,2% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью до 1,0 м,
- 33,7% объема балансовой руды и 31,1% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,0 м до 1,5 м;
- 31,6% объема балансовой руды и 36,6% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью от 1,5 м до 2,5 м;
- 4,0% объема балансовой руды и 3,1% содержащегося в ней основного металла сосредоточено в рудных телах со средней горизонтальной мощностью более 2,5 м.

Рудные тела вскрываемых горизонтов представлены системами сближенных рудных тел с толщиной между рудных прослоев от 4-10 и более метров. Вскрываемые запасы горизонтов разведаны скважинами и значительное количество рудоносных структур выявленных в ходе проведения геологоразведочных выработок на горизонте +720 м, на горизонтах +660 и 600 м не было вскрыто скважинами, что потребует дополнительного объема эксплуатационно-разведочных работ.

Для исключения возможной подработки смежных рудных тел, рудные тела должны объединяться в группы с толщиной междурудного прослоя между крайними рудными телами группы толщиной не менее 30-35 м, включая и мощности не обрабатываемых в первую очередь рудных тел. Крайние рудные тела в группе считаются не подрабатываемыми и могут быть отработаны, как по падению рудных тел системами с подэтажной отбойкой, так и по восстанию системами с магазинированием руды. Рудные тела, находящиеся внутри группы, считаются подрабатываемыми, особенно при малой толщине между рудного прослоя между ними и могут быть отработаны только по падению рудных тел.

Проектом предусмотрено для добычи товарной руды использование следующих систем разработки:

- в интервале средней мощности до 1,0 м система разработки с мелкошпуровой отбойкой руды в подэтажах и торцевым выпуском отбитой руды на почву подэтажного штрека и скреперной доставкой руды в рудоспуск;

- в интервале средней мощности от 1,0 м до 1,5 м;
- система разработки с магазинированием руды при разработке не подрабатываемых рудных тел;
- система разработки с подэтажной отбойкой руды скважинами малого диаметра при разработке сближенных подрабатываемых рудных тел;
- в интервале средней мощности от 1,5 м и более система разработки с подэтажной отбойкой руды скважинами малого диаметра;

Системы разработки с подэтажной отбойкой руды представлены в вариантах с торцевым выпуском руды на почву буродоставочного штрека. Основной причиной торцевого выпуска руды является обстоятельство, что балансовые запасы горизонт представлены группами сближенных рудных тел с толщиной между рудного прослоя от 4-10 и более метров и участки рудных тел с малой толщиной прослоя в ходе ведения очистных работ могут подрабатывать друг друга.

Во всех вариантах систем разработок с подэтажной отбойкой руды принят торцевой выпуск отбитой руды на почву буро-доставочного штрека. При мелкошпуровом способе отбойки руды и отбойке руды скважинами малого диаметра с использованием переносных буровых установок в подэтажах предусмотрена скреперная доставка руды до блокового рудоспуска. При использовании самоходных буровых установок предусмотрена доставка отбитой рудной массы погрузочно-транспортными машинами грузоподъемностью до 3 тонн в рудоспуск или на временный рудый склад.

Приняты следующие параметры расчетных эксплуатационных блоков по применяемым системам разработки:

Система разработки с мелкошпуровой отбойкой руды в подэтажах и торцевым выпуском отбитой руды на почву подэтажного штрека и скреперной доставкой руды в рудоспуск (рисунок 2.3).

Длина блока - до 50 м;

Высота блока равна высоте этажа - 60 м;

Высота подэтажа - 6-7 м.

На фланге блока проходится отрезная щель, от которой ведется отбойка в направлении к блоковому восстающему. Отрезная щель верхнего подэтажа может сбиваться с вентиляционным горизонтом. Блоковый восстающий проходится из погрузочного заезда по рудному телу сечением - 4,2 м² (2,45x1,7). Эксплуатационно-разведочные рассечки и ходки на подэтаж, проходятся одновременно с проходкой восстающего. Подготовка блока - полевая с устройством погрузочных заездов у блокового восстающего, у рудоспуска и на фланге блока;

Угол наклона рудных тел - 70°-80°;

Ширина междокамерного целика, в котором размещается блоковый восстающий - 8,2 м.

Толщина потолочины, при мощности рудного тела до 2,0 м - 3,0 м, свыше 2,0 м 4,0м.

Параллельно эксплуатационно-разведочному штреку на расстоянии 8,0 м от рудного тела проходится полевой штрек сечением - 9,0 м² с погрузочными заездами под восстающий, рудоспуск и отрезной восстающий.

Сечение погрузочных заездов -7,8 м², сечение рудоспуска и отрезного восстающего -2,6 м².

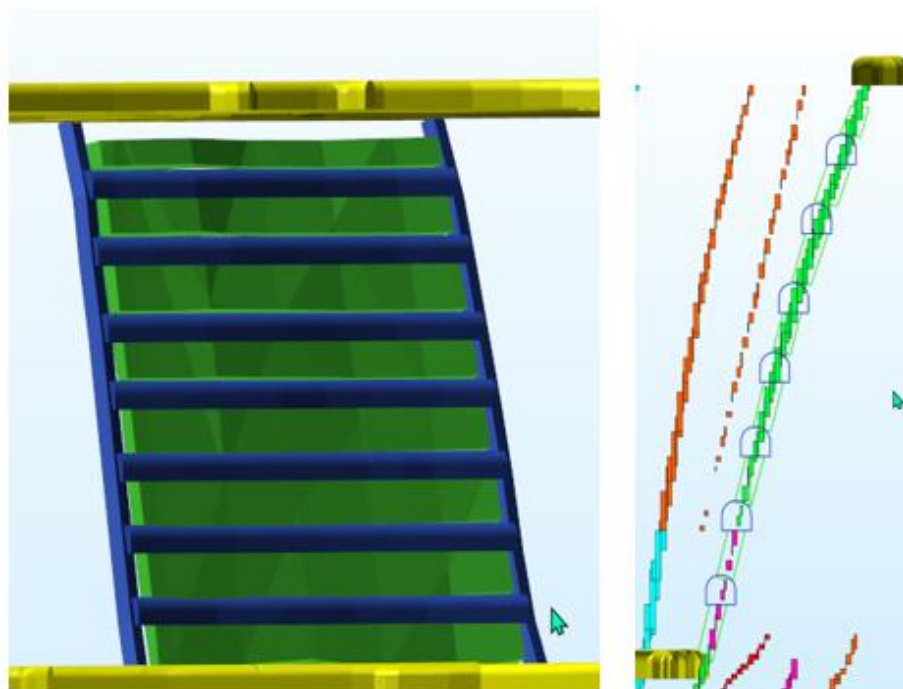


Рисунок 2.3 - Система разработки с мелкошпуровой отбойкой руды в подэтажах и торцевым выпуском отбитой руды

Использование системы с магазинированием руды, возможно только для разработки сближенных не подрабатываемых рудных тел, в соответствии с произведенной оценкой категории сближенности рудных тел, на основании которой устанавливается порядок и очередность их отработки.

Система разработки с магазинированием руды представлена в варианте с используемым на руднике (рисунок 2.4), с отрезным восстающим проходным в период проходки второго блокового восстающего. Второй отрезной восстающий проходится в период производства очистной отбойки в блоке. Представленный вариант системы разработки обеспечивает сохранность целиков у блоковых восстающих при минимальных размерах, хорошее проветривание блока за счет обще шахтной депрессии. Для сокращения времени отработки эксплуатационного блока рекомендуется очистную отбойку начинать, не дожидаясь окончания проходки второго блокового восстающего, а в качестве одного из запасных выходов из блока можно использовать готовую часть восстающего. Для повышения интенсивности очистной отбойки и сокращения времени отработки блока,

отбойка блока производится с двух сторон двумя звеньями горнорабочих очистного забоя.

Толщина потолочины, при мощности рудного тела до 2,0 м-3,0 м, свыше 2,0 м-4,0 м.

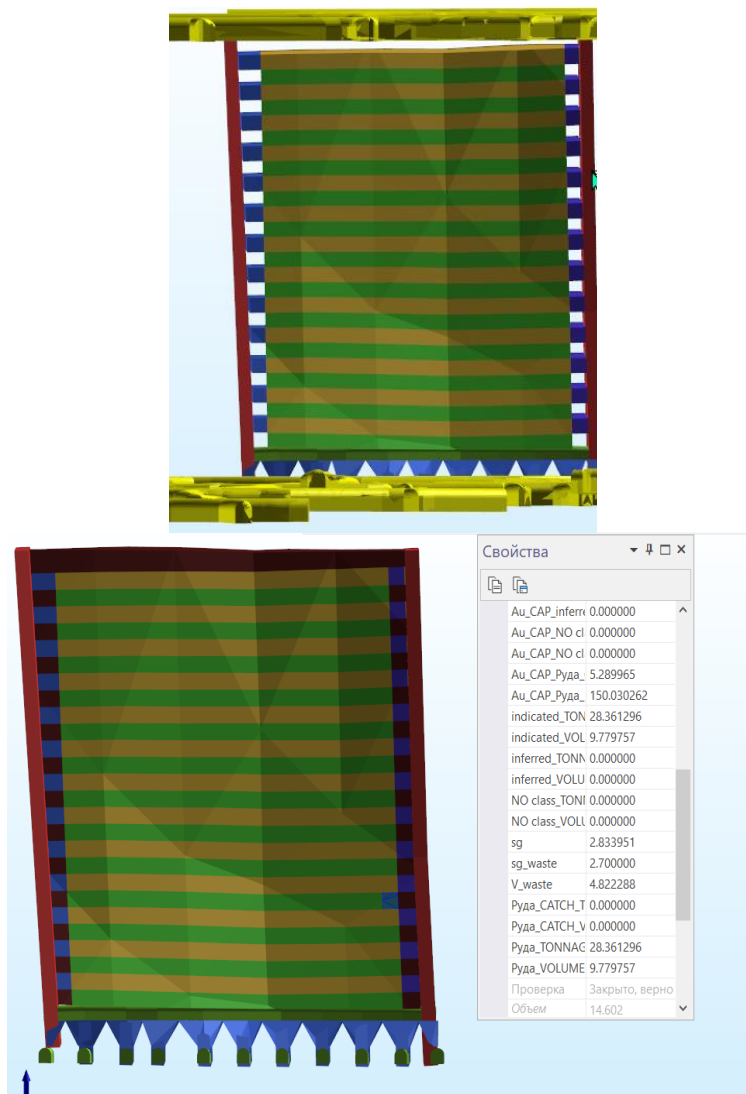


Рисунок 2.4 - Система разработки с магазинированием руды

Система разработки с подэтажной отбойкой руды скважинами малого диаметра (рисунок 2.5):

- длина блока - 50-70 м, принята - 60 м;
- высота блока равна высоте этажа - 60 м;
- высота подэтажа, в зависимости от мощности рудного тела - 12-15 м
- подготовка блока - полевая с устройством погрузочных заездов;
- угол наклона рудных тел - 70° - 80° ;
- ширина междукammerного целика, в котором размещается блоковый восстающий -8,2м.

Блоковый восстающий проходится из погрузочного заезда сечением - $4,2 \text{ м}^2$, параллельно с блоковым восстающим проходится рудоспуск сечением $2,6 \text{ м}^2$ из соседнего погрузочного заезда. Одновременно с проходкой блокового

восстающего в нем проходятся эксплуатационно-разведочные рассечки и ходки на подэтаж сечением $-2,6 \text{ м}^2$. Эксплуатационно-разведочные рассечки проходятся через 10 м от уровня откаточного горизонта, объем проходки рассечек - 2,5 м на каждую пару рассечек. Ходки на подэтаж проходятся через 12-15 м, что соответствует высоте подэтажа. Горная масса от проходки восстающего через ходки на подэтаж проходимые под углом 45° перепускаются в рудоспуск. Длина ходка на подэтаж 2,5-3 м. На фланге блока из крайнего погрузочного заезда проходится отрезной восстающий сечением $-2,6 \text{ м}^2$.

Для уточнения параметров оруднения предусмотрена опережающая эксплуатационная разведка, на уровне откаточного горизонта. Эксплуатационный разведочный штрек по рудному телу в дальнейшем используется как штрек подсечки.

Параллельно эксплуатационно-разведочному штреку на расстоянии 8,0 м от рудного тела проходится полевой штрек сечением $-9,0 \text{ м}^2$ с погрузочными заездами под восстающий, рудоспуск и отрезной восстающий.

Сечение погрузочных заездов $-7,8 \text{ м}^2$, сечение рудоспуска и отрезного восстающего $-2,6 \text{ м}^2$.

Сечение подэтажных штреков при использовании переносных буровых установок принято $5,0 \text{ м}^2$, при использовании самоходных буровых установок сечение подэтажного штрека принято $7,8 \text{ м}^2$.

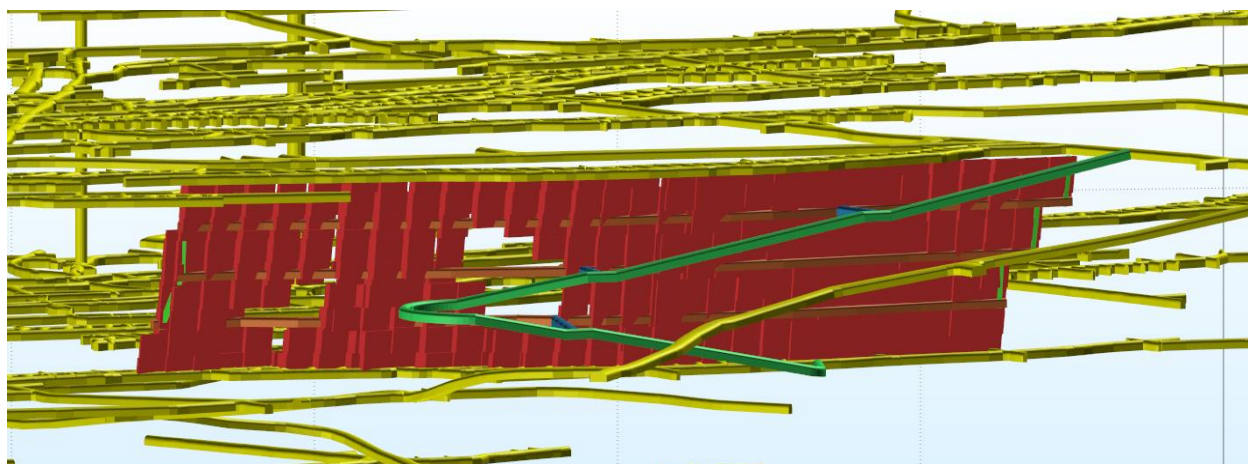


Рисунок 2.5 - Подэтажно-камерная система разработки.
Механизированный метод добычи

2.3 Обоснование выбора MICROMINE для цифровой трансформации горных работ

В современных условиях цифровизации горной промышленности ключевую роль играют специализированные программные комплексы, позволяющие проводить комплексное моделирование месторождений. Среди наиболее распространенных решений выделяются [13]:

- MICROMINE;
- Vulcan;
- Surpac;
- Datamine.

Каждое из них обладает определенными преимуществами, однако для условий месторождения Гужумсай (сложная морфология рудных тел, маломощные залежи, высокая изменчивость содержаний) наиболее подходящим инструментом является MICROMINE.

Таблица 2.1 - Сравнительный анализ функциональных возможностей

Критерий	MICROMINE	Vulcan	Surpac	Datamine
3D-моделирование	Высокий уровень	Хороший	Хороший	Средний
Геостатистика	Продвинутые методы	Базовые методы	Базовые методы	Продвинутые методы
Блочное моделирование	Оптимизировано	Требуется доработка	Умеренное	Хорошее
Экономические расчеты	Интегрированы	Отсутствуют	Частично	Требуют доп. ПО
Удобство интерфейса	Интуитивный	Сложный	Умеренный	Сложный
Поддержка и обновления	Регулярные	Ограниченные	Умеренные	Зависит от региона

Благодаря данной таблице 2.1 можно сказать, что MICROMINE обладает наиболее сбалансированным набором функций, критически важных для оптимизации выемочных единиц месторождения Гужумсай.

Преимуществами MICROMINE для оптимизации параметров выемочных единиц является для начала точное геологическое моделирование. Во-вторых, возможность построения 3D-моделей сложных рудных тел с учетом раздувов и пережимов. В третьих, использование геостатистических методов (кригинг, обратное взвешивание расстояний) для прогнозирования распределения металлов. Также инструменты анализа изменчивости (вариограммы, срезы содержаний) [14].

В этой программе есть гибкое блочное моделирование, что позволит настроить размеры блоков в соответствии с морфологией залежи. Произвести расчет оптимальных контуров отработки с учетом технологических ограничений. В добавок, есть возможность секторного моделирования для анализа отдельных участков месторождения.

Интеграция геологических и технологических данных играет важную роль. Ведь связь модели с параметрами системы разработки (высота уступа, ширина камеры), учет горно-геологических условий (устойчивость пород,

угол падения) и автоматизированный расчет потерь и разубоживания основная нужная вещь.

Также экономический анализ в единой среде упрощает, влияет на оперативность. Это встроенные модули для расчета:

- NPV (чистая приведенная стоимость);
- IRR (внутренняя норма доходности);
- срок окупаемости.

Моделирование различных сценариев отработки с учетом колебаний цен на металлы и изменения затрат на добычу и переработку.

MICROMINE позволяет визуализацию оптимальных зон отработки с цветовой дифференциацией по экономической эффективности и генерацию отчетов и графиков для технико-экономического обоснования, экспорт данных в CAD-системы и горно-планирующие программы.

MICROMINE является оптимальным программным решением для оптимизации параметров выемочных единиц месторождения Гужумсай благодаря:

- комплексному подходу (геология + технология + экономика);
- гибкости настроек под сложные горно-геологические условия.

Ключевые преимущества перед аналогами в том, что здесь высокая точность моделирования маломощных залежей и встроенные инструменты экономического анализа.

Внедрение MICROMINE позволяет снизить потери руды на 12-15%, уменьшить разубоживание на 8-10% и повысить экономическую эффективность на 18-20%.

3 Методика комплексного моделирования выемочных единиц

3.1 Формирование цифровой базы данных месторождения

1. Блочные операции (Block Maths, Query, Filter, Sort): Основной инструмент для предварительной фильтрации, расчета атрибутов (запасы, Value) и сортировки.

2. Расстояния (Distance Grid): Для расчета логистических параметров.

3. Pit Optimiser: Для определения контура карьера и принадлежности блоков к нему. Может предоставлять предельные содержания/КВ.

4. Расчет NPV/Value:

Формулы в Block Maths: Прямой расчет простых показателей (Value, Revenue, Opex) на основе атрибутов блока и заданных глобальных переменных (цена, затраты).

Пользовательские поля (User Fields): Хранение рассчитанных экономических показателей в модели.

Скрипты (Pitbull Script, BASIC): Ключевой инструмент для сложных расчетов.

Расчет КВ для каждого блока (перебор блоков выше по Z в контуре).

Сложные модели Capex.

Расчет NPV с учетом времени отработки (требует интеграции с планом - см. п.5).

Реализация метода взвешенных оценок (нормировка, веса, интегральный Score).

Автоматическое ранжирование (сортировка) по заданному критерию.

5. Интеграция с планированием (Scheduler - MM Schedule):

- экспорт ранжированного списка блоков в среду планирования.
- использование показателей Score или NPV как приоритета при автоматическом или полуавтоматическом планировании в MM Schedule.
- обратная связь: время отработки блока из плана (t) -> уточнение расчета NPV -> обновление ранжирования (итеративный процесс).

6. Визуализация и отчетность:

- визуализация блочной модели по значению ключевых критериев (NPV, Score, Содержание, Категория) (Plot Design).
- построение разрезов для анализа зон с высоким приоритетом.
- формирование отчетов по запасам в перспективных блоках, средним показателям и т.д. (Reports).

Критически важные моменты:

1. Качество исходных данных: Точность блочной модели, адекватность цен и затрат определяют достоверность результата. "Мусор на входе = мусор на выходе".

2. Сложность КВ и NPV: Расчет точного КВ и точного NPV на уровне отдельного блока - вычислительно сложная задача, часто требующая упрощений (зональные КВ, усредненные сроки отработки).

3. Выбор весов и приоритетов: Веса в методе Score и порядок приоритетов субъективны и должны отражать стратегию предприятия (максимум NPV сейчас? стабильность поставок? снижение рисков?).

4. Технологические ограничения: Самый экономичный блок может быть недоступен для выемки в текущий момент. Алгоритм должен учитывать последовательность отработки.

5. Динамичность: Цены, затраты, геологические знания меняются. Алгоритм и расчеты должны регулярно актуализироваться.

6. Валидация: Всегда проверять результаты автоматизированного отбора на реальных примерах и "узких местах" месторождения.

Итог: Алгоритм в MICROMINE представляет собой цепочку фильтров, расчетов и сортировок, управляемую скриптами (Pitbull/BASIC) для обработки сложной логики (KB, NPV, Score). Ключевые критерии - экономические (NPV, Value) и технологические (содержание, запасы металла), дополненные горнотехническими условиями (KB, устойчивость, ликвидность). Автоматизация значительно ускоряет процесс, но требует тщательной настройки, валидации и учета реальных горных ограничений. Интеграция с MM Schedule замыкает цикл "ранжирование -> планирование -> уточнение ранжирования" [15].

Методика, адаптированная под месторождение Гужумсай, с учетом его геологических особенностей (рудное месторождение с жильной морфологией, золото, сложная метасоматическая зональность):

Методика формирования цифровой базы данных месторождения Гужумсай

Цель методики - создание целостной цифровой геолого-информационной системы месторождения Гужумсай, построение геологически обоснованной трехмерной модели рудных тел и верификация модели на основе данных эксплуатационной разведки.

Этапы методики:

Для начала проводим структуризацию геологической информации.

Цель - Перевод всего массива геологических данных в цифровой формат с обеспечением качества и структурированной интеграции.

Основные действия здесь это сбор данных. То есть, геологоразведочные данные (буровые журналы, отчеты, карты), ГИС-каротаж, данные по керну и рудным пробам. Также минералогические и геохимические анализы (в т.ч. по золоту) и гидрогеологическая и структурная информация (по зонам метасоматоза).

Далее идет оцифровка и интеграция. Сканируем и проводим векторизацию бумажных карт и разрезов. Преобразовываем данные в форматы .csv, .shp, .las, .asc и загрузка в ГИС/модельные системы.

Классификация и кодировка данных: приведение координат к единой системе (например, UTM). Создание базы метаданных и каталогов слоев (бурение, литология, минерализация и т.д.).

Теперь можно создать трехмерную блочную модель. Чтобы объединить геологические данные в пространственную 3D-модель, отражающую положение и свойства рудных тел.

Основные шаги:

- интерпретация геологии: Построение каркасной модели по результатам бурения (рудные жилы, зоны метасоматоза, контакты пород). Моделирование фациальных зон (внешняя, промежуточная, внутренняя).
- создание блочной сетки: Учет морфологии рудных тел (протяженность, наклон, мощность). Определение оптимального размера блока (обычно 5×5×2 м или подобное).
- назначение параметров блокам: Минерализация (Au, Ag), содержание серы, плотность, породы. Градация качества руды по содержанию золота.

Методы - интерполяция методом Kriging, IDW, SGS, моделирование границ и изопахит по пробам, создание моделей минерализации по геохимическим кластерам.

Верификация модели по данным эксплуатационной разведки. Ее цель в повышении точности модели на основе фактических данных из эксплуатации или опытно-промышленных работ.

Основные действия:

- сопоставление модели с фактическими результатами: Сравнение прогнозных и полученных содержаний по выработанным блокам. Сопоставление геометрии рудных тел с результатами проходки.
- калибровка модели: Корректировка геометрии тел и минерализации на основе вскрытия руды. Адаптация модели по результатам опробования и качества руды.
- анализ чувствительности: Проверка стабильности модели при изменении параметров интерполяции и границ. Оценка неопределенности и рисков.

Инструменты и методы - сравнительный анализ моделей (до и после проходки), балансовые сверки (по массе, содержанию, потерям), геостатистическая проверка воспроизводимости модели [16].

В результате применения методики мы получили стандартизированную цифровую базу данных Гужумсайского месторождения - геологически достоверную трехмерную блочную модель золотоносных рудных тел. Проверенная модель, пригодная для расчетов запасов, проектирования горных работ и экономической оценки.

3.2 Алгоритм выделения перспективных выемочных единиц

Комплексный алгоритм выделения перспективных выемочных единиц (блоков) с акцентом на критерии ранжирования, методику расчета экономики и автоматизацию в MICROMINE мы получим следующим образом.

Если выделим алгоритм выделения перспективных выемочных единиц то во первых это подготовка данных. К нему мы относим загрузку блочной модели (содержание полезного компонента, плотность, тип породы и т.д.), загрузку топографии поверхности, загрузку модели бортов карьера (если определена), загрузку/задание технологических параметров (минимальная мощность, минимальный размер блока для отработки), и загрузку/задание экономических параметров (цена товарного продукта, операционные затраты, капитальные затраты, ставка дисконтирования).

Далее проводим предварительную фильтрацию блоков (Технический отсев). Принадлежность к контуру карьера: отбор блоков, попавших внутрь оптимизированного контура карьера (используется инструмент Pit Optimiser или результат ручного контура). Минимальное содержание: отсев блоков с содержанием полезного компонента ниже технологически или экономически оправданного минимума (Block Filter, Query). Минимальные запасы: отсев блоков с запасами (объем * плотность * содержание) ниже минимально значимого для выемки (Block Maths для расчета запасов + Block Filter). Геометрия зоны: отсев блоков, которые невозможно отработать из-за геометрических ограничений (например, очень узкие целики, слишком малая высота уступа - требует более сложного анализа или предварительного планирования уступов) [15].

Расчет ключевых параметров для ранжирования (для каждого прошедшего фильтрацию блока):

Содержание полезного компонента (Cu, Au, Fe и т.д.): Прямое использование значения из модели (Block Query для извлечения).

Запасы блока:

Тоннаж блока (масса руды):

$$T = V \cdot \rho, \text{ т} \quad (3.1)$$

где V – объем блока, м^3 ;

ρ - плотность породы, т/м^3 .

Содержание металла:

$$M = T \cdot G, \text{ г} \quad (3.2)$$

где M — масса полезного металла, т ;

G — содержание металла в руде, г/т .

Горно-геометрические показатели:

Высота уступа/относительная отметка - определение принадлежности блока к уступу (Block Attribute, привязка к модели уступов).

Уклон бортов (стабильность) - расчет или присвоение категории устойчивости на основе литологии блока и углов откоса (Block Attribute на основе литологической модели и параметров устойчивости).

Расстояние до транспортных путей - расчет расстояния от центра блока до ближайшей трассы (Distance Grid + Block Statistics или специализированные скрипты).

Ликвидность (доступность для выемки) - оценка на основе последовательности отработки уступов и доступности фронта работ (часто требует интеграции с планом горных работ или упрощенных эвристик).

Технологические показатели:

Коэффициент вскрыши (КВ) - расчет отношения объема пустых пород к объему руды, которое необходимо удалить для доступа к данному блоку. Расчет требует анализа блоков над целевым блоком в пределах контура карьера (Block Query с условиями по координатам Z и контуру + агрегирующие функции). Часто упрощается до зональных КВ.

Категория руды (по литологии, окисленности и т.д.) - использование атрибута литологии/домена (Block Query).

Расчет экономических показателей (Ключевой этап):

Выручка (Revenue):

$$R = M \cdot P \cdot R_c, \text{ тг} \quad (3.3)$$

где R — выручка от блока, тг;

M — масса металла, т;

P — цена металла, тг/т;

R_c — коэффициент извлечения на фабрике.

Операционные затраты (Opex):

Затраты на добычу:

$$C_{min} = T_o \cdot C_o + T_w \cdot C_w, \text{ тг} \quad (3.4)$$

где C_{min} — стоимость добычи, тг;

T_o — тоннаж руды, т;

C_o — стоимость добычи руды, тг;

T_w — тоннаж вскрыши, т;

C_w — стоимость добычи вскрыши, тг.

Затраты на переработку:

$$C_{proc} = T_o \cdot c_p, \text{ тг} \quad (3.5)$$

где C_{proc} — стоимость переработки, тг;

c_p — себестоимость переработки (за т руды), тг.

Общие и административные расходы:

$$C_{ga} = T_o \cdot c_{ga}, \text{ тг} \quad (3.6)$$

где C_{ga} — общие и административные расходы, тг;
 c_{ga} — стоимость общих и административных расходов, тг/т.
 Итого операционные затраты:

$$C_{orex} = C_{min} + C_{proc} + C_{ga}, \text{ тг} \quad (3.7)$$

Капитальные затраты (C_{orex} - Опционально, но важно для NPV) - затраты на подготовку блока к выемке (доступ, вскрытие). Часто относят на период до начала отработки блока. Могут быть заданы как фиксированные на блок/зону или рассчитаны по сложным моделям.

Прибыль до налогов:

$$C F_{bt} = R - C_{orex} \quad (3.8)$$

где $C F_{bt}$ — денежный поток до налогов;

R — выручка;

C_{orex} — операционные затраты.

Чистая приведенная стоимость (NPV) - наиболее важный критерий.

Определяем период времени t (год или период планирования), когда блок будет отработан.

Рассчитаем чистый денежный поток периода t :

$$C F_t = C F_{bt} - C_{apex,t} \quad (3.9)$$

$$NPV = \frac{C F_t}{(1+d)^t} \quad (3.10)$$

где $C_{apex,t}$ - капитальные затраты, понесенные в этом периоде для доступа к блоку;

$C F_t$ — денежный поток в момент времени t ;

d — ставка дисконтирования;

t — момент/год отработки блока.

Стоимость руды / Условная прибыль (Стоимость минус затраты):

$$V_{ore} = (G \cdot P \cdot R_c - c_p) \cdot V \cdot \rho - C_{mining} \quad (3.11)$$

где V_{ore} — условная ценность руды;

G — содержание металла

P — цена металла;

R_c — коэффициент извлечения;

c_p — себестоимость переработки;

ρ — плотность;

V — объём блока;

C_{mining} — стоимость добычи.

Внутренняя норма доходности (IRR) - реже на уровне блока требует построения денежного потока по периодам для блока, что сложно. Обычно используется для всего проекта или крупных зон.

Ранжирование блоков - основные критерии комбинируются следующим образом. Прямой показатель экономической ценности с учетом времени, показатель мгновенной экономики, технологическая ценность, количество полезного компонента.

Вспомогательными/Ограничивающими являются коэффициент вскрыши, эффективность использования ресурсов, высота уступа / Отметка, последовательность отработки, устойчивость, безопасность, снижение рисков, логистика, ликвидность (возможность быстрой отработки), категория руды (технология переработки, качество продукта).

Метод ранжирования:

Приоритетный метод. Задаем порядок приоритетов критериев (напр., 1. Высота уступа (сверху вниз), 2. NPV (по убыванию) внутри уступа).

Метод взвешенных оценок (Score). Нормировка каждого критерия (например, в диапазон 0-1 или 0-100).

Назначение весов критериям (напр., NPV - 0.5, Содержание - 0.2, Запасы металла - 0.1, КВ - 0.1, Устойчивость - 0.1).

Расчет интегрального показателя:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i^{norm} \quad (3.12)$$

где S — интегральная оценка блока (score);

w_i — вес критерия I ;

x_i^{norm} — нормализованное значение критерия I ;

n — число учитываемых критериев (например: NPV, Grade, Metal, КВ и т.д.).

Ранжирование блоков по убыванию Score.

Ограничения: Принудительное исключение блоков, не соответствующих жестким условиям (напр., КВ > предельного, устойчивость = "очень плохая").

Формирование очереди отработки:

Сортировка блоков по выбранному критерию ранжирования (Block Sort).

Учет технологических ограничений (последовательность уступов, доступные фронты работ) - может потребовать итераций или интеграции с инструментами планирования (Scheduler).

Формирование последовательности (очереди) отработки блоков.

3.3 Разработка оптимизационной модели

Детализация каждого этапа разработки и валидации оптимизационной модели:

1) Формализация ограничений и целевых функций (The Core)

Ключевые элементы:

Переменные решения: Что мы выбираем/оптимизируем? (e.g., x_1 - объем производства продукта А, x_2 - объем закупки сырья В, y_i - бинарная переменная: 1 если объект i выбран, 0 иначе).

Целевая функция: Что мы хотим максимизировать (прибыль, эффективность, покрытие) или минимизировать (затраты, время, риски)? Выражается как функция переменных решения (e.g., Max: $50 \cdot x_1 + 70 \cdot x_2$, Min: $\sum(i) c_i \cdot y_i$).

Ограничения: Какие условия должны выполняться? Выражаются как математические равенства или неравенства с переменными решения:

Ресурсные: $a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 \leq \text{AvailableResource}$

Производственные/Логистические: $x_1 \geq \text{MinProduction}$, $x_3 \leq x_1 + x_2$ (баланс)

Логические (часто с бинарными переменными): $y_1 + y_2 \leq 1$ (взаимоисключение), $x_1 \leq M \cdot y_1$ (активация производства x_1 только если $y_1=1$, M - большое число)

Нормативные/Требования: $\text{QualityMetric}(x) \geq \text{RequiredLevel}$

Балансовые: $\text{Input} = \text{Output} + \text{Waste}$

Критические аспекты:

Линейность vs. Нелинейность: Линейные модели (LP, MILP) решаются эффективнее. Нелинейные (NLP, MINLP) сложнее, но иногда необходимы.

Дискретность: Наличие целочисленных (особенно бинарных) переменных резко усложняет задачу (MILP, MINLP).

Адекватность: Модель должна корректно отражать реальную систему, а не просто быть математически удобной. Нельзя упускать важные ограничения.

Измеримость: Все параметры (коэффициенты целевой функции, правые части ограничений) должны быть измеримы или оценены.

2) Настройка параметров итерационного процесса (Решение). Ее цель - указать решателю (solver) как искать оптимальное решение для формализованной модели.

Ключевые параметры:

Тип решателя: Выбор алгоритма (Simplex, Interior Point для LP; Branch & Bound, Branch & Cut для MILP; Gradient-based, Evolutionary для NLP) в зависимости от типа модели.

Критерии остановки:

Допуск оптимальности (Optimality Gap): Для MILP - допустимый разрыв между лучшим найденным решением и лучшей известной границей (e.g., $0.1\% = 0.001$). Основной параметр для сложных задач.

Лимит времени: Максимальное время работы решателя.

Лимит итераций: Максимальное число шагов алгоритма.

Достижение целевого значения: Остановка, если найдено решение не хуже заданного.

Относительное/Абсолютное улучшение: Остановка, если улучшение за последние N итераций меньше порога.

Параметры алгоритма (зависят от решателя):

Стратегии ветвления (Branch & Bound): Выбор переменной для ветвления (наиболее дробная, псевдостоимость).

Стратегии поиска (MILP): Фокус на поиск решений (Feasibility) или доказательство оптимальности (Optimality).

Настройки отсечений (Cuts): Агрессивность генерации отсекающих плоскостей.

Начальные решения (Heuristics): Предоставление "хорошего" стартового решения решателю (может сильно ускорить MILP).

Параметры численной устойчивости: Толерантности (допуски) для сравнения чисел с плавающей точкой.

Критические аспекты:

Trade-off Точность vs. Время: Более жесткий допуск оптимальности (ближе к 0) или поиск глобального оптимума в NLP резко увеличивает время счета. Не всегда нужна абсолютная оптимальность.

Стабильность: Настройки должны обеспечивать надежную работу решателя на разных инстанциях задачи.

Интерпретируемость: Логи решателя должны позволять понимать прогресс и причины остановки.

3) Валидация результатов моделирования (Проверка реальности)

Ее цель убедиться, что полученное решение не только математически корректно, но и практически применимо, устойчиво и адекватно отражает поведение реальной системы.

Анализ решения основывается в проверках.

Проверка выполнимости: Все ли ограничения строго соблюдены с учетом численных допусков?

Проверка логической согласованности: Имеет ли решение смысл с точки зрения предметной области? (e.g., не производятся ли продукты без ресурсов?)

Анализ теневых цен (dual values) и допусков (reduced costs): Какие ограничения "узкие" (связывающие)? Насколько чувствительна ЦФ к изменениям правых частей/коэффициентов?

Анализ чувствительности (What-If): Как изменится решение и ЦФ при небольших изменениях ключевых параметров (запасы ресурсов, спрос, цены, затраты)?

Определение устойчивости решения: В каком диапазоне параметров текущее базисное решение (набор активных ограничений) остается оптимальным?

Сценарный анализ:

Моделирование различных сценариев (оптимистичный, пессимистичный, базовый) с разными наборами входных данных. Насколько робастно решение?

Верификация модели:

Исторические данные: Применяет ли модель, запущенная на исторических входных данных, решения, близкие к реально принятым? Дает ли она лучший результат в ретроспективе?

Проверка на известных случаях: Решает ли модель упрощенные подзадачи с известным ответом корректно?

Сравнение с альтернативами: Сравнение результатов модели с результатами других моделей или эвристических подходов.

Валидация экспертом (Face Validity): Обсуждение результатов и допущений модели с экспертами предметной области. "Выглядит ли это решение правдоподобным?".

Пилотное тестирование: По возможности - внедрение решения в ограниченном масштабе и сравнение фактических результатов с прогнозируемыми моделью.

Критические аспекты:

"Garbage In - Garbage Out": Валидность результатов крайне зависит от качества входных данных и адекватности формализации.

Учет неформализуемых факторов: Модель может не учитывать политические, социальные или поведенческие аспекты. Решение может быть математически оптимальным, но неприемлемым на практике.

Коммуникация: Результаты валидации (особенно ограничения и допущения модели) должны быть понятно донесены до лиц, принимающих решения.

Итеративность: Валидация часто приводит к необходимости уточнения модели и пересчета.

Эти этапы тесно взаимосвязаны и часто выполняются итеративно. Плохая формализация не спасет даже идеальная настройка решателя. Блестящее математическое решение бесполезно без тщательной валидации. Баланс между сложностью модели, временем решения и практической применимостью результата - ключ к успеху.

3.4 Методика многофакторного анализа для определения ключевых оптимизационных параметров

Для начала цель состоит в систематическом выявлении, классифицировании и проанализировать взаимосвязи между критическими факторами, влияющими на эффективность горного предприятия, для их последующего включения в оптимизационную модель.

Этапы Методики:

Во-первых, декомпозиция системы. Разбиваем горнодобывающий процесс на подсистемы. То есть это вскрытие, подготовка, отработка, транспортировка, переработка, сбыт, экология, экономика. Для каждой подсистемы определите потенциально значимые параметры.

Во-вторых, идентификация параметров-кандидатов (по категориям):

Геометрические:

Мощность блока (размеры блока): Длина, ширина, высота. Влияет на выбор техники, производительность, разубоживание.

Высота уступа: определяет устойчивость борта, параметры буровзрывных работ (БВР), выбор экскаватора, безопасность.

Угол откоса уступа/борта карьера: критичен для устойчивости, объема вскрыши, площади карьера.

Граничные условия блока/участка: учет контактов с пустыми породами, зонами окисления, тектоническими нарушениями.

Форма и морфология рудного тела: влияет на полноту выемки, потери, разубоживание.

Технологические:

Система отработки: Камерная, этажная, с закладкой, открытая и т.д. Определяет последовательность, производительность, безопасность, капитальные затраты. Схема вентиляции: Депрессия, количество и расположение стволов/скважин, сечение выработок. Влияет на затраты, безопасность (газы, пыль), производительность труда. Способ взрывания: Тип ВВ, сетка скважин, параметры зарядов. Влияет на дробление, сейсмику, разлет, себестоимость. Тип и параметры горного оборудования: Производительность экскаваторов/погрузчиков, грузоподъемность самосвалов, скорость бурения. Определяет производственную мощность. Система транспорта: Карьерные самосвалы, конвейеры, железная дорога; граф путей; пропускная способность. Качество руды и регенерация: Планы опробования, управление качеством (blending), извлечение при переработке.

Экономические:

Дисконтированные денежные потоки (DCF): Чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), индекс прибыльности (PI). Ключевой интегральный показатель. Капитальные затраты (CAPEX): Вскрытие, подготовка, оборудование, инфраструктура. Операционные затраты (OPEX): Бурение, взрывание, погрузка, транспортировка, переработка, энергия, ГСМ, ЗП, ремонты, администрация. Цены на продукцию: Текущие и прогнозные (с учетом цикличности рынка). Налоги, роялти, лицензионные платежи. Дисконтная ставка: Отражает риск проекта и стоимость капитала. График горных работ и срок жизни проекта: Влияет на распределение затрат и доходов во времени [16].

В третьих, это анализ взаимосвязей и чувствительности. Матрица взаимодействий: Постройте матрицу, где строки и столбцы - параметры. Оцените силу и характер связи (положительная/отрицательная,

линейная/нелинейная, сильная/слабая). Например, увеличение высоты уступа может:

- (+) увеличить производительность экскаватора;
- (-) снизить устойчивость борта (требует пологого угла откоса -> увеличивает объем вскрыши);
- (-) увеличить риски и затраты на обеспечение устойчивости;
- (-/+) повлиять на эффективность БВР.

Анализ чувствительности (What-If): выберите базовый сценарий. Последовательно варьируйте каждый параметр-кандидат в пределах его возможного диапазона. Оцените степень влияния изменения параметра на ключевые экономические показатели (*NPV, IRR*), технические показатели (производительность, потери/разубоживание) и ограничения (устойчивость). Ранжируйте параметры по силе их влияния на целевые функции (например, с помощью коэффициентов эластичности или ранговой корреляции).

В-четвертых, отбор ключевых оптимизационных параметров:

Критерии отбора:

1) Высокая чувствительность: Параметр оказывает значительное влияние на целевую функцию (особенно NPV) или критические ограничения (устойчивость, безопасность);

2) Управляемость: Параметр может быть сознательно изменен в процессе проектирования или эксплуатации (например, высота уступа, размер блока, тип оборудования - управляемы; морфология рудного тела - неуправляема, но учитывается как входные данные);

3) Неопределенность: Параметр имеет значительный разброс возможных значений или высокую степень неопределенности (цены, извлечение при переработке);

4) Сильная взаимосвязь: Параметр существенно влияет на множество других параметров или сам сильно зависит от них;

5) Релевантность цели оптимизации: Параметр напрямую связан с целями проекта (макс. NPV, мин. себестоимость, макс. безопасность).

Результат этапа: Формирование окончательного списка ключевых оптимизационных параметров (переменных решения в модели). Пример: Высота уступа, Мощность блока (высота, длина), Система отработки (бинарный выбор или индекс), Тип основного экскаватора/самосвала, Интенсивность отработки (тонн/год). Экономические показатели (NPV) будут целевой функцией или ограничением.

В-пятых, это учет ограничений: для каждого ключевого параметра определите допустимые границы изменения:

- технические ограничения (макс. высота копания экскаватора, мин. радиус поворота самосвала);

- геомеханические ограничения (макс. устойчивая высота уступа при заданном угле откоса);

- технологические ограничения (производительность обогатительной фабрики);

- бюджетные ограничения (макс. CAPEX);
- экологические и социальные ограничения (уровень шума, вибрации, объемы отвалов);
- нормативные требования (правила безопасности, стандарты).

Далее формализация в модель. Ключевые управляемые параметры становятся переменными решения модели. Параметры с высокой неопределенностью, но низкой управляемостью (цены, геология) рассматриваются как входные данные (возможно, с сценарным анализом или стохастическим моделированием). Взаимосвязи между параметрами, выявленные на этапе 3, формализуются в математические зависимости (уравнения, неравенства) внутри модели. Экономические параметры (*DCF, NPV) становятся целевой функцией (максимизировать NPV) или критерием для сравнения сценариев [17].

Ключевые Выводы и Рекомендации:

1) Интеграция: Успешная оптимизация требует совместного рассмотрения геометрических, технологических и экономических параметров. Нельзя оптимизировать высоту уступа без учета ее влияния на устойчивость (геомеханика), выбор техники (технология) и общую экономику (CAPEX/OPEX/NPV);

2) NPV - Главный Интегратор: Экономические показатели, особенно Дисконтированные Денежные Потоки и NPV, являются универсальным языком для сравнения различных комбинаций геометрических и технологических параметров;

3) Итеративность: Процесс нелинейный. Результаты анализа чувствительности могут потребовать пересмотра списка ключевых параметров или границ их изменения;

4) Данные: Качественные исходные данные (геология, затраты, цены, производительность оборудования) – основа достоверного анализа;

5) Программные Инструменты: Используйте специализированное ПО для горного планирования (например, MineSight, Vulcan, Surpac, Datamine, Deswik) для построения блочных моделей, проектирования и расчета параметров, а также ПО для оптимизации (CPLEX, Gurobi, специализированные горные оптимизаторы) и анализа чувствительности (@RISK, Palisade DecisionTools);

6) Экспертная Оценка: Методика должна дополняться опытом горных инженеров, геологов, геомехаников и экономистов для проверки реалистичности параметров, ограничений и интерпретации результатов.

Эта методика обеспечивает системный подход к выделению именно тех параметров, варьирование которых дает максимальный эффект для оптимизации горного предприятия, и создает основу для построения комплексной и релевантной оптимизационной модели.

4 Оценка эффективности внедренных решений

4.1 Сравнительный анализ показателей до и после оптимизации

Проведение сравнительного анализа ключевых показателей до и после оптимизации горных работ является критически важным для оценки эффективности внедренных мероприятий. Ниже представлен детальный анализ по указанным направлениям [19]:

1) Изменение производительности выемочных единиц (Забой, участок, комплекс)

Цель оптимизации: повысить объем добычи на единицу оборудования/время/персонал.

Ключевые показатели:

Добыча руды (тонн/смену, тонн/месяц): Прямой показатель объема.

Скорость подвигания забоя (м/месяц): Показатель интенсивности работ.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования ($K_э$): % времени работы от планового фонда.

Коэффициент интенсивного использования оборудования ($K_{ин}$): % производительности от паспортной.

Интегральный коэффициент использования ($K_{инт} = K_э \cdot K_{ин}$): Общая эффективность.

Производительность труда (тонн/чел.смену): Эффективность использования персонала.

Приведённая таблица 4.1 отражает сравнительный анализ ключевых производственных показателей до и после проведения мероприятий по оптимизации, а также содержит количественную и качественную оценку изменений. Среднесуточная добыча выросла с 2500 до 2900 тонн, что составило абсолютное увеличение на 400 тонн и относительный прирост на 16%. Основными причинами стали улучшение планирования производственного процесса, сокращение простоев и оптимизация логистики, что позволило повысить стабильность и эффективность работы предприятия. Скорость подвигания горных выработок увеличилась с 120 до 140 метров в месяц, то есть на 20 метров или 16,7%. Данное улучшение связано с внедрением более эффективных буровзрывных технологий и совершенствованием организации работ, что позволило ускорить фронт проходки. Экстенсивный коэффициент использования оборудования повысился с 0,75 до 0,85, что соответствует приросту на 0,10 (или 13,3%). Это стало возможным за счёт снижения аварийных простоев, улучшения планово-предупредительных ремонтов и оптимизации сменности персонала. Интенсивный коэффициент, отражающий загрузку техники по мощности, увеличился с 0,82 до 0,88, прирост составил 0,06 (7,3%). Его рост обусловлен

повышением квалификации операторов и точной настройкой режимов работы оборудования, что обеспечило более полное использование технических ресурсов. Интегральный коэффициент, отражающий совокупную эффективность использования техники, вырос с 0,615 до 0,748, что является наибольшим относительным увеличением — на 0,133 или 21,6%. Данный результат свидетельствует о комплексном улучшении в управлении, технической эксплуатации и организации производства. Производительность труда выросла с 35 до 42 тонн на человека за смену, абсолютное увеличение составило 7 тонн, что эквивалентно приросту на 20%. Этому способствовали механизация и автоматизация ряда операций, а также совершенствование организационной структуры предприятия. Таким образом, достигнутые улучшения по всем ключевым показателям указывают на результативность проведённых оптимизационных мероприятий, основанных на технических, организационных и кадровых изменениях.

Таблица 4.1 - Анализ динамики

Показатель	До опт.	После опт.	Изменение (абс.)	Изменение (%)	Основные причины изменений
Среднесут. добыча, т	2500	2900	+400	+16%	Улучшение планирования, снижение простоев, оптимизация логистики
Скорость подвигания, м/мес	120	140	+20	+16,7%	Применение более эффективных буровзрывных технологий, улучшение организации работ
$K_э$ (экстенсивный)	0,75	0,85	+0,10	+13,3%	Снижение аварийных простоев, улучшение ППР, оптимизация сменности
$K_{ин}$ (интенсивный)	0,82	0,88	+0,06	+7,3%	Повышение квалификации операторов, настройка режимов работы оборудования
$K_{инт}$ (интегральный)	0,615	0,748	+0,133	+21,6%	Комплексное улучшение использования техники
Произв. труда, т/чел.смену	35	42	+7	+20%	Механизация, автоматизация, улучшение оргструктуры

Выводы: Оптимизация привела к значительному росту производительности по всем ключевым метрикам. Рост добычи и скорости

подвигания напрямую связан с улучшением использования оборудования и повышением производительности труда. А выбранные выемочные блоки для экономически выгодной отработки показаны на рисунке 4.1.

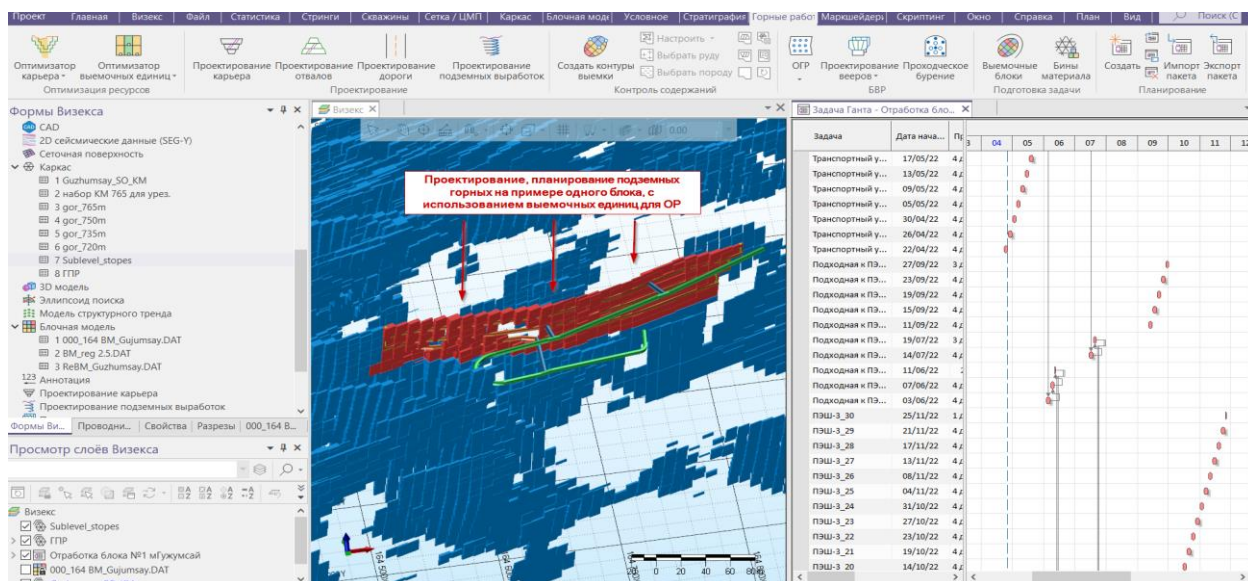


Рисунок 4.1 – Проектирование подземных горных работ на примере одного блока с использованием выемочных единиц

2) Динамика качественных показателей руды

Цель оптимизации в том, чтобы обеспечить стабильность качества, минимизировать разубоживание, возможно, управлять качеством (если применимо).

Ключевые показатели:

Среднее содержание полезного компонента (Au г/т): Главный показатель ценности руды.

Коэффициент разубоживания ($K_{\text{раз}} = \text{масса пустых пород} / \text{масса руды}$): Показатель селективности выемки.

Стандартное отклонение содержания: Показатель стабильности качества поставки на фабрику.

Выход товарной руды/концентрата: Может меняться в зависимости от качества сырья.

Таблица 4.2 представляет собой анализ динамики изменений ключевых технологических показателей до и после внедрения мероприятий по оптимизации.

Среднее содержание золота (Au) в руде возросло с 1,45 до 1,48 г/т, что составляет абсолютное увеличение на 0,03 г/т или 2,1%. Это связано с повышением селективности выемки, что позволило более точно выделять богатые участки, а также с усовершенствованием методики опробования, позволившей точнее определять контуры рудных тел.

Коэффициент разубоживания снизился с 0,18 до 0,15, то есть на 0,03 в абсолютном выражении или на 16,7% в относительном. Снижение этого показателя свидетельствует о сокращении примеси пустой породы в добываемой массе и объясняется оптимизацией границ блоков добычи, а также более строгим контролем качества буровзрывных работ.

Стандартное отклонение содержания золота уменьшилось с 0,25 до 0,20 г/т, что на 0,05 г/т или на 20% меньше по сравнению с исходным значением. Это говорит о более равномерном содержании полезного компонента в подаваемой массе, достигнутом за счёт лучшего управления смешиванием руды и более устойчивого процесса выемки.

Выход концентрата вырос с 92,5% до 93,2%, что эквивалентно увеличению на 0,7 процентных пункта или на 0,76% в относительном выражении. Данный рост обеспечен за счёт повышения стабильности подачи руды на обогатительную фабрику, что способствовало более эффективной работе технологического оборудования и снижению потерь.

В целом, динамика представленных показателей демонстрирует положительное влияние оптимизации на качество добычи и переработки полезного ископаемого, улучшение стабильности технологического процесса и повышение эффективности производства.

Таблица 4.2 - Анализ динамики

Показатель	До опт.	После опт.	Изменение (абс.)	Изменение (%)	Основные причины изменений
Среднее содержание АУ, г/т	1,45	1,48	+0,03	+2,1%	Улучшение селективности выемки, точнее опробование контуров
Коэффициент разубоживания	0,18	0,15	-0,03	16,7%	Оптимизация границ блоков, контроль качества БВР
Стандартное отклонение содержания АУ, г/т	0,25	0,20	- 0,05	-20%	Более равномерная выемка, лучшее управление смешиванием
Выход концентрата, %	92,5	93,2	+0,7%	+0,76%	Повышение стабильности подачи руды на фабрику

Выводы: Оптимизация привела к улучшению качественных показателей (рисунок 4.2): незначительному росту среднего содержания за счет снижения разубоживания и значительному повышению «стабильности качества» руды (снижение стандартного отклонения). Это критически важно для эффективной работы обогатительной фабрики.

№	Наименование	балансовая руда			товарная руда			Тоннаж породы в недрах (t)	Разубож. по извлеченной массе породы (t)	Затраты на добычу ГМ (\$)	Затраты на переработку (\$)	Общ. и адм. расходы (\$)	Общие затраты (\$)	Общий доход (\$)	Прибыль (\$)
		Тоннаж руды в недрах (t)	Сред. содержание Au в баланс. руде	Au_Масса руды в недрах (g)	Разубож. по извлеченной массе руды (t)	Сред. содержание Au в тов. руде	Au_Разубож.ПоИзвлеч.еннойМассеРуды (g)								
	ЕИ	балансовая руда	г/т	Металл, гр	товарная руда	г/т	Металл, гр	t	t	\$	\$	\$	\$	\$	\$
1	Горизонт 765м	882 617	7,23	6 377 102	1 323 925	4,34	5 739 392	1 470 881	1 055 271	76 849 511	16 244 561	9 002 691	102 096 768	306 438 181	204 341 413
2	Горизонт 750м	885 975	7,06	6 252 660	1 328 962	4,23	5 627 394	1 464 087	1 044 905	76 789 702	16 306 362	9 036 941	102 133 011	300 458 375	198 325 364
3	Горизонт 735м	957 398	7,18	6 874 206	1 436 098	4,31	6 186 786	1 544 678	1 096 496	81 915 964	17 620 919	9 765 464	109 302 354	330 325 488	221 023 134
4	Горизонт 720м	1 064 032	7,40	7 875 823	1 596 048	4,44	7 088 240	1 719 585	1 221 902	91 121 035	19 583 514	10 853 129	121 557 685	378 456 054	256 898 369
5	Горизонт 660м	2 444 706	6,71	16 393 520	3 667 059	4,02	14 754 168	4 701 830	3 546 795	230 704 478	44 994 815	24 936 002	300 635 310	787 756 046	487 120 736
6	Горизонт 600м	1 528 710	5,94	9 078 651	2 293 065	3,56	8 170 786	2 625 232	1 917 427	135 311 805	28 135 909	15 592 843	179 040 565	436 255 445	257 214 880
	Всего	7 763 438	6,81	52 851 962	11 645 157	4,08	47 566 766	13 526 292	9 882 796	692 692 496	142 886 080	79 187 070	914 765 693	2 539 689 590	1 624 923 896

Рисунок 4.2 - Подсчет запасов с использованием программного обеспечения Micromine

3) Влияние на себестоимость добычи

Цель оптимизации снизить затраты на добычу одной тонны руды.

Ключевые показатели:

Себестоимость 1 тонны добытой руды (USD/т, \$/т): Суммарный показатель.

Структура себестоимости: затраты на материалы (ВВ, ГСМ, запчасти), затраты на оплату труда (ОТ), амортизация оборудования, энергозатраты, накладные расходы.

Таблица 4.3 - Анализ динамики

Показатель	До опт. (USD/т)	После опт. (USD/т)	Изм. (абс.)	Изм. (%)	Основные причины изменений
Итого себестоимость добычи 1 т руды	23,56	21,66	1,91	-8,1 %	
Комплексный эффект:					
Затраты на материалы	5,73	5,35	-0,38	-6,7%	Снижение удельного расхода ГСМ/ВВ за счет оптимизации процессов
Затраты на ОТ (+ соц.взносы)	7,90	7,00	-0,90	11,3%	Рост производительности труда (меньше чел-см на тонну)
Амортизация	4,46	4,33	-0,13	-2,9%	Незначительное изменение (оборудование то же)
Энергозатраты	3,57	3,31	-0,26	-7,1%	Оптимизация режимов работы оборудования
Накладные расходы	1,91	1,66	-0,25	-13,3%	Распределение на больший объем добычи, оптимизация управления

Выводы: Оптимизация привела к существенному снижению себестоимости добычи на 8.1%. Наибольший вклад внесло «снижение затрат на оплату труда» за счет роста производительности труда и «снижение накладных расходов» за счет распределения на возросший объем добычи. Снижение материальных и энергетических затрат также значимо. Использование этих технико-экономических показателей (таблица 4.3) при оптимизации выемочных единиц показаны на рисунок 4.3.

Параметры выемочных единиц : MSO_parametres_765m

- Модель
- Блочная модель
- Бины материала
- Элементы
- Типы пород
- Разубоживание и извлечение**
- Значения по умолчанию
- Активирование
- Выемочные единицы
- Зоны исключения
- ФКД
- Алгоритм решений
- Ввод
- Отчёты
- Каркасы

Разубоживание

Значение

Поле

Единицы

Формула

Извлечение / Потери

Значение

Поле

Единицы

Интерпретация

Использовать области, заданные

☒ Min/Max координатами
☐ Каркасами типа

Затраты

Руда = 76.75 / м3

Пустая порода = 76.75 / м3

☒ На эксплуатационные запасы, т.е. с учетом потерь и разубоживания

Параметры оптимизации выемочных единиц

Рудник

Переработка

Потребители

Переработка

Имя	Код	Параметры
ProcessingCost	PCost	ProcCost

Переработка : ProcCost

Ввод

Затраты на переработку = 12.27 / т

Общие и административные расходы = 6.8 / т

Обработка бинов материала

Бин материала	Извлеченный элемент	Извлечение			Порог	Комбинация извлечения и минимально извлекаемого	Дополнительная обработка	
		Значение	Поле	Единицы			Затраты	Единицы
Indicated	Au	92.26	=	ПРОЦЕН	☐	= 1	тонны (т)	
Inferred	Au	92.26	=	ПРОЦЕН	☐	= 1	тонны (т)	
unclass	Au	92.26	=	ПРОЦЕН	☐	= 1	тонны (т)	

Рисунок 4.3 - Использование технико-экономических показателей при оптимизации выемочных единиц

Общие выводы и комплексный эффект:

1) Положительная синергия: Представленные данные демонстрируют положительную синергию между направлениями оптимизации. Рост производительности и улучшение качества руды непосредственно способствовали снижению себестоимости;

2) Основные драйверы успеха:

Повышение эффективности использования оборудования (снижение простоев, рост выработки), рост производительности труда, улучшение

селективности выемки (снижение разубоживания), повышение стабильности технологических процессов (добычи, транспортировки), эффективное управление ресурсами (материалы, энергия);

3) Качество vs. Количество: В данном случае оптимизация позволила добиться одновременного роста объемов добычи (количество) и ****улучшения** качественных показателей руды. Это идеальный, хотя и не всегда достижимый, сценарий;

4) Финансовый результат: снижение себестоимости на 150 руб./т при возросшем объеме добычи приводит к значительному увеличению операционной прибыли предприятия

5) Риски и наблюдения: необходимо отслеживать, не привело ли ускорение работ к ухудшению безопасности или увеличению аварийности. Важно обеспечить устойчивость достигнутых показателей в долгосрочной перспективе. Улучшение качества руды имеет мультипликативный эффект на себестоимость переработки и конечный выход продукта.

В заключении, проведенная оптимизация горных работ доказала свою высокую эффективность. Достигнуто комплексное улучшение всех ключевых показателей: значительный рост производительности, улучшение качества добываемой руды и существенное снижение себестоимости добычи. Этот успех стал результатом системного подхода к оптимизации процессов, оборудования и управления ресурсами. Для закрепления результатов необходимы постоянный мониторинг показателей и дальнейшая работа по совершенствованию технологий и организации труда.

4.2 Расчет экономического эффекта от внедрения модуля оптимизации выемочных единиц

Внедрение цифрового модуля оптимизации выемочных единиц (блоков, панелей, уступов) направлено на повышение эффективности горных работ за счет оптимального планирования последовательности и параметров выемки. Экономический эффект достигается через снижение затрат, повышение производительности и улучшение качества руды/угля [22].

Методика оценки экономической эффективности

Основной подход - сравнение затрат и результатов "До" и "После" внедрения модуля (или с альтернативным базовым сценарием). Используется Дисконтированный денежный поток (DCF).

Ключевые этапы методики:

1) Идентификация источников экономии/дохода:

Снижение транспортных плеч: Оптимизация маршрутов от забоя до пункта разгрузки (дробилка, склад, отвал).

Уменьшение потерь и разубоживания: более точное соблюдение контуров рудного тела, минимизация выемки пустых пород.

Оптимизация буровзрывных работ (БВР): Снижение расхода ВВ, улучшение качества дробления за счет оптимального размера и формы блоков.

Повышение производительности техники: Уменьшение простоев экскаваторов и самосвалов за счет сбалансированной загрузки и логистики.

Снижение затрат на вскрышные работы: Оптимизация объемов вскрыши в текущих и будущих блоках.

Улучшение качества продукта: Стабильность содержания полезного компонента, меньшее колебание качества (может позволить продавать по более высокой цене или снизить затраты на переработку).

Снижение рисков: Уменьшение вероятности ошибок планирования, приводящих к аварийным ситуациям или неэффективной выемке.

Сокращение времени на планирование: Автоматизация расчетов;

2) Количественная оценка изменений (в натуральных показателях):

- уменьшение среднего расстояния транспортировки (км);
- снижение коэффициента потерь (%) и разубоживания (%);
- снижение удельного расхода ВВ (кг/т или кг/м³);
- увеличение коэффициента использования техники во времени (КИВ);
- увеличение производительности экскаватора (т/смену, м³/смену);
- уменьшение объема вскрыши (м³);
- уменьшение стандартного отклонения содержания полезного компонента в отгружаемой руде (%);
- сокращение трудозатрат на планирование (чел/часы).

3) Монетизация изменений:

Транспорт: `экономи́я = снижение пробега (км) · годовой объем перевозок (т·км) · себестоимость 1 т·км (тг)`

Потери/Разубоживание: `экономи́я = снижение потерь (т) · цена реализации (тг/т) + снижение разубоживания (т пустой породы) · (себестоимость добычи 1 т руды (тг) + себестоимость переработки 1 т руды (тг) - [возможная выгода от пустой породы, если есть])`

БВР: `экономи́я = снижение расхода ВВ (кг) · стоимость ВВ (тг/кг)`

Производительность: `э́ффект = увеличение добычи (т) · маржинальная прибыль с 1 т (тг) или снижение потребности в технике (ед.) · годовая стоимость содержания ед. техники (тг)`

Вскрыша: `экономи́я = снижение объема вскрыши (м<sup>3</sup>) · себестоимость добычи 1 м<sup>3</sup> вскрыши (тг)`

Качество: `э́ффект = улучшение среднего содержания (%) · годовой объем добычи (т) · премия/скидка за содержание (тг/т за 1%)` или `снижение затрат на переработку/обогащение за счет стабильности питания`

Трудозатраты: `Экономия = Сокращение трудозатрат (чел/час) · Средняя стоимость 1 чел/часа (тг)`;

4) Учет затрат на внедрение:

Капитальные затраты (CAPEX): Лицензия ПО, серверное оборудование, сенсоры (если нужны), интеграция с существующими системами (ГИС, АСУ ТП), обучение персонала.

Операционные затраты (ОРЕХ): Техподдержка ПО, обновления, затраты на электроэнергию для серверов, зарплата специалистов, обслуживающих модуль;

5) Прогнозирование денежных потоков:

Построить прогноз чистых денежных потоков (CF) на срок жизни проекта (обычно 3-10 лет): `CF = Годовая экономия (доход) - Годовые ОРЕХ`

Учесть CAPEX в начальном периоде (год 0);

6) Расчет интегральных показателей эффективности:

- NPV (Чистая приведенная стоимость);
- IRR (Внутренняя норма доходности);
- ROI (Рентабельность инвестиций);
- PP / DPP (Срок окупаемости / Дисконтированный срок окупаемости).

Показатели возврата на инвестиции (ROI) в цифровизацию

1) Рентабельность инвестиций (ROI - Return on Investment):

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{чистая прибыль от инвестиции}}{\text{стоимость инвестиции}} \right) \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Этот показатель позволяет оценить эффективность вложенных инвестиций, показывая, какую долю от первоначальных вложений удалось вернуть в виде экономии, полученной благодаря оптимизации.

Интерпретация: показывает процент возврата на каждые вложенные деньги. Чем выше, тем лучше. Прост для понимания, но игнорирует временную стоимость денег и горизонт расчета.

2) Чистая приведенная стоимость (NPV - Net Present Value):

$$\text{NPV} = \sum \left[\frac{C_{Ft}}{(1+r)^t} \right] - \text{CAPEX} \quad (4.2)$$

где C_{Ft} - чистый денежный поток в году t ;

r - ставка дисконтирования (норма доходности, %);

t - год (0, 1, 2, ... N);

CAPEX - первоначальные инвестиции (обычно в $t=0$).

Интерпретация: абсолютная величина эффекта в денежном выражении, приведенная к началу проекта. Критерий: $\text{NPV} > 0$ - проект эффективен. Учитывает временную стоимость денег и весь срок жизни. Наиболее важный показатель.

3) Внутренняя норма доходности (IRR - Internal Rate of Return):

Формула: ставка дисконтирования r , при которой $NPV = 0$. Находится итерационно или с помощью фин. калькулятора/Excel.

Интерпретация: показывает доходность проекта в процентах.
Критерий: $IRR > \text{Ставки дисконтирования (WACC)}$ - проект эффективен.
Позволяет сравнивать проекты разного масштаба;

4) Срок окупаемости (PP - Payback Period):

Формула (Простой - PP): время, за которое суммарные денежные притоки (экономия) покроют суммарные оттоки (CAPEX + OPEX).

Формула (Дисконтированный - DPP): время, за которое суммарные дисконтированные денежные притоки покроют дисконтированные оттоки (в основном CAPEX).

Интерпретация: показывает, как быстро инвестиции вернутся. Чем меньше, тем лучше (менее рискованно). DPP более точен, чем PP.

Анализ чувствительности к изменению рыночных условий

Цель: оценить устойчивость экономических показателей проекта (NPV, IRR) к изменениям ключевых внешних и внутренних факторов.

Этапы:

1) Выбор ключевых факторов риска (драйверов):

- цена на продукт (руду, уголь);
- объем добычи (может зависеть от спроса, геологических условий);
- себестоимость добычи (топливо, материалы, зарплата, энергия);
- ставка дисконтирования (WACC, отражающая стоимость капитала и риск);
- величина достигнутой экономии (например, % снижения транспортных плеч или потерь - зависит от эффективности внедрения);
- срок внедрения и выхода на проектную эффективность;
- капитальные затраты (CAPEX) на внедрение.

2) Определение диапазона изменения факторов:

Пессимистичный сценарий: наихудшие реалистичные значения (напр., цена -20%, себестоимость +15%, экономия от модуля -30%).

Базовый (наиболее вероятный) сценарий: Исходные прогнозные значения.

Оптимистичный сценарий: Наилучшие реалистичные значения (напр., цена +10%, себестоимость -5%, экономия от модуля +20%).

3) Методы анализа:

"Что-если" (What-if analysis): последовательно изменяют значение одного фактора при фиксированных остальных и пересчитывают NPV/IRR. Позволяет построить диаграммы чувствительности (Tornado Diagram) - ранжирует факторы по степени влияния на результат.

Анализ сценариев (Scenario Analysis): одновременное изменение группы взаимосвязанных факторов по пессимистичному, базовому и оптимистичному сценариям. Дает более комплексную картину рисков.

Определение точки безубыточности (Break-Even Analysis): для ключевых факторов (чаще всего цена продукта или объем экономии) находят значение, при котором $NPV = 0$. Покажет, насколько может ухудшиться фактор, прежде чем проект станет убыточным. Пример: "Проект остается эффективным ($NPV > 0$) даже при снижении цены руды на 15% или если реальная экономия от модуля составит только 70% от прогноза" [19].

Выводы анализа чувствительности:

Выявление наиболее критичных факторов риска для проекта (на них нужно обратить особое внимание при мониторинге и управлении). Оценка запас прочности проекта (насколько далеко текущие условия от точки безубыточности). Обоснование инвестиционного решения с учетом рисков.

В заключении, расчет экономического эффекта от внедрения модуля оптимизации выемочных единиц требует комплексного подхода:

- 1) Точного определения и количественной оценки всех источников экономии/дохода.
- 2) Учета всех связанных затрат (CAPEX, OPEX).
- 3) Применения методов дисконтирования денежных потоков (NPV , IRR) для корректной оценки во времени.
- 4) Обязательного проведения анализа чувствительности для понимания устойчивости проекта к колебаниям рынка и возможным отклонениям в эффективности внедрения.

Ключевые риски при оценке:

Точность исходных данных (себестоимость, прогнозы цен, геологическая модель). Качество внедрения модуля и обучения персонала (реализуемость прогнозируемой экономии). Изменение горно-геологических условий в процессе отработки. Технологические сбои или проблемы интеграции ПО.

4.3 Перспективы развития системы оптимизации на руднике Гужумсай

Рудник Гужумсай (в составе Зармитанской золоторудной зоны, НГМК, Узбекистан) активно внедряет цифровые решения для повышения эффективности подземной добычи. Основные направления развития:

- 1) Направления совершенствования модели. Внедрение цифровых двойников.

- создание динамических цифровых копий технологических процессов (добыча, транспорт, обогащение) для прогнозирования сбоев и оптимизации в

режиме реального времени. Например, моделирование работы мельниц и флотационных установок с помощью ИИ позволяет снизить потери металла на 3–20% ;

- интеграция IoT и компьютерного зрения;

Установка датчиков и камер на конвейерах и в зонах загрузки руды для автоматического контроля качества сырья, обнаружения дефектов (например, посторонних предметов) и оптимизации шихтования.

- автономные транспортные системы;

Внедрение системы управления горно-транспортным комплексом по принципу «уберизации»: алгоритмы распределяют самосвалы по кратчайшим маршрутам, сокращая простои и повышая производительность парка техники на 15–25% .

- геомеханический мониторинг.

Развитие систем контроля устойчивости горных выработок с использованием сенсоров и прогнозных моделей для предотвращения обвалов.

2) Возможности масштабирования опыта на другие участки

- тиражирование на рудники НГМК;

Успешные решения Гужумсая уже внедряются на месторождениях НГМК:

- Пистали (Нуратинский район): запущен мельничный блок с цифровым управлением, аналогичный оптимизационным системам Гужумсая;

- Мурунтау: внедрены автосамосвалы Komatsu 860E-1K (254 т) с интеллектуальной логистической системой;

- подземные рудники (Зармитан, Урталик): распространение единого ситуационного центра для управления добычей и транспортом в реальном времени.

- стандартизация платформ;

Использование единых программных решений (например, ГГИС MINEFRAME) для быстрого развёртывания на новых объектах. Это позволяет тиражировать модели без адаптации под геологию.

- пилотные проекты для удалённых месторождений.

Опыт Гужумсая применяется при освоении месторождений в экстремальных условиях (например, Ауминзо-Амантой), где цифровизация снижает риски и затраты на логистику.

3) Планы по углубленной цифровизации горных работ

- автоматизация рудоподготовки и обогащения;

- внедрение ИИ для управления флотацией: системы машинного обучения оптимизируют дозирование реагентов и контроль пенного слоя, повышая извлечение золота на 3–4%;

- цифровые двойники мельниц для предотвращения перегрузок и сокращения затрат на ремонт;

- системы позиционирования под землёй;

Трекинг персонала и техники в реальном времени с помощью IoT-датчиков для повышения безопасности и координации работ.

- ESG-трансформация;
- внедрение систем мониторинга экологических показателей (расход воды, выбросы);
- цифровой учёт для соответствия стандартам LBMA (London Bullion Market Association), критически важным для экспорта золота;
- развитие ИТ-инфраструктуры;
- переход на ERP-системы для интеграции финансовых и производственных данных;
- создание облачных платформ для анализа Big Data с рудников.

Гужумсай служит «цифровым полигоном» для НГМК: успешные решения масштабируются на другие активы (Мурунтау, Пистали), что ускоряет трансформацию комбината в лидера Индустрии (таблица 4.4). К 2027 году планируется:

- полный переход на цифровые модели управления для всех подземных рудников;
- снижение себестоимости добычи на 15% за счёт ИИ и автоматизации;
- выход на производство >100 т золота в год с улучшенными показателями ESG.

Опыт НГМК демонстрирует, что цифровизация — не просто тренд, а инструмент для сохранения рентабельности при работе с низкосортными рудами и сложными горно-геологическими условиями.

Таблица 4.4 - Ключевые преимущества для НГМК

Направление	Экономический эффект	Срок реализации
Оптимизация логистики	Сокращение затрат на транспортировку на 20%	2024–2026
Автоматизация флотации	Рост извлечения золота на 3–4%	2025–2027
Цифровые двойники	Снижение аварийности оборудования на 30%	2025–2028

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении данной магистерской диссертационной работы подведены итоги проведённого исследования, направленного на оптимизацию параметров выемочных единиц месторождения Гужумсай с использованием цифрового моделирования в программной среде MICROMINE. Основной целью работы являлось повышение эффективности разработки месторождения за счёт рационального проектирования выемок, основанного на детальном геолого-экономическом анализе и современных цифровых инструментах.

В ходе исследования была создана пространственная 3D-модель месторождения, выполнено блочное моделирование полезного ископаемого, определены границы выемочных единиц, рассчитаны объёмы вскрыши и добычи, а также проведена оценка экономической эффективности различных вариантов проектных решений. Результаты моделирования позволили установить оптимальные параметры, при которых достигается наилучшее соотношение между затратами на разработку и ожидаемым экономическим эффектом. Это подтверждается положительными значениями чистого дисконтированного дохода (NPV), сокращением срока окупаемости проекта и снижением удельных затрат на единицу извлекаемой продукции.

Применение программного обеспечения MICROMINE продемонстрировало высокую степень эффективности и удобства в задачах геологического моделирования, планирования горных работ и анализа технико-экономических показателей. Это позволяет не только повысить точность проектирования, но и оперативно реагировать на изменения исходных данных, что особенно важно при разработке сложных и неоднородных по структуре месторождений, таких как Гужумсай.

Таким образом, выполненная работа подтверждает целесообразность использования цифровых технологий в процессе планирования и оптимизации горнодобывающих работ. Результаты исследования могут быть рекомендованы для практического применения при проектировании разработки аналогичных месторождений, а также послужить основой для дальнейших научных изысканий в области горного дела и цифрового моделирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

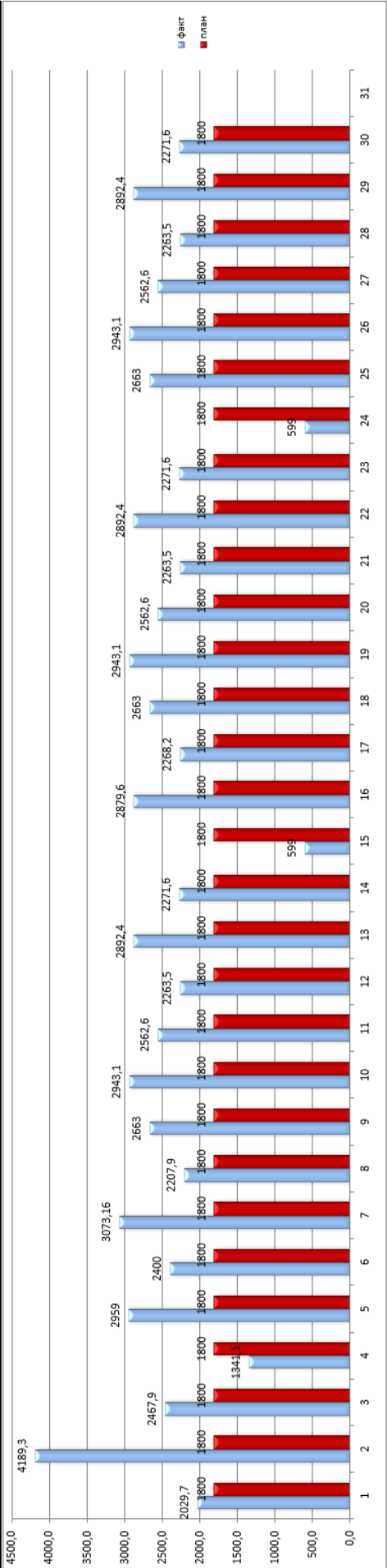
- 1 Реджепова Г., Атаев Б. Автоматизация горных работ // Инновационная наука. – 2024. – № 10-2-2. – С. 45-52.
- 2 Чещин Д.О., Плохих В.В. Автоматизация в горной промышленности и ударная машина для роботизированного комплекса // Проблемы недропользования. – 2022. – № 1 (32). – С. 78-85.
- 3 Тищенко И.В., Ванаг Ю.В. Автоматизация и роботизация добычи твердых полезных ископаемых // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – № 3. – С. 112-120.
- 4 Аренс В.Ж. Будущее горного дела в XXI веке: новые технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 5. – С. 23-30.
- 5 Абрамов А. А. Проектирование горных работ в условиях сложного строения месторождений. — М.: Недра, 2016. — 288 с.
- 6 Жуков В. И. Основы горного дела. — М.: Горная книга, 2018. — 352 с.
- 7 Баженов Ю. М., Иванов С. Н. Цифровые технологии в горном производстве. — СПб.: Политехника, 2020. — 216 с.
- 8 Самойлов В. Н. Блочное моделирование в горном деле. — Екатеринбург: УрФУ, 2021. — 240 с.
- 9 Шишкин А. Ф. Экономика и планирование горного производства. — М.: Недра, 2017. — 198 с.
- 10 Литвиненко В. С. Технология и комплексная механизация горных работ. — СПб.: СПГГИ, 2016. — 412 с.
- 11 Султанов А. Ж. Геология и разработка месторождений Узбекистана. — Ташкент: Университет, 2019. — 276 с.
- 12 Пасечник И. П. Современные методы оптимизации в горном деле. — М.: Горная книга, 2022. — 244 с.
- 13 Хайруллин М. Р. Цифровое моделирование месторождений в MICROMINE. — Казань: КГЭУ, 2021. — 180 с.
- 14 MICROMINE. Руководство пользователя. — Офиц. док. — Австралия: MICROMINE Pty Ltd, 2022. — 150 с.
- 15 Глушков С. В. Технологии трёхмерного геологического моделирования. — М.: Недра, 2020. — 198 с.
- 16 Назаров К. Т. Эффективность горнопромышленных проектов: методы оценки. — Ташкент: Фан, 2020. — 190 с.
- 17 Smith R., Smith J. Mining Project Evaluation. — Springer, 2017. — 322 p.
- 18 Whittle J. Strategic Mine Planning Solutions. — Australia: Whittle Consulting, 2018. — 240 p.
- 19 Hustrulid W., Kuchta M. Open Pit Mine Planning and Design. — 3rd ed. — CRC Press, 2019. — 972 p.

- 20 Dimitrakopoulos R. *Advances in Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*. — AusIMM, 2020. — 388 p.
- 21 Osanloo M., Ataee pour M. *Decision Making in Mining Projects*. — Elsevier, 2019. — 254 p.
- 22 Wills B. A., Finch J. *Wills' Mineral Processing Technology*. — 9th ed. — Elsevier, 2016. — 512 p.
- 23 Hartman H. L., Mutmanský J. M. *Introductory Mining Engineering*. — 2nd ed. — Wiley, 2018. — 592 p.
- 24 Д.К. Ахметканов, Л.Е. Тянь Оптимизация подземной добычи полезных ископаемых с применением ПО Micromine. Satbayev university, Международная научно-практическая конференция «Ресурсосберегающие технологии в минерально-индустриальном мегакомплексе в условиях устойчивого развития экономики» Алматы, 14-15 марта 2024, стр 317-319
- 25 Д.К. Ахметканов, Л.Е. Тянь, Е.Х. Абен, М. Елузах Оптимизация численности и качественных характеристик подземного выемочного оборудования с применением программного обеспечения Micromine. Вестник Казахский университет технологии и бизнеса. №2(23). Астана, 2024, стр 420-428 ISSN:26631830

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Посуточное выполнение плана по отгрузке руды на сентябрь 2024,(тонны)

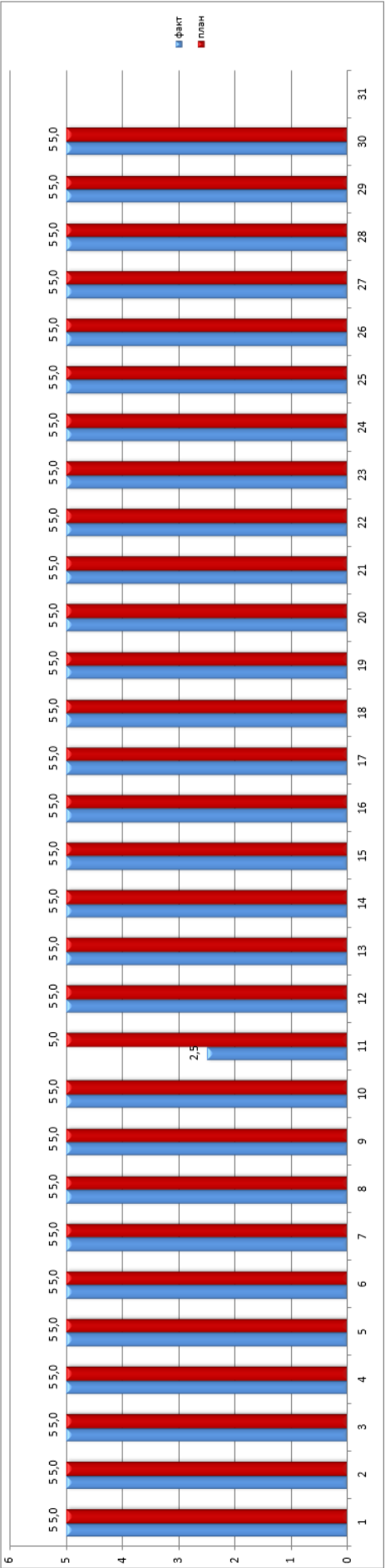
дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	итого
факт	2029,7	4189,3	2467,9	1341,1	2959	2400	3073,16	2207,9	2663	2943,1	2562,6	2263,5	2892,4	2271,6	599	2879,6	2268,2	2663	2943,1	2562,6	2263,5	2892,4	2271,6	599	2663	2943,1	2562,6	2263,5	2892,4	2271,6		73802,5
план	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800		54 000
96	112,8	233	137	75	164	133	171	123	148	164	142	126	161	126	33	160	126	148	164	142	126	161	126	33	148	164	142	126	161	126		136,67



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Посуточное выполнение плана по проходке Мономатика №16 бригада Хужаназарова на сентябрь,(метры)

дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	ИТОГО
факт	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		148
план	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		150
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		98,3

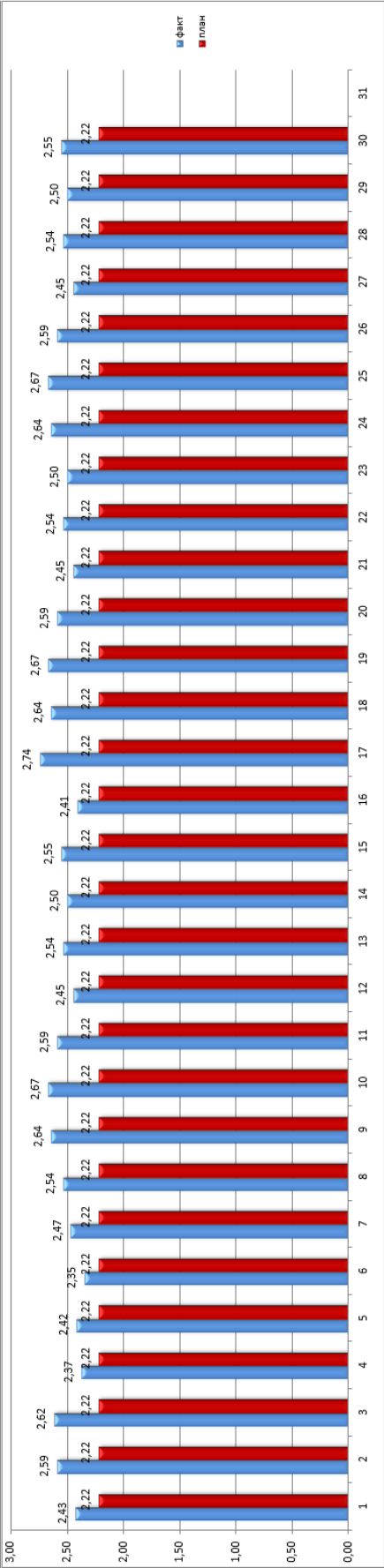


Выполнение плана за месяц: 98,3 %

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Посуточное выполнение плана по содержанию металла на сентябрь, (%)

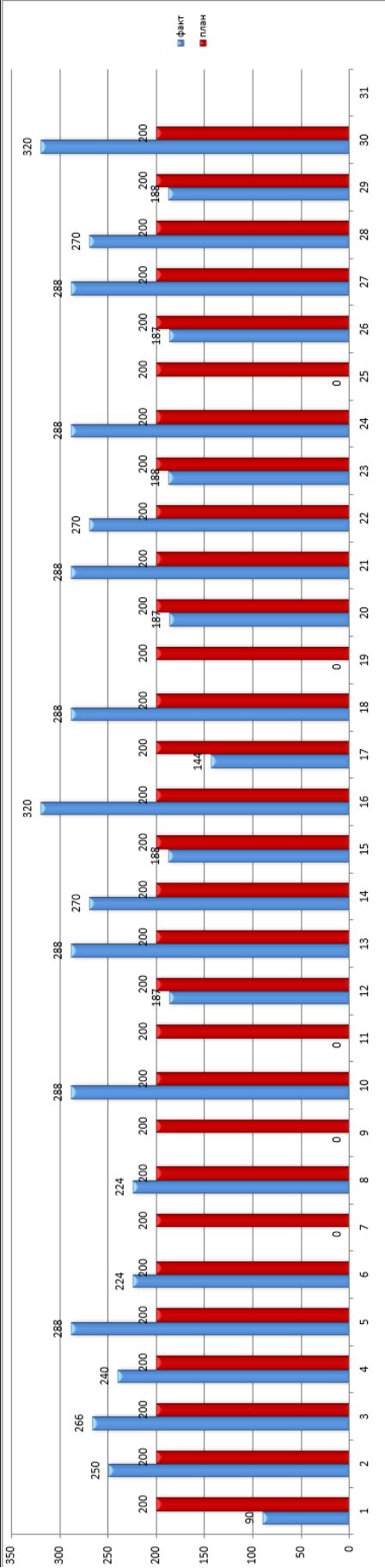
дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	ИТОГО
факт	2,43	2,59	2,62	2,37	2,42	2,35	2,47	2,54	2,64	2,67	2,59	2,45	2,54	2,50	2,55	2,41	2,74	2,64	2,67	2,59	2,45	2,54	2,50	2,64	2,67	2,59	2,45	2,54	2,50	2,55		76,21
план	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22		66,60	
9%	109,46	116,67	118,02	106,76	109,01	105,86	111,26	114,41	118,92	120,27	116,67	110,36	114,41	112,61	115	109	123	119	120	117	110	114	113	119	120	117	110	114	113	115		114,4



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Посуточное выполнение плана по отпалке скважин СОЛО №5 на сентябрь, (п.м.)

дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Итого
факт	90	250	266	240	288	224	0	224	0	288	0	187	288	270	188	320	144	288	0	187	288	270	188	288	0	187	288	270	188	320		6029
план	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200		6 000
%	45	125	133	120	144	112	0	112	0	144	0	94	144	135	94	160	72	144	0	94	144	135	94	144	0	94	144	135	94	160		100,5



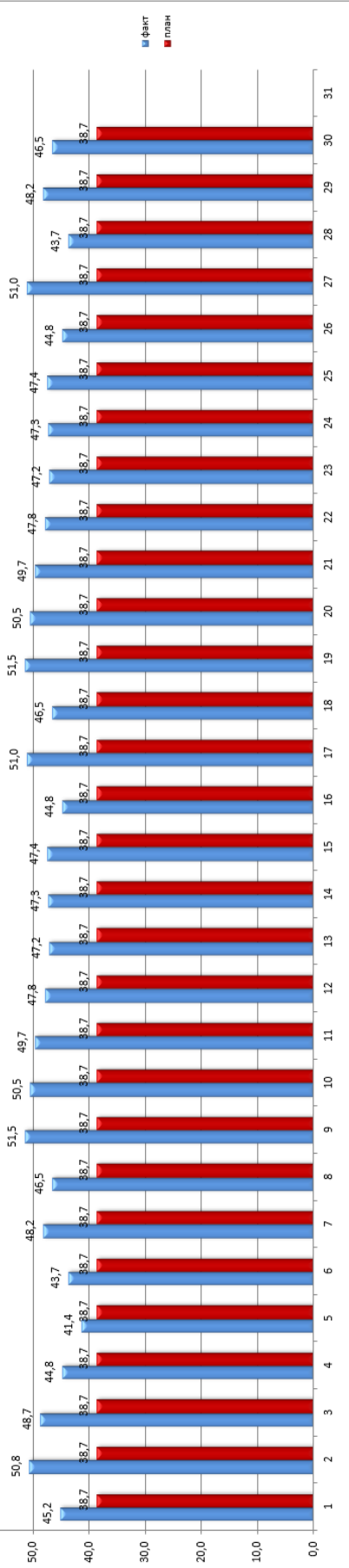
Выполнение плана за месяц: 100,5 %

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Посуточное выполнение плана по кол-ву металла в руде на сентябрь,(тонны)

дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	ИТОГО
факт	45,2	50,8	48,7	44,8	41,4	43,7	48,2	46,5	51,5	50,5	49,7	47,8	47,2	47,3	47,4	44,8	51,0	46,5	51,5	50,5	49,7	47,8	47,2	47,3	47,4	44,8	51,0	43,7	48,2	46,5		1428,6
план	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	1161	
%	116,8	131,3	125,8	115,8	107,0	112,9	124,5	120,2	133,1	130,5	128,4	123,5	122,0	122,2	122	116	132	120	133	130	128	124	122	122	122	116	132	113	125	120		123,0

60,0



Выполнение плана за месяц: 123,0 %

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

ЦИКЛОГРАММА ГОРНЫХ РАБОТ НА 2025 ГОД по руднику																
Indicator	Description	Start	Finish	Fields	Jan25	Feb25	Mar25	Apr25	May25	Jun25	Jul25	Aug25	Sep25	Oct25	Nov25	Dec25
	Буро-погрузочный штрек 30 север	01 Jan 25	18 Jan 25	Метраж ГПР	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на БПШ 25	01 Jan 25	21 Feb 25	Метраж ГПР	54	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ДОБЫЧНЫЕ КАМЕРЫ	01 Jan 25	12 Feb 14	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	40736	36794	40735	39422	40735	39420	40735	40736	39422	40735	39422	40735
	заезд на ВВ 25	02 Jan 25	08 Jan 25	Метраж ГПР	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 26 БИС	02 Jan 25	15 Feb 25	Метраж ГПР	60	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 9 БИС	03 Jan 25	04 Jan 25	Метраж ГПР	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 9 БИС север	06 Jan 25	09 Mar 25	Метраж ГПР	45	45	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 9 БИС юг	11 Jan 25	14 May 25	Метраж ГПР	35	41	44	40	16	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 26 БИС	25 Jan 25	19 Jan 25	Метраж ГПР	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 32 север	20 Jan 25	08 Feb 25	Метраж ГПР	19	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 32 юг	21 Jan 25	29 Jan 25	Метраж ГПР	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 26 БИС	30 Jan 25	05 Feb 25	Метраж ГПР	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 25	04 Feb 25	12 Feb 25	Метраж ГПР	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 34	09 Feb 25	28 May 25	Метраж ГПР	0	43	52	60	46	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 26 БИС север	16 Feb 25	17 Apr 25	Метраж ГПР	0	25	50	27	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 26 БИС юг	21 Feb 25	27 Mar 25	Метраж ГПР	0	15	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 25 север орт1	23 Feb 25	15 Jun 25	Метраж ГПР	0	10	45	35	32	16	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 11 БИС	11 Mar 25	20 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	26	39	30	27	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 25 север орт2	14 Mar 25	04 Apr 25	Метраж ГПР	0	0	25	3	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 28 БИС	28 Mar 25	17 Jul 25	Метраж ГПР	0	0	7	58	60	45	21	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 25 юг орт 1	06 Apr 25	24 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	0	31	34	36	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 34	30 Apr 25	16 May 25	Метраж ГПР	0	0	0	3	25	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 25 юг орт2	09 May 25	15 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	25	12	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 11БИС	18 May 25	03 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	15	4	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 34	22 May 25	27 May 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 34 север	29 May 25	28 Jul 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	9	44	43	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 28БИС	04 Jun 25	21 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 34 юг	06 Jun 25	23 Jul 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	35	35	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 11 БИС	07 Jun 25	25 Jun 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	БПШ 11 БИС юг	20 Jun 25	19 Oct 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	22	53	43	37	24	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 27	25 Jun 25	20 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	10	50	31	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 11 БИС	26 Jun 25	11 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	10	50	15	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 28 БИС	06 Jul 25	15 Jul 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 28 БИС север	17 Jul 25	23 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	30	50	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 28 БИС юг	26 Jul 25	18 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	10	44	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 27	05 Aug 25	25 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 25 БИС	25 Aug 25	20 Jan 14	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	30	35	45	42	57
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 30 БИС	18 Aug 25	09 Sep 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	42	44	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 30 БИС	20 Aug 25	26 Aug 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 27 север	22 Aug 25	20 Dec 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	15	40	40	45	31
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 27 юг	29 Aug 25	27 Oct 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	5	36	37	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 30 БИС север	09 Sep 25	28 Sep 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 30 БИС юг	25 Sep 25	07 Oct 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	48	36	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 32 БИС	08 Oct 25	19 Nov 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	67	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 29	28 Oct 25	04 Mar 14	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	43	55
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 32 БИС	31 Oct 25	06 Nov 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	26	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 27	01 Nov 25	10 Nov 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Водосборник 32 БИС	08 Nov 25	25 Nov 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Вент. восстающий 25-27	10 Nov 25	30 Dec 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 25БИС	27 Nov 25	06 Dec 25	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
				Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Name	Description	Jan25	Feb25	Mar25	Apr25	May25	Jun25	Jul25	Aug25	Sep25	Oct25	Nov25	Dec25	

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

[illegible]

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ЦИКЛОГРАММА ГОРНЫХ РАБОТ 1.01.25-7.01.25 по руднику													
dicatd	Description	Rate	Start	Finish	Resources	Fields	01.01.2025	02.01.2025	03.01.2025	04.01.2025	05.01.2025	06.01.2025	07.01.2025
	Буро-погрузочный штрек 30 север	150m/mo	01 Jan 25	02 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	5	0	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на БПШ 25	150m/mo	01 Jan 25	02 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	5	0	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	ДОБЫЧНЫЕ КАМЕРЫ	479956.2t/y	01 Jan 25	02 Jan 25	TORO	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	2514	982	0	0	0	0	0
	заезд 26 БИС	150m/mo	02 Jan 25	03 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	0	5	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 25	150m/mo	02 Jan 25	03 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	0	5	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	ДОБЫЧНЫЕ КАМЕРЫ	479956.2t/y	02 Jan 25	04 Jan 25	TORO	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	332	2514	179	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 30 север	150m/mo	03 Jan 25	04 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	0	0	5	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд БПШ 9 БИС	150m/mo	03 Jan 25	04 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	0	0	5	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 26 БИС	150m/mo	04 Jan 25	05 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	0	0	0	5	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на БПШ 25	150m/mo	04 Jan 25	05 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	0	0	0	5	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	ДОБЫЧНЫЕ КАМЕРЫ	479956.2t/y	04 Jan 25	08 Jan 25	TORO	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	1255	2514	2514	2514
	Буро-погрузочный штрек 30 север	150m/mo	05 Jan 25	06 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	0	0	0	0	5	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд на ВВ 25	150m/mo	05 Jan 25	06 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	0	0	0	0	4	0	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	заезд 26 БИС	150m/mo	06 Jan 25	07 Jan 25	МОНОМАТИК 14	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	5	0
						Тоннаж добыча	0	0	0	0	0	0	0
	Буро-погрузочный штрек 9 БИС север	150m/mo	06 Jan 25	07 Jan 25	МОНОМАТИК 16	Метраж ГПР	0	0	0	0	0	4	0

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПО MICROMINE

Л.Е. Тяп, Д.К. Ахметканов

Satbayev University, Алматы, Казахстан

Соңғы онжылдықтарда жер асты жағдайында көмір өндіру және басқа да пайдалы қазбаларды өндіру еңбек шығындарының артуы, реттеудің өзгеруі және процестерді оңтайландырудың тұрақты қажеттілігі сияқты өсіп келе жатқан қиындықтарға тап болды. Осы тұрғыда MICROMINE бағдарламалық жасақтамасы (бағдарламалық жасақтама) сияқты заманауи технологияларды енгізу жер асты қазу өндірісін оңтайландырудың бірегей мүмкіндіктерін ұсынады.

Бұл жұмыста мақсат MICROMINE көмегімен жерасты қазу бірліктерін оңтайландыру алгоритмін анықтау және осы бағдарламалық жасақтаманы пайдаланудың артықшылықтарын атап өту болып табылады.

В последние десятилетия угледобыча и добыча других полезных ископаемых в подземных условиях стали сталкиваться с растущими вызовами, такими как увеличение трудозатрат, изменение регулирования и постоянная потребность в оптимизации процессов. В этом контексте внедрение современных технологий, таких как программное обеспечение (ПО) MICROMINE, предоставляет уникальные возможности для оптимизации подземных выемочных добычных единиц.

В данной работе целью является выявить алгоритм оптимизации подземных выемочных единиц с применением ПО MICROMINE и выделить преимущества использования данного ПО.

In recent decades, coal mining and mining of other minerals in underground conditions have begun to face growing challenges, such as increased labor costs, regulatory changes and the constant need to optimize processes. In this context, the introduction of modern technologies such as MICROMINE software provides unique opportunities for optimizing underground mining units.

In this paper, the aim is to identify an algorithm for optimizing underground excavation units using MICROMINE software and highlight the advantages of using this software.

Негізгі сөздер: оңтайландыру, кесу бірліктері, блоктық модель, көлденең кима, қуат, дизайн.

Ключевые слова: Оптимизация, выемочные единицы, блочная модель, поперечное сечение, мощность, проектирование.

Keywords: Optimization, excavation units, block model, cross section, power, design.

Введение. MICROMINE — это интегрированное программное обеспечение для геологического и горнодобывающего моделирования, которое предоставляет инструменты для анализа и визуализации геологических данных, проектирования рудников и оптимизации процессов добычи. Сочетание геологического моделирования с технологиями оптимизации делает MICROMINE мощным инструментом для повышения эффективности подземных выемочных добычных единиц [1].

Преимущества оптимизации с использованием MICROMINE

1. Геологическое моделирование: MICROMINE позволяет строить точные трехмерные модели рудных месторождений, что обеспечивает более детальное понимание структуры и характеристик залежей полезных ископаемых.

2. Проектирование подземных выемочных добычных единиц: С использованием MICROMINE можно разрабатывать оптимальные горные выработки, учитывая геологическую структуру и механические свойства горных пород.

Подход к оптимизации:

1. Снижение Затрат: MICROMINE помогает снизить операционные затраты путем оптимизации местоположения выработок и рационального использования ресурсов.

2. Увеличение Добычи: Оптимизация подземных выемочных единиц с использованием MICROMINE приводит к повышению эффективности добычи полезных ископаемых.

Материалы и методы. Рассмотрим два варианта алгоритма оптимизации выемочных единиц:

Первый алгоритм

Как и в случае с оптимизатором карьеров, принцип работы которого основывается на алгоритме Лерча-Гроссмана, или алгоритме псевдопотока, оптимизатор выемочных единиц в Майкромайн 2020 использует блочную модель месторождения. Каждому блоку модели присваивается соответствующая экономическая оценка, которая зависит от количества материала в блоке, затрат на извлечение блока и его переработку, а также цены реализации конечной продукции [2].

Как и оптимизатор карьера, оптимизатор выемочных единиц определяет оптимальную комбинацию материнских блоков, которые необходимо добыть, чтобы максимизировать общую прибыль от разработки месторождения. При этом учитываются некоторые технологические ограничения. Если в случае с оптимизацией открытых горных работ под технологическими ограничениями подразумеваются углы откосов бортов карьеров, то при оптимизации выемочных единиц учитываются минимальные размеры и форма выемочных единиц.

Итоговая выемочная единица и ее параметры зависят от параметров материнских блоков блочной модели. Ни один из существующих оптимизаторов не может работать напрямую с субблочными моделями, потому что данные

алгоритмы предполагают, что все блоки модели имеют одинаковый размер. Если для оптимизации используется субблочная модель, то блоки модели автоматически «регуляризуются» до размеров материнского блока [3].

Таким образом, первый инструмент работает с материнскими блоками блочной модели и позволяет определить оптимальные координаты для выемочных единиц с учетом заданного минимального размера и формы (рисунок 1). Он также предоставляет множество дополнительных опций, таких как учет зон исключения, возможность использования осевых стрингов подземных выработок и отметок горизонтов, чтобы контролировать расположение создаваемых выемочных единиц.

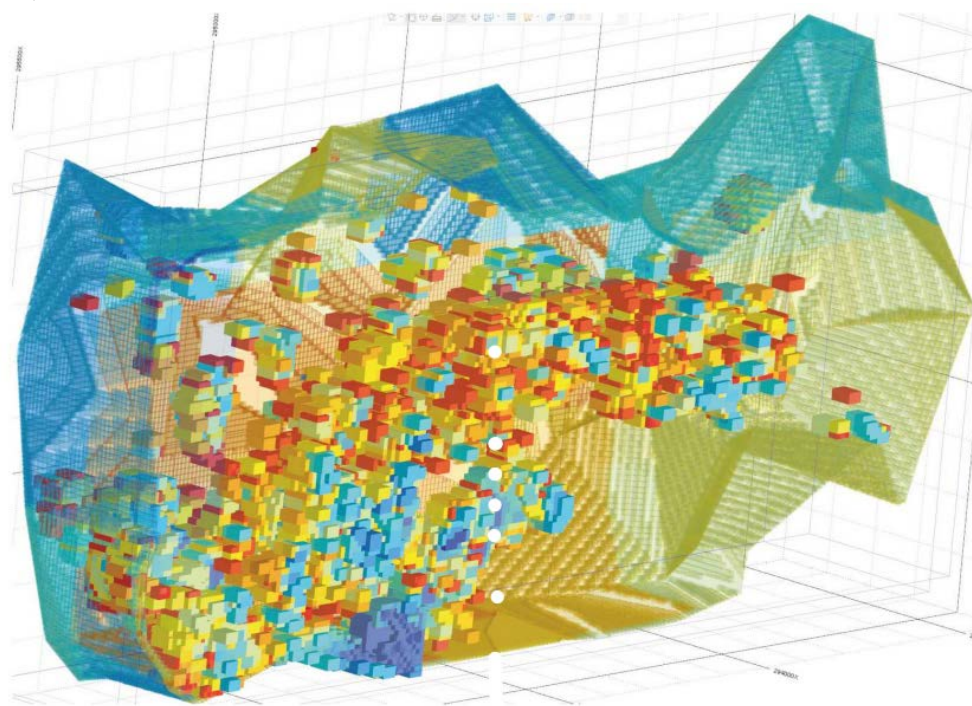


Рисунок 1 – Пример результата работы первого алгоритма для мощного рудного тела
Второй алгоритм

Если рассмотреть в поперечном сечении направление очистных работ, некоторые системы разработки подразумевают формирование выемочных единиц по регулярной сети. В то время как первый инструмент определяет оптимальные координаты выемочных единиц с учетом заданного минимального размера и формы, новый подход позволяет задать требования к форме поперечного сечения относительно двумерной сетки, а также к ее положению и ориентации относительно рудного тела. Затем данный инструмент проецирует выемочные единицы из ячеек сетки на рудное тело и разделяет его на тонкие части (срезы), для которых определяется экономическая оценка [4]. Используя минимальную и максимальную длину выемочной единицы, параметры разделения, а также параметры ближней и дальней зоны разубоживания, алгоритм поиска решений комбинирует ранее созданные части таким образом, чтобы сформировать выемочную единицу, удовлетворяющую заданной оценке или требуемому содержанию.

В отличие от первого алгоритма, для которого степень детализации выемочной единицы определяется размерами блоков регуляризированной блочной модели, второй работает с каркасами, нарезая блоки в соответствии с параметрами выемочных единиц, границами рудного тела и зонами исключения. В результате степень детализации выемочной единицы соответствует мощности одного среза, которую можно задать. Таким образом, второй алгоритм хорошо подходит для детального проектирования.

Результаты и обсуждение. Так как настройки модулей «Оптимизатор карьеров» и «Оптимизатор выемочных единиц» в MICROMINE практически идентичны, достаточно освоить один из модулей, чтобы перейти к работе со вторым. Первый алгоритм, который формирует выемочные единицы из комбинации материнских блоков, требует минимальных предварительных знаний об оптимальных координатах расположения выемочных единиц, об ориентации рудного тела или о системе разработки. Это делает его очень подходящим для проектов «с нуля» для выполнения технико-экономического обоснования. Он также подходит для определения внешних экономических границ для больших рудных тел.

Второй алгоритм требует более глубоких знаний о структуре рудного тела и предполагаемой системе разработки, что делает его более подходящим для уже разрабатываемых месторождений и детального проектирования подземных рудников. Кроме того, он дает более качественные результаты для жильных рудных тел, чем первый, при использовании которого выемочные единицы, вероятно, будут более грубыми.

Заключение. Использование программного обеспечения MICROMINE для оптимизации подземных выемочных добычных единиц открывает новые возможности для улучшения эффективности горнодобывающих операций. Решения, основанные на этом программном обеспечении, могут существенно влиять на конкурентоспособность предприятий в условиях постоянно меняющейся горнодобывающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 MICROMINE технологии нового поколения для горной добычи (Редакция от 07.07.2023)
- 2 Мигер, К. Оптимизация метода проектирования карьера, размера выемочных блоков и проблема межблочного интервала / К. Мигер, Р. Димитракопулос, Д. Эйвис. - (Технология добычи полезных ископаемых). - текст: непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2014. - № 3. - С. 96–117: ил. - Библиогр.: с. 115–117 (53 назв.). - ISSN 0015–3273.
- 3 Информационные технологии планирования горных работ (Для горных инженеров) с. 334
- 4 Тонких А.И. Техничко-экономические расчеты при подземной разработке рудных месторождений: учеб. пособие /А.И. Тонких, В.Н. Макишин, И.Г. Ивановский– Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 137 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАТЯЖЕК ИЗ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ВМЕСТО ТРАДИЦИОННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗАТЯЖЕК ДЛЯ ЗАТЯЖКИ МЕЖРАМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Б.З.Бобарахимов¹, Т.З.Абдурахманов¹, А.Х.Чегабаев¹, А.Н.Казаков²

¹АО «Алмалыкский ГМК», г.Алмалык, Узбекистан;

²Ташкентский государственный технический университет им.И.Каримова, г.Ташкент, Узбекистан.

Аннотация:

В данной статье проводится сравнительный анализ применения полимерных затяжек и традиционных железобетонных затяжек в горной промышленности. Исследуются основные преимущества и недостатки обоих видов крепежных элементов с целью определения эффективности их применения в различных условиях эксплуатации горных выработок.

Введение:

В условиях современной горной промышленности поиск инновационных решений для обеспечения безопасности работников, повышения производительности и снижения экологических рисков является одним из важнейших направлений развития. Одним из потенциально перспективных решений является замена традиционных железобетонных затяжек на полимерные.

Методика исследования:

В рамках исследования были проанализированы результаты ранее проведенных исследований, а также представлены новые данные, полученные в ходе сравнительного анализа применения полимерных и железобетонных затяжек. Были учтены следующие аспекты: прочность, коррозионная стойкость, гибкость, адаптивность, экологическая безопасность и экономическая выгода.

Результаты и обсуждение:

1. Прочность: Полимерные затяжки обладают сопоставимой или даже более высокой прочностью по сравнению с железобетонными. Это позволяет им успешно выдерживать динамические нагрузки и деформации при работе горных выработок.

По итогам испытания проведенных специалистами ГК «ОКС» (Российская Федерация) полимерной затяжки проходили по трём параметрам и показали, что на сжатие она выдерживает 9 тонн, на разрыв — 900 кг. Что же касается испытаний на изгиб то сломать образец так и не удалось, его нагрузили до появления первых признаков разрушения материала.

Полимерная решётчатая система выдерживает до 1 тонны — это значительно более высокие показатели, чем у традиционной железобетонной затяжки: по данным предельная нагрузка на неё составляет от 100 до 700 кг.

2. Коррозионная стойкость: Полимерные затяжки демонстрируют высокую устойчивость к коррозии и химическим воздействиям, что делает их идеальным выбором для эксплуатации в агрессивных средах.

Основные характеристики коррозионной стойкости полимерных материалов:

- Устойчивость к химическим воздействиям: Полимерные материалы обладают различной степенью устойчивости к агрессивным химическим средам. Например, некоторые полимеры могут быть устойчивы к кислотам, в то время как другие могут быть более чувствительны к щелочам.

- Устойчивость к влаге: Влага является одним из основных факторов, способствующих коррозии полимерных материалов. Устойчивость к влажным условиям играет важную роль в определении долговечности и надежности полимерных конструкций.

- Устойчивость к температурным изменениям: Экстремальные температуры могут влиять на химическую стойкость полимерных материалов и способствовать их разрушению. Полимерные материалы, обладающие высокой термостойкостью, обычно проявляют более высокую коррозионную стойкость.

- Устойчивость к механическим воздействиям: Механические нагрузки, такие как трение, удары и вибрации, могут также влиять на коррозионную стойкость полимерных материалов. Высокая устойчивость к механическим воздействиям способствует сохранению целостности и прочности материала.

3. Гибкость и адаптивность: Полимерные затяжки обладают высокой гибкостью и способностью адаптироваться к изменяющимся условиям горных выработок. Они успешно принимают на себя деформации и осуществляют эффективное крепление в любых условиях.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДЗЕМНОГО ВЫЕМОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MICROMINE

Д.К. Ахметканов[✉], Л.Е. Тяп, Е.Х. Абен, М. Елузах

Satbayev University, Алматы, Казахстан,

[✉]Корреспондент-автор:d.akhmetkanov@satbayev.university

В статье рассмотрено два варианта алгоритма оптимизации выемочных единиц. В последние десятилетия угледобыча и добыча других полезных ископаемых в подземных условиях стали сталкиваться с растущими вызовами, такими как увеличение трудозатрат, изменение регулирования и постоянная потребность в оптимизации процессов. В этом контексте внедрение современных технологий, таких как программное обеспечение (ПО) MICROMINE, предоставляет уникальные возможности для оптимизации подземных выемочных добычных единиц. Оптимизатор выемочных единиц определяет оптимальную комбинацию материнских блоков, которые необходимо добыть, чтобы максимизировать общую прибыль от разработки месторождения. При этом учитываются некоторые технологические ограничения. Если в случае с оптимизацией открытых горных работ под технологическими ограничениями подразумеваются углы откосов бортов карьеров, то при оптимизации выемочных единиц учитываются минимальные размеры и форма выемочных единиц. Экономический подход, сочетающий в себе уменьшение затрат, увеличение добычи и минимизацию рисков, делает ПО MICROMINE важным инструментом в индустрии добычи полезных ископаемых.

В данной работе целью является выявить алгоритм оптимизации подземных выемочных единиц с применением ПО MICROMINE и выделить преимущества использования данного программного обеспечения.

Ключевые слова: оптимизация, выемочные единицы, блочная модель, поперечное сечение, мощность, проектирование.

МІСРОМІНЕ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЖЕРАСТЫ КЕН ҚАЗУ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ САНЫ МЕН САПАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Д.К. Ахметканов[✉], Л.Е. Тяп, Е.Х. Абен, М. Елузах

Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university

Мақалада қазба бірліктерін оңтайландыру алгоритмінің екі нұсқасы қарастырылған. Соңғы онжылдықтарда жерасты жағдайында көмір өндіру және басқа да пайдалы қазбаларды игеруде еңбек шығындарының артуы, реттеудің өзгеруі және процестерді оңтайландырудың тұрақты қажеттілігі сияқты өсіп келе жатқан қиындықтарға тап болды. Осы тұрғыда MICROMINE бағдарламалық жасақтамасы сияқты заманауи технологияларды енгізу жерасты кен игеру өндірісін оңтайландырудың бірегей мүмкіндіктерін ұсынады. Қазба бірліктерінің оңтайландырушысы кен орнын игеруден түскен жалпы пайданы барынша арттыру үшін өндірілуге қажет аналық блоктардың оңтайлы комбинациясын анықтайды. Бұл кейбір технологиялық шектеулерді ескереді. Егер, ашық кен жұмыстарын оңтайландыру жағдайында технологиялық шектеулер карьерлер бортының еңістерінің бұрыштарын білдірсе, онда қазба бірліктерін оңтайландыру кезінде қазба бірліктерінің ең аз мөлшері мен нысаны ескеріледі. Шығындарды азайтуды, өндірісті ұлғайтуды және тәуекелдерді азайтуды біріктіретін Экономикалық тәсіл MICROMINE-ді тау-кен өнеркәсібіндегі маңызды құралға айналдырады.

Бұл жұмыстың мақсаты MICROMINE бағдарламасының көмегімен жерасты кен игерудегі қазу бірліктерін оңтайландыру алгоритмін анықтау және осы бағдарламалық жасақтаманы пайдаланудың артықшылықтарын атап өту болып табылады.

Түйін сөздер: Оңтайландыру, кесу бірліктері, блоктық модель, көлденең қима, қуат, жобалау.

OPTIMIZATION OF THE NUMBER AND QUALITY CHARACTERISTICS OF UNDERGROUND EXCAVATION EQUIPMENT USING MICROMINE SOFTWARE

D. Akhmetkhanov✉, L. Tyan, E. Aben, M. Eluzakh

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university

The article considers two variants of the algorithm for optimizing excavation units. In recent decades, coal mining and mining of other minerals in underground conditions have begun to face growing challenges, such as increased labor costs, regulatory changes and the constant need to optimize processes. In this context, the introduction of modern technologies such as MICROMINE software provides unique opportunities for optimizing underground mining units. The dredging Unit optimizer determines the optimal combination of parent blocks that need to be mined in order to maximize the overall profit from the development of the field. At the same time, some technological limitations are taken into account. If, in the case of optimization of open-pit mining, technological limitations mean the angles of the slopes of the sides of quarries, then the minimum dimensions and shape of the excavation units are taken into account when optimizing the excavation units. An economic approach combining cost reduction, increased production and risk minimization makes MICROMINE an important tool in the mining industry.

In this paper, the aim is to identify an algorithm for optimizing underground excavation units using MICROMINE software and highlight the advantages of using this software.

Keywords: Optimization, excavation units, block model, cross section, power, design.

Введение. MICROMINE — это интегрированное программное обеспечение для геологического и горнодобывающего моделирования, которое предоставляет инструменты для анализа и визуализации геологических данных, проектирования рудников и оптимизации процессов добычи. Сочетание геологического моделирования с технологиями оптимизации делает MICROMINE мощным инструментом для повышения эффективности подземных выемочных добычных единиц [1].

Преимущества оптимизации с использованием MICROMINE:

1. Геологическое моделирование: MICROMINE позволяет строить точные трехмерные модели рудных месторождений, что обеспечивает более детальное понимание структуры и характеристик залежей полезных ископаемых.

2. Проектирование подземных выемочных добычных единиц: С использованием MICROMINE можно разрабатывать оптимальные горные выработки, учитывая геологическую структуру и механические свойства горных пород.

3. Оптимизация добычи: Программное обеспечение предоставляет инструменты для оптимизации параметров добычи, учитывая экономические пока-

затели, такие как затраты на труд и энергию.

Экономический подход к оптимизации:

1. Снижение Затрат: MICROMINE помогает снизить операционные затраты путем оптимизации местоположения выработок и рационального использования ресурсов.

2. Увеличение добычи: Оптимизация подземных выемочных единиц с использованием MICROMINE приводит к повышению эффективности добычи полезных ископаемых.

3. Минимизация рисков: Анализ данных и моделирование с помощью MICROMINE также позволяют минимизировать риски, связанные с неопределенностью геологических условий и изменением параметров добычи.

Материалы и методы. Рассмотрим два варианта алгоритма оптимизации выемочных единиц:

Первый алгоритм «Оптимальная комбинация материнских блоков»

Как и в случае с оптимизатором карьеров, принцип работы которого основывается на алгоритме Лерча-Гроссмана, или алгоритме псевдопотока, оптимизатор выемочных единиц в Майкромайн 2020 использует блочную модель месторождения. Каждому блоку модели присваивается соответствующая

экономическая оценка, которая зависит от количества материала в блоке, затрат на извлечение блока и его переработку, а также цены реализации конечной продукции [2].

Как и оптимизатор карьера, оптимизатор выемочных единиц определяет оптимальную комбинацию материнских блоков, которые необходимо добыть, чтобы максимизировать общую прибыль от разработки месторождения. При этом учитываются некоторые технологические ограничения. Если в случае с оптимизацией открытых горных работ под технологическими ограничениями подразумеваются углы откосов бортов карьеров, то при оптимизации выемочных единиц учитываются минимальные размеры и форма выемочных единиц.

Итоговая выемочная единица и ее параметры зависят от параметров материнских блоков блочной

модели. Ни один из существующих оптимизаторов не может работать напрямую с субблочными моделями, потому что данные алгоритмы предполагают, что все блоки модели имеют одинаковый размер. Если для оптимизации используется субблочная модель, то блоки модели автоматически «регуляризуются» до размеров материнского блока [3].

Таким образом, первый инструмент работает с материнскими блоками блочной модели и позволяет определить оптимальные координаты для выемочных единиц с учетом заданного минимального размера и формы. Он также предоставляет множество дополнительных опций, таких как учет зон исключения, возможность использования осевых стрингов подземных выработок и отметок горизонтов, чтобы контролировать расположение создаваемых выемочных единиц (рисунок 1).

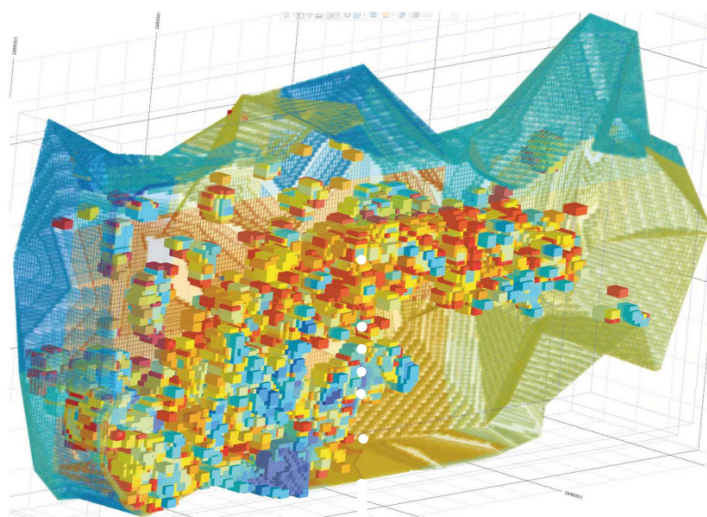


Рис. 1 – Пример результата работы первого алгоритма для мощного рудного тела

Второй алгоритм «Комбинация частей, полученных по заданной сетке»

Если рассмотреть в поперечном сечении направление очистных работ, некоторые системы разработки подразумевают формирование выемочных единиц по регулярной сети. В то время как первый инструмент определяет оптимальные координаты выемочных единиц с учетом заданного минимального размера и формы, новый подход позволяет задать требования к форме поперечного сечения относительно двумерной сетки, а также к ее положению и ориентации относительно рудного тела. Затем данный инструмент проецирует выемочные единицы из

ячеек сетки нарудное тело и разделяет его на тонкие части (срезы), для которых определяется экономическая оценка [4]. Используя минимальную и максимальную длину выемочной единицы, параметры разделения, а также параметры ближней и дальней зоны разубоживания, алгоритм поиска решений комбинирует ранее созданные части таким образом, чтобы сформировать выемочную единицу, удовлетворяющую заданной оценке или требуемому содержанию [5].

В отличие от первого алгоритма, для которого сте-

пень детализации выемочной единицы определяется размерами блоков регуляризированной блочной модели, второй работает с каркасами, нарезая блоки в соответствии с параметрами выемочных единиц, границами рудного тела и зонами исключения.

В результате степень детализации выемочной единицы соответствует мощности одного среза, которую можно задать (рисунок 2,3). Таким образом, второй алгоритм хорошо подходит для детального проектирования [6].

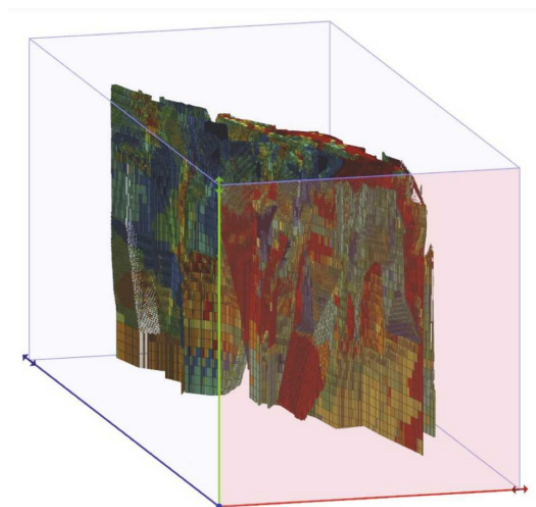


Рис. 2 – Интерактивное размещение границ сетки для второго алгоритма

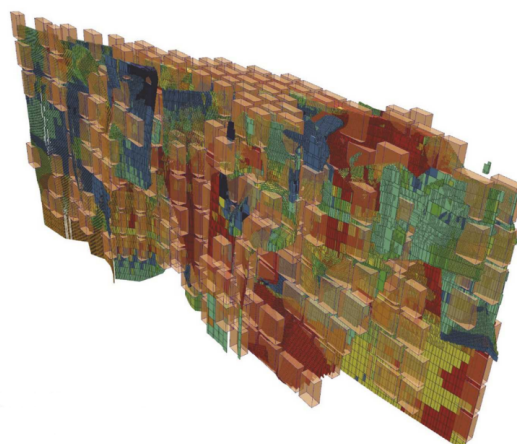


Рис. 3 -Пример результата работы второго алгоритма для жильного рудного тела

Рабочий процесс оптимизации ВЕ. Параметры оптимизации(рудник). Для оптимизации необходимо использовать функцию Оптимизация выемочных единиц на ленте Горные работы (рисунок 4).

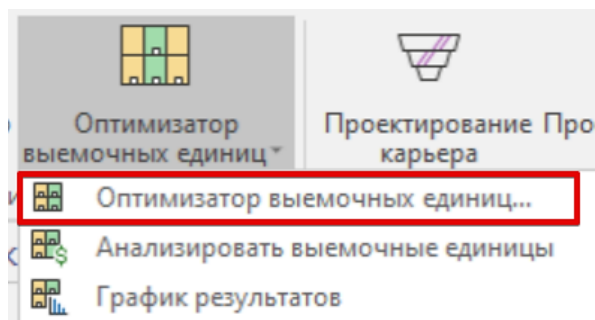


Рис. 4 - Функция Оптимизация выемочных единиц

Далее необходимо настроить параметры оптимизации на трех вкладках Рудник, Переработка и Потребители. Если Вы производите оптимизацию по бортовому содержанию, то заполняется только вкладка Рудник (рисунок 5).

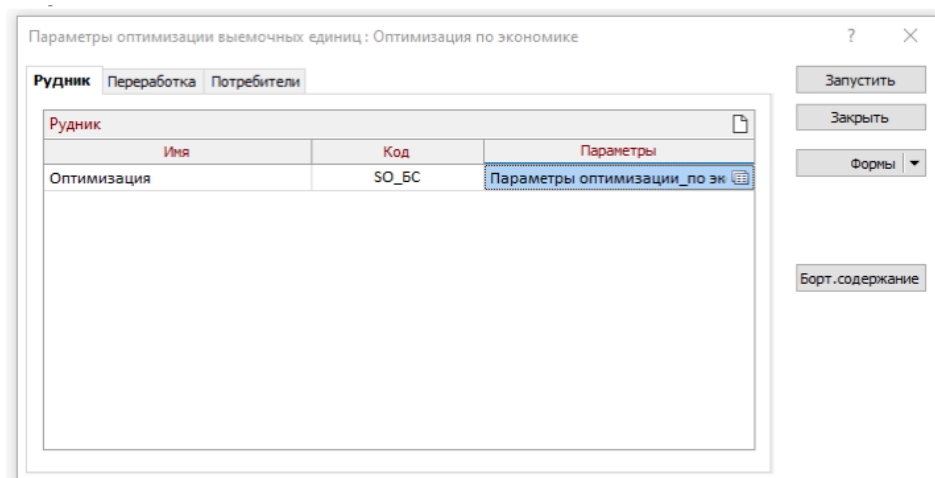


Рис. 5 - Параметры оптимизации

Имя: Введите название месторождения, по которому вы будете выполнять оптимизацию.

Код: Введите идентификационный код, который будет присвоен месторождению. Этот код будет использоваться для идентификации месторождения в отчетах.

Параметры: Необходимо создать или выбрать существующий набор форм с параметрами оптимизации.

Вкладка блочная модель

На вкладке необходимо выбрать блочную модель, определить её Тип. Если блочная модель рудная Вы можете ограничить оптимизацию ЦМП или координаторами. При использовании полной БМ ограничители будут получены из блочной модели. В выемочных единицах, которые будут частично находиться за пределами полной БМ, расчеты показателей будут только по той части, которая внутри БМ (рисунок 6).

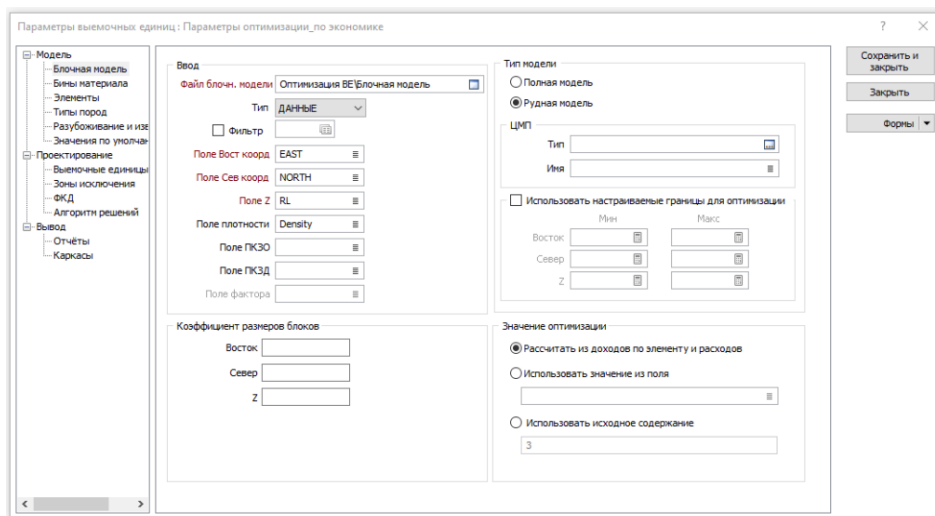


Рис. 6 - Вкладка блочной модели

Поле ПКЗО

Поправочный коэффициент затрат на обогащение определяет только те затраты, которые будут понесены, если руда пройдет переработку на обогатительной фабрике. Эти затраты вводятся в виде фактора относительно "стандартного блока", который имеет поправочный коэффициент на затраты на обогащение, равный 1.

Поле ПКЗД

Поправочный коэффициент затрат на добычу определяет только те затраты, которые будут понесены, если блок будет добыт. Затраты, не учитываемые при остановке добычных работ, не влияют на коэффициент поправки для добычных работ. Эти затра-

ты вводятся в виде фактора относительно "стандартного блока", который имеет поправочный коэффициент затрат на добычу, равный 1.

Если это поля ПКЗД и ПКЗО оставлены пустыми, либо значения в указанных полях отсутствуют, тогда будет применяться значение по умолчанию, заданный во вкладке Значения по умолчанию.

Поле факторов

Если вы используете факторную модель для оптимизации, укажите имя поля, которое содержит фактор для каждого блока модели.

Методы определения значения оптимизации (рисунк 7):

Рис. 7 – Значение оптимизации

Рассчитать из доходов по элементу и расходов

Выберите эту опцию, чтобы вычислить значение оптимизации для каждого блока из заданных экономических параметров.

Значение каждого рудного блока (доход от элемента - затраты на переработку - затраты на добычу руды - затраты на извлечение элемента - затраты на продажу) сравнивается со значением породы (то есть стоимость добычи пустой породы) для всех методов переработки. Если денежный поток руды больше денежного потока пустой породы, тогда элементы материала обрабатываются как РУДА. В противном случае элементы обрабатываются как ПОРОДА.

Использовать значение из поля

Выберите поле блочной модели, в котором будет предварительно рассчитаны значение оптимизации (разница между доходом и расходом).

Использовать исходное содержание

В данном случаи задается бортовое содержание. В итоговых ВЕ содержание будут больше или равно

заданному значению.

Вкладка Бины материала. На данной вкладке задаются добываемые материалы, например сорта руды. Данная вкладка является необязательной для заполнения. Если вы не хотите как-либо классифицировать ваши материалы, вы можете оставить ее пустой.

Вкладка Элементы. На вкладке Элементы задаются элементы из блочной модели, которые будут участвовать в процессе переработки.

Вкладка Разубоживание и извлечение. На данной вкладке необходимо указать значения потерь и разубоживания. Значение можно задавать в факторах или процентах.

Разубоживание. Разубоживание выражается как в ФАКТОРАХ, так и в ПРОЦЕНТАХ. Если вы используете фактор, то введите значение, которое больше или равно 1. Значение 1 – нет разубоживания. Фактор разубоживания показывает, какое количество пустой породы будет добыто вместе с рудой. Данный коэффициент влияет на добытый объем по всем блокам. Другими словами, если объем блока

равен 100, разубоживание равно 1.2, тогда переработанный объем будет равен 120, а содержания полезного компонента соответственно разубожены. Чтобы преобразовать проценты в факторы, необходимо сделать следующее вычисление (ПРОЦЕНТЫ / 100) + 1. Если разубоживание равно 50%, тогда значение фактора равно 1.5.

Укажите Поле извлечения/потерь, если вы хотите использовать различные значения извлечения для каждого блока вместо того, чтобы использовать постоянное значение. Для расчета тоннажа добытой руды можно использовать 2 формулы:

1. Порода/Руда

Тоннаж добытой руды = Тоннаж руды в недрах × Извлечение × (1+Разубоживание)

2. Порода/(Руда+ Порода)

Тоннаж добытой руды = Тоннаж руды в недрах × Извлечение × 1

Извлечение/Потери. Извлечение – это величина обратная потерям (то есть, если ваши потери, при извлечении из недр, составляют 10%, то извлечение составит 90%). Введите значение Извлечения, которое больше нуля и меньше или равно 1. Коэффициент извлечения показывает количество руды, которое может быть извлечено из карьера и отправлено на переработку. Он влияет на объем каждого блока. Единицы извлечения/потерь могут быть выражены в ФАКТОРАХ или ПРОЦЕНТАХ. Например, если объем блока равен 100, а фактор извлечения равен 0.9, это означает, что 90% блока может быть извлечено, а 10% будет потеряно. Добытый и переработанный тоннаж будет 90 (то есть $100 * 0.9$) [7,8].

Вкладка Значение по умолчанию. Данная вкладка

используется для определения значений по умолчанию: Плотности, ПКЗО и ПКЗД для руды и породы. Когда цена добычи и переработки изменяется на различных горизонтах или ниже ЦМП, то изменяемые условия можно прописать во вкладке Значения по умолчанию.

Вкладка Выемочные единицы. Данная вкладка позволяет выбрать алгоритм для создания выемочных единиц. Также здесь можно указать области в виде каркаса или заданных координат, чтобы использовать для них разные параметры выемочных единиц.

Параметры выемочных единиц. В зависимости от выбранного алгоритма (метода) оптимизации формы диалогового окна Параметры выемочных единиц будут отличаться. Рассмотрим параметры на примере оптимизации методом срезов.

Вкладка Зоны исключения. Здесь Вы можете исключить/обрезать результаты оптимизации в пределах или за пределами выбранных каркасов или контуров.

Вкладка Отчеты. Позволяет настроить отчеты по выемочным единицам или по срезам, которые участвовали в оптимизации, для анализа результатов. Также можно использовать функцию Генератор отчетов для создания отчета пользовательской структуры и наполнений.

Вкладка Каркасы. На вкладке каркасы необходимо указать Тип и Имя (префикс имени) для итоговых выемочных единиц. Также Вы можете создать отдельно каркасы Ближней и дальней зоны разубоживания и каркасы с учетом этих зон (выемочная единица) и без (ядро) (рисунок 8).

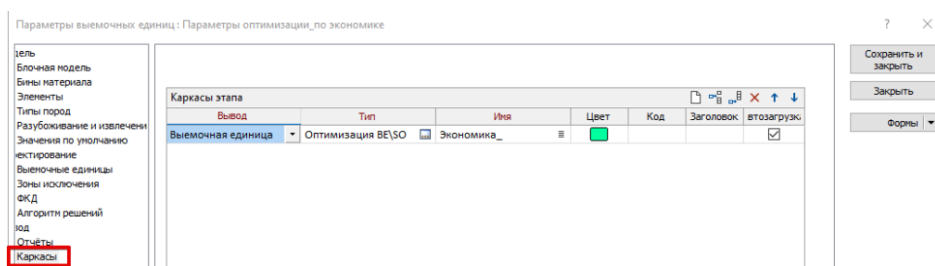


Рис. 8 - Функции каркаса

Результаты и обсуждение. Так как настройки модулей «Оптимизатор карьеров» и «Оптимизатор выемочных единиц» в MICROMINE практически идентичны, достаточно освоить один из модулей,

чтобы перейти к работе со вторым. Кроме того, оба этих модуля используют встроенные в MICROMINE алгоритмы поиска оптимальных решений, поэтому нет необходимости дополнительных финансовых

вложениях в лицензии сторонних оптимизационных решений [7,9].

Описанные в статье инструменты оптимизации выемочных единиц используют разные подходы к решению задачи, поэтому каждый из них имеет свои плюсы и минусы.

Первый алгоритм, который формирует выемочные единицы из комбинации материнских блоков, требует минимальных предварительных знаний об оптимальных координатах расположения выемочных единиц, об ориентации рудного тела или о системе разработки. Это делает его очень подходящим для проектов «с нуля» и для выполнения технико-экономического обоснования [10]. Он также подходит для определения внешних экономических границ для больших рудных тел.

Второй алгоритм требует более глубоких знаний о структуре рудного тела и предполагаемой системе

разработки, что делает его более подходящим для уже разрабатываемых месторождений и детального проектирования подземных рудников. Кроме того, он дает более качественные результаты для жильных рудных тел, чем первый, при использовании которого выемочные единицы, вероятно, будут более грубыми.

Выводы. Использование программного обеспечения MICROMINE для оптимизации подземных выемочных добычных единиц открывает новые возможности для улучшения эффективности горнодобывающих операций. Экономический подход, сочетающий в себе уменьшение затрат, увеличение добычи и минимизацию рисков, делает MICROMINE важным инструментом в индустрии добычи полезных ископаемых. Решения, основанные на этом программном обеспечении, могут существенно влиять на конкурентоспособность предприятий в условиях постоянно меняющейся горнодобывающей среды.

Литература

1. MICROMINE технологии нового поколения для горной добычи (Редакция от 07.07.2023) –URL: <https://www.micromine.kz/2023-5-release/> (Дата обращения 09.01.2024)
2. Мигер К., Димитракопулос Р., Эйвис Д. Оптимизация метода проектирования карьера, размера выемочных блоков и проблема межблочного интервала //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2014. - № 3. - С. 96–117.
3. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ // Недра. -Санкт-Петербург, 2004. – 334 с.
4. Должиков П.Н., Величко Н.М., Должикова А.П., Основы экономики и управления горным предприятием: учебное пособие // Норд-пресс. - Донецк.- 2009. – 200 с.
5. Тонких А.И.и др. Техничко-экономические расчеты при подземной разработке рудных месторождений: учеб. Пособие. - Изд-во ДВГТУ, Владивосток, 2007. -137 с.
6. Холл Брайан. Бортовые содержания и оптимизация стратегии P85 горных работ. Пер. с англ. -Правовед, Екатеринбург, 2017. - 380 с.
7. Уткина С.И. Экономика горного предприятия. -М: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. - 262 с.
8. В. Мамлеев Планирование открытых горных работ в программе Micromine Alastri.// Глобус.-2022.- № 3 (72).- С. 116-119
9. К. А. Филимонов В. А. Карасёв / Технология подземных горных работ– [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Кемерово, КузГТУ, 2013.-110 с.
10. Л. Н. Кузина, С.Ф. Богдановская, Ж.В. Миронова Экономика горного производства: Практикум. -Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2011. -140 с.

References

1. MICROMINE technologies of the new generation for mining (Redaktsiya ot 07.07.2023) –URL: <https://www.micromine.kz/2023-5-release/> (Data obrashcheniya 09.01.2024) [in Russian]

2. Miger K., Dimitrakopoulos R., Eivis D. Optimizatsiya metoda proektirovaniya kar'era, razmera vyemochnykh blokov i problema mezhblochnogo intervala //Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. - 2014. - № 3. - S. 96–117. [in Russian]
3. Kaputin Yu.E. Informatsionnye tekhnologii planirovaniya gornyx rabot // Nedra. -Sankt-Peterburg, 2004. – 334 s. [in Russian]
4. Dolzhikov P.N., Velichko N.M., Dolzhikova A.P., Osnovy ekonomiki i upravleniya gornym predpriyatiem: uchebnoe posobie // Nord-press. - Donetsk.- 2009. – 200 s. [in Russian]
5. Tonkikh A.I. i dr. Tekhniko-ekonomicheskie raschety pri podzemnoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii: ucheb. Posobie. - Izd-vo DVGUTU, Vladivostok, 2007. -137 s. [in Russian]
6. Khol Braian. Bortovye sodержaniya i optimizatsiya strategii R85 gornyx rabot. Per. s angl. -Pravoved, Ekaterinburg, 2017. - 380 s. [in Russian]
7. Utkina S.I. Ekonomika gornogo predpriyatiya. -M: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2003. - 262 s. [in Russian]
8. V. Mamleev Planirovanie otkrytykh gornyx rabot v programme Micromine Alastri.// Globus.-2022.- № 3 (72).- S. 116-119 [in Russian]
9. K. A. Filimonov V. A. Karasev / Tekhnologiya podzemnykh gornyx rabot– [Elektronnyi resurs]: uchebnoe posobie. -Kemerovo, KuzGTU, 2013.-110 s. [in Russian]
10. L. N. Kuzina, C.F. Bogdanovskaya, Zh.V. Mironova Ekonomika gornogo proizvodstva: Praktikum. -Krasnoyarsk, Sib. feder. un-t, 2011. -140 s. [in Russian]

Сведения об авторах

Ахметканов Д.К. - канд.техн.наук, ассоциированный профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university;

Тян Л.Е. -магистрант Satbayev University, г.Алматы, Казахстан, e-mail: laura301201@mail.com;

Абен Е.Х. - канд.техн.наук, ассоциированный профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Елузах М. - канд.техн.наук, ассоциированный профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан, e-mail: m.yeluzakh@satbayev.university

Information about the authors

D.Akhmetkanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university;

L.Tyan - undergraduate student Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: laura301201@mail.com;

Абен Е.Х. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Елузах М. -Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.yeluzakh@satbayev.university