

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

На правах рукописи

Лелен Алекса



ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЗВЗРЫВНОЙ ОТКРЫТОЙ
РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(РЕСПУБЛИКА СЕРБИЯ)

Специальность 2.8.7. Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Фомин С.И.

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЗВЗРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	13
1.1 Анализ горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений осадочных карбонатных пород.....	13
1.2 Анализ методологии проектирования открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений.....	17
1.3 Обоснование развития методов определения параметров карьеров при отработке сложноструктурных карбонатных месторождений в современных условиях	24
1.4 Выводы по Главе 1	27
ГЛАВА 2 СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ НА КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИН ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ.....	29
2.1 Анализ технологии послойного фрезерования карбонатных горных пород....	29
2.2 Оценка надежности работы технологических комплексов карьеров по добыче цементного сырья.....	38
2.3 Анализ технологических особенностей применения горных комбайнов при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья.....	44
2.4 Выводы по Главе 2	54
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ ГОРНЫМИ КОМБАЙНАМИ	57
3.1 Обоснование параметров эксплуатационного блока при разработке месторождений цементного сырья с использованием горных комбайнов с погрузкой горной массы в транспортные средства	57

3.2 Оценка степени влияния различных горнотехнических факторов на производительность карьера при проектировании открытой разработки месторождений цементного сырья	64
3.3 Обоснование и разработка методики определения производительности карьеров по добыче цементного сырья отрабатываемых с применением горных комбайнов (SM)	74
3.4 Выводы по Главе 3	84
ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ «МУТАЛЬ» В БЕОЧИНЕ...	86
4.1 Горно-геологические условия открытой разработки месторождения цементного сырья «Муталь»	86
4.2 Основные технологические и проектные решения по отработке месторождения «Муталь» в Беочине	93
4.2.1 Принятые параметры устойчивости и подробное описание огранний карьера Муталь	95
4.2.2 Технологический процесс выемки известняка и вскрышных пород	100
4.2.3 Технологический процесс транспортировки известняка и вскрышных пород	111
4.3 Техничко-экономическая оценка результатов реализации проекта разработки месторождения «Муталь» карьером ООО «Lafarge BFC (СРБ)»	116
4.3.1 Расходы на добычу известняка и выемку вскрышных пород	117
4.3.2 Статическая себестоимость эксплуатации	125
4.3.3 Динамические потоки затрат и инвестиций	125
4.3.4 Сравнение результатов проектного и базового вариантов месторождения «Муталь»	133
4.4 Выводы по Главе 4	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	140
ПРИЛОЖЕНИЕ А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	152

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акты о промышленном внедрении результатов диссертаци	
.....	153

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

При разработке месторождений цементного сырья, как правило, используется буровзрывной метод подготовки горных пород к выемке и погрузке. Хотя этот метод имеет свои преимущества, он также связан с определёнными недостатками: опасность возникновения сейсмических явлений при ведении горных работ; повышенное выделение загрязняющих веществ; риск разлёта кусков взорванной горной массы; значительные эксплуатационные затраты на ведение буровзрывных работ.

Применительно к горно-геологическим условиям отработки сложноструктурных месторождений цементного сырья наиболее полно удовлетворяет требованиям обеспечения эффективной разработки безвзрывная технология тонкослойной выемки с применением фрезерных машин (горных комбайнов), зарекомендовавшая себя на многих горнодобывающих объектах.

Основные аргументы в пользу применения безвзрывной фрезерной технологии при разработке месторождений цементного сырья с использованием горных комбайнов: снижение потерь и разубоживания; возможность селективной выемки разносортных пластов известняков, а также отработки запасов маломощных участков (мощностью до 0,3 м); возможность переоценки промышленной значимости и отработки запасов маломощных рудных тел; уменьшение числа технологических операций и количества основных и вспомогательных механизмов, сроков их монтажа; снижение потребностей в запчастях, уменьшение численности обслуживающего персонала; исключение повышенного пыле- и газовыделения, разлёта кусков; повышение безопасности ведения горных работ; упрощение процесса управления качеством, так как забоем является горизонтальная (либо слабонаклонная) поверхность, а не точечный забой (группа забоев); сведение к минимуму экологических рисков при отработке запасов в природоохранных зонах; исключение процесса крупнокусового дробления на шихтовальном складе и среднего дробления на заводе.

Степень разработанности темы исследования. Отдельные методы

проектирования, технологические схемы для карьеров по добыче цементного сырья, для горнотехнических условий разработки карбонатных месторождений, отрабатываемых с использованием технологий послойного фрезерования, были рассмотрены в трудах таких учёных, как Трубецкой К.Н., Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Пихлер М., Панкевич Ю.Б., Аврамова Н.С., Подэрни Р.Ю., Чебан А.Ю., Маттис А.Р., Набока Н.В. и ряд других.

Однако методы определения параметров и показателей открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья с использованием машин послойного фрезерования в процессе проектирования карьеров до сих пор не получили достаточного развития, нуждаются в совершенствовании и адаптации к современным реалиям.

Таким образом, обоснование методов проектирования безвзрывной открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья с применением технологий послойного фрезерования является актуальной научной и практической задачей.

Объект исследования – процесс безвзрывной фрезерной технологии при разработке месторождений цементного сырья с использованием горных комбайнов послойного фрезерования.

Предмет исследования – метод проектирования безвзрывной открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья с применением технологий послойного фрезерования.

Цель работы - обоснование и разработка методов проектирования безвзрывной открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья с учётом горнотехнических особенностей использования машин послойного фрезерования, позволяющих повысить эффективность и достоверность проектных решений.

Идея работы заключается в том, что параметры и показатели открытой разработки с использованием машин послойного фрезерования должны определяться на основе разработанных методов и технологических схем, учитывающих горнотехнические и горно-геологические условия отработки

сложноструктурных месторождений цементного сырья Республики Сербия, позволяющих повысить безопасность, эффективность и достоверность проектных решений.

Поставленная в диссертации цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Анализ методологии проектирования открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений.

2. Обоснование развития методов определения параметров карьеров при проектировании отработки машинами послойного фрезерования, учитывающих горнотехнические и горно-геологические условия сложноструктурных месторождений цементного сырья Республики Сербия.

3. Разработка и обоснование технологических решений при проектировании и планировании развития горных работ с применением машин послойного фрезерования на карьерах по добыче сырья для производства цемента.

4. Изучение зависимостей параметров и показателей системы открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья от горнотехнических факторов применения горных комбайнов послойного фрезерования.

5. Разработка методики определения производительности карьеров по добыче сырья для производства цемента, с использованием горных комбайнов послойного фрезерования, для горно-геологических и горнотехнических условий открытой разработки карбонатных месторождений Республики Сербия.

6. Анализ влияния относительного изменения различных горнотехнических параметров открытой разработки сложноструктурных месторождений с использованием горных комбайнов послойного фрезерования на производительность карьеров по добыче цементного сырья.

Научная новизна:

1. Установлена степень воздействия параметров и показателей системы разработки на производительность карьеров по добыче сырья для производства цемента с учетом геологических, горнотехнических и организационных аспектов

использования машин послойного фрезерования при разработке сложноструктурных карбонатных месторождений Республики Сербия: глубина и ширина полосы фрезерования, коэффициент использования, длина фронта работ, скорость фрезерования.

2. Установлена параболическая зависимость рациональной протяжённости рабочей зоны горных комбайнов Surface Miner от суммарных удельных затрат при транспортировании горной массы карьерным автомобильным транспортом для горнотехнических условий карьеров, разрабатывающих сложноструктурные карбонатные месторождения Республики Сербия.

3. Определена аналитическая зависимость, позволяющая установить производительность горнотехнической системы для карьеров, разрабатывающих сложноструктурные месторождения цементного сырья Республики Сербия с использованием технологии послойного фрезерования, учитывающая скорость движения фронта горных работ, скорость движения заходки по длине фронта, мощность отрабатываемого слоя горных пород, ширину полосы фрезерования, длину фронта горных работ, вид принятой технологической схемы отработки.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем по следующим подпунктам пункта 2: выбор способа разработки месторождения или его части; обоснование параметров горнотехнических систем на базе сочетаний различных геотехнологий, выбор области их применения на месторождении и в региональном масштабе; установление производственной мощности горных предприятий и последовательности строительства и ввода в эксплуатацию.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Предложены и аргументированы технологические схемы разработки месторождений с применением горных комбайнов послойного фрезерования для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья.

2. Разработана программа для определения факторов, оказывающих значительное воздействие на производительность карьеров по добыче цементного

сырья, разрабатываемых с использованием горных комбайнов послойного фрезерования. Программа защищена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660377 (Приложение А).

3. Сформулированы ключевые принципы формирования горнотехнической системы и определены области использования технологических схем разработки месторождений на карьерах по добыче цементного сырья, реализуемые с использованием фрезерных горных комбайнов.

Методики и рекомендации, полученные на основе результатов исследований, могут быть применены на горнодобывающих предприятиях цементной промышленности, где при разработке месторождений применяются горные комбайны послойного фрезерования, в проектных организациях, при проектировании и планировании горных работ на цементном заводе ООО «Lafarge BFC (СРБ)» в Сербии и карьерах и месторождениях-аналогах.

Получены 2 акта о внедрении результатов кандидатской диссертации на профильных предприятиях АО «Гипронеруд» от 26.11.2024 г. и АО «Гипроцветмет» от 29.01.2025 г. (Приложение Б).

Методология и методы исследований

В рамках поставленных задач исследования был реализован системный подход, включающий в себя рассмотрение и анализ научных работ, посвящённых проектированию карьеров, технологиям открытой разработки месторождений цементного сырья, а также обобщению опыта реализации проектов. Основными методами исследования являлись следующие: мониторинг реализации проектов карьеров по добыче цементного сырья, системный анализ элементов системы-карьер, характеристик технологических схем карьеров, отрабатывающих сложноструктурные карбонатные месторождения с применением горных комбайнов послойного фрезерования, математическая статистика, компьютерное моделирование, а также классические экономические подходы.

Положения, выносимые на защиту:

1. При проектировании открытой разработки с использованием машин послойного фрезерования рациональную протяженность рабочей зоны,

приходящейся на комбайн, следует определять по разработанной методике, учитывающей горно-геологические и горнотехнические условия сложноструктурных месторождений цементного сырья Республики Сербия, обеспечивающей повышение эксплуатационной производительности фрезерных комбайнов Surface Miner на 8-12 % и экономическую эффективность результатов реализации проектных решений.

2. Величина производительности карьера по добыче цементного сырья должна определяться на основе выявленной аналитической зависимости с учетом горно-геологических и горнотехнических особенностей отработки сложноструктурных месторождений, позволяющей определять степень влияния параметров и показателей системы разработки (скорость перемещения фрезерного горного комбайна, мощность и ширина полос фрезерования, протяженность рабочей зоны, приходящейся на комбайн, и коэффициент потерь) на конечный результат реализации проектных решений.

3. Для повышения эффективности применения горных комбайнов типа «Continuous Surface Miner» (CSM) на карьерах по отработке сложноструктурных месторождений цементного сырья следует проектировать циклично-поточные или поточные технологические схемы отработки эксплуатационного блока параллельными заходками с минимальным количеством вспомогательных технологических операций и холостых ходов.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением положений методологии проектирования карьеров, компьютерным моделированием, использованием материалов оценки результатов реализации отечественных и зарубежных проектов, привлечением информации о ситуации на рынках цементного сырья, внедрением результатов исследований в проектную документацию.

Апробация результатов. За последние 3 года принято участие в 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных: XII Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов

«Опыт прошлого – взгляд в будущее» (2-3 ноября 2022 г., г. Тула); Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (26 апреля 2023 г., г. Санкт-Петербург); XXVII Международный молодёжный научный симпозиум имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (3-7 апреля 2023 г., г. Томск); XIV Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». (22-23 апреля 2025 г., г. Междуреченск).

Личный вклад автора заключается в проведении анализа методологии проектирования открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений; разработке и обосновании технологических решений при проектировании и планировании развития горных работ с применением машин послойного фрезерования на карьерах по добыче цементного сырья; установлении зависимостей параметров и показателей системы открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья от горнотехнических факторов применения горных комбайнов послойного фрезерования; разработке методики определения производительности карьеров по добыче сырья для производства цемента с использованием горных комбайнов для горно-геологических и горнотехнических условий открытой разработки карбонатных месторождений; анализе влияния относительного изменения параметров открытой разработки с использованием горных комбайнов на производительность карьеров по добыче цементного сырья; технико-экономической оценке результатов разработки месторождения «Муталь» в составе цементного завода в Беочине ООО «Lafarge BFC (СРБ)».

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 6 печатных работах (пункт из списка литературы № 30, 62-66), в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему

цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение А).

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 111 наименований, и 2 приложений. Диссертация изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков и 30 таблиц.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЗВЗРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1 Анализ горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений осадочных карбонатных пород

Осадочные карбонатные горные породы образовались в процессе физического и химического выветривания различных типов горных пород.

Качественные характеристики минерального сырья влияют на технологические особенности получения цемента, его свойства.

Горные породы, применяемые для производства цемента: известняки, мел, известковый туф, известняк-ракушечник, мергелистый известняк, мергель и некоторые другие.

Известняки являются одним из главных видов сырья для производства цемента, различающиеся химическим составом и свойствами. Плотность известняков составляет $2,7 - 2,76 \text{ т/м}^3$; прочность на сжатие до 300 МПа; влажность колеблется от 1 до 6 % [7]. Для производства цемента обычно к известняку добавляется глина.

Карбонатные месторождения по форме залегания представлены пластами или линзами. Мощность вскрыши, как правило, незначительна и средний коэффициент вскрыши не превышает $1,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Карбонатные месторождения цементного сырья в основном являются комплексными, представленными известняками, глинами, мергелями [55]. Некондиционные пропластки известняков, не отвечающие техническим требованиям цементного производства, целесообразно для производства щебня и бута при наличии спроса [1].

Карбонатные породы по составу можно подразделить на три группы: известняковые, доломитовые и карбонатно-глинистые [3]. Месторождения цементного сырья, как правило, являются сложноструктурными, представлены горизонтальными и слабонаклонными пластами с различным качеством полезного

ископаемого, с пропластками некондиционных руд и вскрышных пород часто малой мощности. При таких горно-геологических условиях целесообразно применение на горнодобывающих предприятиях по добыче цементного сырья горных комбайнов послойного фрезерования, обеспечивающих тонкослоевую выемку горных пород.

Под сложноструктурным месторождением следует понимать не только особенности геологического строения, но и особые технологические подходы к разработке, способ вскрытия и систему разработки [32].

Горизонтальное и пологое залегание имеют до 60 % карбонатных месторождений, наклонное и крутое – 40 % [1].

Большинство эксплуатируемых карбонатных месторождений имеет мощность вскрыши до 10 м при средневзвешенной мощности 8 м. Состав покрывающих пород: суглинки, пески, глины, под которыми залегают выветрелые карбонатные породы, перемешанные с суглинками, песками и глинами [1].

Пласты цементного сырья являются однородными, многосортными, содержат пропластки и прослои некондиционных по составу и прочности горных пород. Контакты между сортами полезного ископаемого и пропластками некондиционных горных пород могут быть как четко выраженными, так и неявными. Большинство карбонатных месторождений цементного сырья характеризуются наличием развитой системы трещин [1].

Применение горных комбайнов послойного фрезерования на карьерах позволяет повысить безопасность ведения горных работ за счет отказа от БВР, экологичность и эффективность [40; 60; 68]. Для обеспечения повышения эффективности переработки цементного сырья следует вовлекать в технологический процесс легко измельчаемые пористые и мергелистые разновидности известняков.

Реализация технологии разработки месторождений цементного сырья с использованием горных комбайнов послойного фрезерования, как альтернативы буровзрывной подготовки горных пород к выемке, проводится с применением различных видов транспорта. В современных условиях наиболее эффективными

являются поточные и циклично-поточные технологические схемы с использованием конвейерного транспорта непосредственно от забоя до мест переработки или складирования и с возможностью дробления горной массы непосредственно в забое.

Параметры и показатели системы открытой разработки месторождений цементного сырья, при проектировании горнотехнической системы с использованием горных комбайнов, следует определять с учётом горно-геологических условий и свойств обрабатываемых горных пород [53].

При разработке сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья на горизонтах ведения горных работ формируются зоны отработки, отдельные блоки, различающиеся качественными характеристиками горной массы [28; 85].

Технологические особенности рациональной разработки различных по структуре и морфологии комплексных месторождений сложного строения рассмотрены рядом авторов [4; 48; 89; 93].

Классификация участков месторождения в зависимости характера и сложности залегания рудных тел рассмотрена в работе [97], предложен и обоснован показатель, характеризующий особенности геологического строения.

Ряд характеристик строения месторождения признаны в проектной практике основополагающими для классификации по сложности залегания (физико-механические свойства горной массы, строение и мощность пластов и рудных тел) [8; 70; 92; 96].

Извлекаемая ценность полезного ископаемого является значимым показателем при обосновании потерь и разубоживания в процессе проектирования.

Классификация по сложности структуры рудных блоков месторождения с точки зрения строения рудопородных контактов рассмотрена в работах [15; 47; 69; 90].

Количественная оценка сложности блочной структуры месторождения приведена в работе [11]. Автором предложен и обоснован коэффициент сложности геолого-морфологического строения эксплуатационного рудного блока,

определяемый с учетом параметров экскавационной техники, отрабатывающей рудопородные контакты, потерь и разубоживания.

От особенностей строения и структуры месторождения, количества и параметров пластов кондиционной и некондиционной руды, прослоев вскрышных пород зависит выбор технологии усреднения качества, складирования и сортировки полезных ископаемых.

Для уменьшения вероятности недостижения проектного качества руды потребуются дополнительные затраты на эксплуатационную разведку месторождения.

Климатические условия применения горных комбайнов послыйного фрезерования оказывают влияние на производительность горнотранспортного оборудования. При сезонном применении горных машин Surface Miner (SM) необходимо обеспечивать перерабатывающее производство запасом минерального сырья на складах.

Анализ реализации технологии отработки комбайнами SM в Сербии и других странах позволил разработать рекомендации по рациональному их применению с учётом горно-геологических особенностей различных видов месторождений.

При разработке сложноструктурных месторождений цементного сырья, представленных блочным трещиноватым массивом с глинистыми прослойками, целесообразно применять эффективную технологическую схему при которой раздробленная рабочим органом фрезерного комбайна горная порода перед погрузкой в карьерные автосамосвалы додрабливается до требуемых кондиций в мобильной дробильно-сортировочной установке (ДСУ).

Анализ опыта применения при отработке карбонатных месторождений в Сербии комбайном Wirtgen 2500 SM, с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 8 \div 10$, показал, что расход резцов достигал 15 шт./1000 т извлечённой горной массы. Установлено, что надежность работы комбайна снижается из-за роста вибрации.

В современных условиях на карьерах по разработке солноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья главным образом применяются

горные комбайны для которых рабочей зоной является площадка уступа. В большей степени для таких горнотехнических условий приспособлены горные машины выпускаемые компанией Wirtgen, которые способны эффективно обрабатывать горные породы с коэффициентом крепости до 10.

При эксплуатации горных машин класса SM, на карьерах по добыче цементного сырья, надежность работы комбайна играет значительную роль и оказывает существенное влияние на производительность оборудования и результат реализации проектных решений.

Посредством применения методов и средств анализа надежности работы комбайна можно контролировать состояние горного оборудования, прогнозировать отказ отдельных компонентов конструкции до того, как они выйдут из строя, планировать надлежащий интервал технического обслуживания, а также снижать эксплуатационные затраты на техническое обслуживание.

С точки зрения обеспечения надежности, экономичности и эффективности управления ресурсами необходимо принять такое решение, которое является основным аспектом, требующим особого внимания и рассмотрения при проектировании горнотехнической системы и в процессе реализации технологии открытой разработки месторождения цементного сырья.

1.2 Анализ методологии проектирования открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений

В случае, когда месторождения цементного сырья характеризуются сложным строением разнокачественных пластов карбонатных пород, целесообразно использовать послойную технологию обработки, которая позволяет избежать загрязнения полезного ископаемого и производить его селективную выемку, обеспечивающую при селективной обработке рациональное недропользование за счёт уменьшения разубоживания и засорения.

Методы определения параметров и показателей открытой разработки месторождений с применением фрезерных горных комбайнов разрабатывались А.И. Арсентьевым, В.С. Хохряковым, Ю.Н. Малышевым, С.К. Коваленко, К.Ю. Анистратовым, М. Пихлером, Ю.Б. Панкевичем.

Добыча карбонатных горных пород при разработке сложноструктурных месторождениях может осуществляться разными технологическими способами. Один из них — валовая выемка, при которой вся разрушенная горная масса направляется на дробильно-сортировочную фабрику. При этом способе отработке достигается высокая производительность карьера по руде, однако он не эффективен в случае разработки месторождений цементного сырья со сложным залеганием пластов [63].

Альтернативный способ — отдельная отработка пластов малой мощности с использованием методов отдельного взрывания и сортировки горной массы в забое экскаватора. Однако, этот способ трудно реализуем и выполним при наличии визуально контролируемых и различимых пластов горной массы [72].

Применение фрезерных горных комбайнов для добычи цементного сырья позволяет осуществлять отработку месторождений без применения буровзрывных технологий.

Качество цементного сырья в процессе отработки месторождения с использованием фрезерных горных комбайнов во многом зависит от производственного опыта управляющего машиной персонала, рационального подбора типа резцов для конкретных свойств обрабатываемых горных пород [81; 98].

Применение технологии послойного фрезерования позволяет достичь рационального размера кусков, отделяемых рабочим органом от массива горных пород.

Анализ опыта эксплуатации горных комбайнов фрезерного типа при разработке месторождений цементного сырья позволил сделать заключение, что охранные зоны транспортных коммуникаций, технологические и урбанистические локации в непосредственной близости от мест ведения горных работ, могут быть эффективно и безопасно отработаны. В этом случае упрощается организация технологического процесса, сокращается количество применяемого при разработке горно-транспортного оборудования, что обеспечивает уменьшение эксплуатационных затрат.

Современные горные комбайны послойного фрезерования обеспечивают при разработке карбонатных месторождений выполнение требований к объёму и качеству добываемого в карьере цементного сырья, уменьшение потерь и разубоживания, рациональное недропользование, возможность отдельной отработки пластов малой мощности, повышение экологичности и безопасности ведения горных работ [80].

Решению проблем разработки сложноструктурных месторождений, развитию методов их проектирования, посвятили свои работы такие учёные, как М.И. Агошков, Н.В. Мельникова, Н.Н. Мельников, В.В. Ржевский, К.Н. Трубецкой, А.А. Пешков, В.Л. Яковлев, Ю.И. и К.Ю. Анистратовы, А.И. Арсентьев, С.Е. Гавришев, В.А. Галкин, С.В. Корнилков, С.П. Решетняк, А.Г. Секисов, А.В. Соколовского, П.И. Томаков, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков, В.С. Хохряков, А.Ю. Чебан, О.В. Шпанский, М.И. Щадов, Б.П. Юматов и ряд других.

Опыт применения фрезерных горных комбайнов при открытой разработке пластовых карбонатных месторождений, в различных горно-геологических условиях месторождений угля, гипса, бокситов, известняка, сланцев, рассмотрен в статьях [38; 42; 45; 82].

В работах [39; 41] проведён анализ применения фрезерных горных комбайнов в процессе разработки месторождений полезных ископаемых по послойно-полосовым технологическим схемам. Получены эмпирические зависимости изменения производительности комбайнов от прочности разрабатываемой горной массы.

А.И. Арсентьев, К.Н. Трубецкой, Ж.В. Бунин, А.И. Тушов, Р.А. Фидель, Б.П. Юматов, Г.А. Холодняков и С.Е. Корчагин провели исследования, направленные на разработку методов проектирования горно-строительных работ при открытой разработке месторождений полезных ископаемых [71; 95].

Однако, их работы, как правило, сосредоточены на рассмотрении методов проектирования карьеров, отрабатывающих крутопадающие месторождения со скальной горной массой. Методические рекомендации, изложенные в этих работах

не подходят к горно-геологическим условиям сложноструктурных месторождений цементного сырья.

В области методологии проектирования карьеров проводились исследования по развитию теории принятия решений в условиях неопределенности исходных данных, проектного риска, по разработке методов стохастического моделирования [6; 18; 87].

Фактор времени, ограниченность и неопределенность исходной проектной информации отражается на результате выбора принимаемых решений [86].

При проектировании карьеров исходные данные носят стохастический характер, поэтому целесообразно обосновывать область рациональных решений, а базу проектных данных рассматривать в виде распределений случайных величин, на основании которых компетентные эксперты могут принять окончательное решение [49; 107].

В работах [10; 12] А.И. Арсентьев рассматривал функции полезности для анализа влияния психологических аспектов на обоснование решений, принимаемых при проектировании карьеров. Автором предложено понятие функции опасения последствий увеличения риска, которое по смыслу является обратным функции полезности. В работах показано, что использование этих функций целесообразно для анализа влияния психологических отношений к риску при выборе рациональных проектных решений [57].

Принимаемые проектные решения содержат элемент неопределённости и связаны с определённым риском их реализации. В работе [9] А.И. Арсентьева рассматривается зависимость проектных решений от достоверности исходных технико-экономических данных, а также психологические и экономические аспекты риска при принятии проектных решений [26]. А.И. Арсентьев предложил на основе проведения риск-анализа проектных решений оценивать достоверность исходных данных носящих стохастический характер.

Вопросы проектирования систем открытой разработки пластообразных залежей полезных ископаемых нашли своё отражение в трудах таких выдающихся

учёных, как академик В.В. Ржевский, академик Н.В. Мельников, профессор М. Г. Новожилов и ряд других исследователей [36; 75; 77].

В работах М.Г. Новожилова подробно рассматривается метод проведения разделения горизонтальных месторождений на отдельные карьерные поля. В качестве критерия рациональности раскройки месторождения на карьерные поля, порядка и направления их отработки принимается обеспечение максимальной эффективности от реализации проекта [26].

При выборе приоритетного карьерного участка для начала открытой разработки месторождения в первые годы его отработки, ключевыми факторами являются минимальный коэффициент вскрыши и максимально возможная производительность [26].

В процессе разработки площадных сложноструктурных месторождений цементного сырья, как правило, возникает проблема недостаточно подготовленной транспортной структуры. Поэтому в период проведения горно-капитальных и горно-строительных работ возникает необходимость в создании инженерно-строительного и социального комплекса для реализации проекта горнодобывающего предприятия.

В процессе разработки инновационных технологий и оборудования для работы в карьерах необходимо сосредоточиться на решении задач, направленных на оптимизацию использования минеральных ресурсов, повышение эффективности извлечения из недр полезных ископаемых, снижение эксплуатационных затрат, увеличение производственной мощности и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду, а также на предотвращение производственного травматизма.

Одним из перспективных решений задач горного производства является внедрение безвзрывных технологий послойного фрезерования горных пород с использованием горных комбайнов Surface Miner» (SM), конвейерного карьерного транспорта и применения раздельной отработки разнокачественных пластов горной массы. Эти технологии могут быть реализованы с помощью машин с функцией послойного фрезерования горных пород.

В современных условиях компании производящие горнотранспортное оборудование для открытой разработки месторождений предлагают широкий спектр горных машин типа SM, адаптированных для безвзрывного фрезерования горного массива.

Конструкция горных комбайнов типа Continuous Surface Miner» (CSM) позволяет применять их при раздельной высокоточной отработке пластов разнокачественных горных пород переменной мощности, обеспечивающей рациональное недропользование, сокращение выбросов загрязняющих веществ и повышение экономической эффективности горных работ.

Анализ опыта применения машин CSM на горнодобывающих предприятиях цементной промышленности позволил обеспечить следующие результаты реализации безвзрывной технологии:

- значительно снизить содержание примесей в добываемом сырье, что в свою очередь позволяет сократить объёмы переработки в 1,5–2,5 раза;
- повысить качество добываемого полезного ископаемого, регулируя размер частиц отбываемого материала;
- исключить необходимость проведения в карьере буровых и взрывных работ;
- уменьшить эксплуатационные расходы на транспортировку горной массы и проведение добычных работ;
- обеспечить устойчивость бортов карьера на предельном контуре отработки месторождения;
- получить доступ к сопутствующим полезным ископаемым и возможность их отработки.

По принципу функционирования и особенностям конструкции комбайнов CSM могут быть классифицированы на несколько видов: агрегаты, оснащённые шнековыми и фрезерными механизмами; с роторными колёсами, которые могут быть расположены как в передней части, так и в задней части механизма; стреловые и фронтальные роторные машины [1].

В работах учёных, таких как Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевский и К.Н. Трубецкой, А.И. Арсентьев подробно описаны основы методов проектирования и организации горно-строительных работ карьеров. Эти методы получили в настоящее время дальнейшее развитие в исследованиях, посвящённых проектированию карьеров в современных условиях.

Из вопросов, связанных с проектированием горно-строительных работ на карьерах по разработке горизонтальных и пологих залежей, наиболее полно рассмотрен вопрос организации проведения вскрывающих и подготовительных выработок [46].

В научных трудах, направленных на оптимизацию процессов разработки месторождений, исследуется вопрос о конфигурации подготовительных выработок при разработке группы карьеров как единой горнотехнической системы [105; 109].

В работе [54] К.Н. Трубецкого предложена методика определения производительности горных фрезерных комбайнов по аналогии с методикой, применяемой при проектировании отработки месторождений с использованием для роторных экскаваторов.

В случае, когда создаются технологические схемы при транспортировании горных пород конвейерами, ключевую роль играют механизмы, которые обеспечивают технологическую совместимость горнотранспортного оборудования в единой системе-карьер.

Для того, чтобы выбрать технические средства, позволяющие обеспечить поточность горного производства, можно сравнить варианты выбора параметров системы разработки и оценить результаты работы оборудования. Однако, при таком подходе не учитываются горнотехнические условия разработки месторождений со сложной геологической структурой.

Для разработки карбонатных месторождений цементного сырья характерен способ вскрытия, при котором система транспортных коммуникации в карьере окончательно формируется при завершении горно-капитальных или горно-строительных работ и поддерживается в стационарном положении на протяжении этапа отработки месторождения.

До настоящего времени методы проектирования карьеров по добыче цементного сырья с использованием комбайнов послойного фрезерования, с учетом горнотехнических и горно-геологических особенностей отработки сложноструктурных карбонатных месторождений, не получили в необходимого обоснования и развития [20]. При существующем подходе невозможно учесть изменения качества полезного ископаемого не только на весь срок отработки карбонатных месторождений, но и на более короткие периоды [26].

1.3 Обоснование развития методов определения параметров карьеров при отработке сложноструктурных карбонатных месторождений в современных условиях

Значительный вклад в развитие методологии проектирования карьеров и теории определения параметров и показателей систем разработки, производственной мощности горнодобывающих предприятий внесли такие учёные как А.И. Арсентьев, В.В. Ржевский, П.Э. Зурков, Е.И. Васильев, Н.Г. Капустин, К.Н. Трубецкой, Г.А. Холодняков, О.В. Шпанский, С.П. Решетняк, С.И. Фомин и ряд других учёных.

Традиционная технология ведения горных работ в карьерах, предусматривающая буровзрывную подготовку горной массы к выемочно-погрузочным работам, характеризуется ростом эксплуатационных затрат, что обусловлено постоянным повышением цен на топливо, материалы и услуги, а также ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождений.

Способом уменьшения эксплуатационных затрат на экскавацию и транспортирование горной массы является применение инновационной технологии ведения горных работ – послойное фрезерование массива горных пород с применением горных комбайнов Surface Miner (SM).

Модификацией этих машин являются горные комбайны, которые ведут послойное фрезерование массива совмещённую с погрузкой горной массы и дроблением породы в забое до размера куска менее 50 мм (до 90 % от общего

объёма), позволяющую уменьшить эксплуатационные затраты на добычу и дробление горных пород.

Ряд методов определения производительности при проектировании карьеров основаны на оценке объёмов добываемых полезных ископаемых при максимально возможной интенсивности развития горных работ, как в глубину, так и в плане [9, 11, 14]. Такой подход обеспечивает определение и стабилизацию во времени отработки месторождения производительности карьеров по руде, вскрыше и горной массе на основе построения погоризонтных планов, учитывая мощность и строение рудных тел, вмещающих и покрывающих вскрышных пород, систему разработки, способ вскрытия, направление углубки и развития фронта горных работ, вид горнотранспортного оборудования.

В работе [8] А.И.Арсентьев выделял две главные группы методов определения годовой производительности карьеров: по горнотехническим возможностям и по экономическим показателям.

Известно, что одним из главных параметров карьера является длина фронта горных работ, обеспечивающая достижение проектной производственной мощности предприятия. В свою очередь длина фронта работ складывается из длины экскаваторных блоков, количество которых определяется их производительностью по добыче и производственной мощностью карьера в целом [26]. Академик Мельников Н.В. рекомендовал в своей работе рациональную длину экскаваторного блока определять с учетом ряда горнотехнических и экономических факторов.

Академик Ржевский В.В. предлагал определять оптимальную длину фронта работ с учётом мощности разрабатываемого пласта. В работе доказано, что уменьшение длины экскаваторного блока вызывает увеличение продолжительности простоев горнотранспортного оборудования и уменьшение производительности технологической системы. Превышение рациональной длины фронта горных работ сопряжено с увеличением дальности транспортирования горной массы, протяжённости коммуникаций и росту эксплуатационных затрат.

Вопросы принятия проектных решений по оптимизации способа вскрытия рабочих горизонтов карьера связаны с технологическими особенностями проведения как добычных, так и вскрышных работ [59; 67; 73].

Работа [91] посвящена оценке вариантов и способов вскрытия рабочих горизонтов карьера с использованием различных видов вскрывающих выработок.

При проектировании открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья на рабочих горизонтах карьера целесообразно определять параметры выемочных единиц, характеризующиеся определенными горно-геологическими особенностями и свойствами [50; 52]. Рациональная технологическая схема и система открытой разработки сложноструктурных месторождений должны определяться с учетом формы и размера рудных тел, условий залегания, физико-механических свойств горных пород, распределения содержания полезных компонентов, обводненности месторождения. По этим характеристикам сложноструктурные месторождения можно классифицировать на 4 типа. Сложноструктурные карбонатные месторождения, как правило, отличаются строением пластов переменной мощности с различными углами падения и прослойками некондиционных и вскрышных пород [26].

В работе [88] изложена классификация участков месторождения по сложности строения, введено понятие коэффициента сложности геолого-морфологического строения.

В работе Н.С. Авраамовой [2] рассмотрена технико-экономическая оценка возможности отдельной отработки сложноструктурных месторождений с использованием горных комбайнов послойного фрезерования. Автором доказано, что минимальная кондиционная выемочная мощность пласта полезного ископаемого зависит от угла падения залежи, высоты уступа и от вида и параметров выемочного оборудования.

Техническая производительность комбайнов послойного фрезерования определяется с учетом обеспечения безопасной и эффективной загрузки карьерного автотранспорта во время рабочего хода комбайна. Анализ совместной эксплуатации фрезерных комбайнов и транспортных мобильных средств на

карьерах цементного сырья позволил установить снижение эффективности погрузочных работ, уменьшение надёжности работы механизмов, связанные с повышением скорости перемещения комбайнов в процессе добычных работ (до 30 м/мин). Как показали исследования и хронометраж работы горных комбайнов на карьерах-аналогах рациональная величина скорости комбайна рабочим ходом должна поддерживаться в пределах 50-160 м/ч [81].

Применение комбайновой технологии при разработке сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья сокращает потребность в дополнительном дроблении, так как максимальный размер куска горной массы, отделённый рабочим органом от массива, значительно меньше по сравнению не только с традиционной буровзрывной технологией, но и с технологией добычи с применением различных рыхлительных агрегатов. В связи с тем, что комбайны извлекают горную породу в забое более мелкой фракции, загрузка транспортных сосудов происходит с большей плотностью, увеличивается коэффициент использования грузоподъёмности автосамосвалов и сокращаются транспортные расходы.

Применение тонко-слоевой технологии разработки месторождений цементного сырья обеспечивает ровную поверхность рабочих площадок, что способствует уменьшению износа ходовой части механизмов подвижного состава.

В процессе проектирования, при определении параметров показателей системы разработки полезных ископаемых, с применением горных фрезерных комбайнов, следует принимать во внимание мощность пластов, угол падения залежи, физико-механические свойства горной массы и производительность карьера. В работах [29; 79] установлено, что производительность фрезерных комбайнов повышается при увеличении длины фронта работ и при уменьшении продолжительности операций по развороту в конце заходки и маневрированию.

1.4 Выводы по Главе 1

1. Сложноструктурные карбонатные месторождения цементного сырья характеризуются сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки и морфологией. Как правило, это группа площадных

месторождений или участков, включающая несколько пластов известняка и пропластков вскрыши с изменчивостью содержания полезных ископаемых и вредных примесей в известняке, условий залегания и мощности залежи.

2. Методология проектирования открытой разработки для различных видов минерального сырья имеет определенные особенности, однако основополагающие методические подходы и положения в общем виде могут применяться для проектирования карьеров по разработке широкого спектра минерального сырья, в том числе карбонатных пород, добываемых для производства цемента.

3. В современных реалиях методы определения параметров и показателей систем разработки карьеров цементного сырья с применением комбайнов послойного фрезерования с учетом горнотехнических и горно-геологических особенностей отработки сложноструктурных карбонатных месторождений нуждаются в совершенствовании и корректировке. Существующая теоретическая база не позволяет принять во внимание стохастический характер исходной геологической информации, качества полезного ископаемого, возможные изменения проектной базы данных во времени отработки карбонатных месторождений.

4. Основным проектным документом на строительство объектов является, как правило, технико-экономическое обоснование (проект) строительства. На основании утвержденного в установленном порядке ТЭО (проекта) строительства разрабатывается рабочая документация.

Для технически сложных объектов горного производства и при особых природно-географических условиях по решению заказчика или заключению государственной экспертизы по рассмотренному проекту, одновременно с разработкой рабочей документации и осуществлением строительства карьера могут выполняться дополнительные детальные проработки отдельных разделов, обоснования проектных решений по некоторым объектам, разделам и вопросам горного производства.

ГЛАВА 2 СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ НА КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИН ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

2.1 Анализ технологии послойного фрезерования карбонатных горных пород

Анализ опыта использования горных комбайнов фрезерного типа для разработки карбонатных месторождений цементного сырья позволяет сделать вывод, что применение этих машин эффективно в урбанизированных районах разработки с развитой инфраструктурой, коммуникациями и в непосредственной близости к охраняемым зонам, обеспечивает рациональное недропользование.

Применение фрезерных комбайнов «Surface Miner» (SM) на выемке полезного ископаемого обеспечивает сокращение количества операций в горном цикле и количества технологического оборудования, что ведёт к снижению эксплуатационных затрат на добычу и получение конечной продукции цементного производства необходимого качества [17].

Некоторые месторождения цементного сырья имеют геологическое строение, характеризующееся крупными и весьма мощными, реже средними по размерам пластами полезных ископаемых, с ненарушенной или слабо нарушенной структурой залегания, характеризующейся устойчивой мощностью и внутренним строением, равномерным распределением качества полезного ископаемого.

Горные фрезерные комбайны Wirtgen обладают рядом положительных характеристик конструкции и зарекомендовали себя как надёжные в эксплуатации эффективные горные машины для тонкослойной выемки горных пород, однако имеются проблемы в их применении в случае необходимости маневрирования в рабочей зоне при разработке сложноструктурных карбонатных месторождений. Эти проблемы объясняются особенностью конструкции рабочего органа, расположенного в средней части комбайна. Конструкция этой модели горного комбайна напоминает по принципу работы скрепер, а применение скреперов в процессе открытых горных работах весьма ограничено.

В связи с этим, очевидно, что для внедрения технологии послойного фрезерования при разработке месторождений в современных условиях, часто

отличающихся значительной сложностью геологического строения (2-ая и 3-я группы Классификации ГКЗ), необходимо применение более маневренного современного горного оборудования. В качестве альтернативы комбайнам фирмы Wirtgen можно рассматривать вариант использования при добыче более маневренных машин фирмы Man Takraf, фрезерный вал у которых расположен впереди ходовой части и кабины оператора, т.е. конструкция комбайна фирмы Man Takraf технологически схожа с конструкцией бульдозера, у которого вместо ножа установлен фрезерный вал.

Поэтому горный комбайн фирмы Man Takraf, так же как и бульдозер, можно рекомендовать к использованию в различных горно-геологических условиях, в породах крепостью менее 10 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова.

Современные технологии послойного фрезерования при разработке месторождений открытым способом являются альтернативой применению буровзрывного способа подготовки пород к выемке.

Конструкция комбайна послойного фрезерования Terrain Leveler позволяет с высокой точностью по мощности пластов, послойно отрабатывать массив горных пород, что обеспечивает возможность отказа от стадии первичного и вторичного дробления и получение конечного продукта непосредственно в забое [62].

Универсальность комбайнов Terrain Leveler заключается в том, что они могут применяться для проведения как добычных, так и вскрышных работ, при зачистке рабочих площадок, транспортных коммуникаций, для проведения траншей.

Преимущество конструкции комбайнов Terrain Leveler в простоте конструкции с задним расположением фрезерного барабана, где не предусмотрена погрузка в транспортные средства дроблёных горных пород, а рабочий орган находится на удалении от основного механизма, обеспечивая снижение ударных нагрузок и вибрации [62].

Анализ данных о работе комбайнов послойного фрезерования показывает, что их производительность и эффективность применения зависит физико-механических свойств отрабатываемых горных пород, горнотехнических и климатических условий эксплуатации [23; 61; 78]. Рабочий органа комбайна Terrain

Leveler вращается сверху вниз по ходу подачи, обеспечивая рациональные условия отработки горного массива.

Одним из горнотехнических факторов, влияющих на определение области рационального применения фрезерных комбайнов, является наработка на отказ резцов, характеризующая степень их износа. Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что рациональной по физико-механическим свойствам областью использования горных комбайнов являются породы с крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова от 3 до 10 [43; 44; 84], хотя существуют и примеры применения этих агрегатов и на отработке горной массы с коэффициентом крепости до 18 (например, разработка железорудного месторождения в Австралии).

Экскавация горной массы, как правило, проводится фронтальным погрузчиком при стабилизации гранулометрического состава и минимизации разубоживания полезного ископаемого [62].

Эффективность работы горного комбайна Terrain Leveler определяется такими характеристиками, как динамика перемещения по фронту в рабочей зоне карьера, параметры забоя, протяженность рабочего хода, особенности конструкции и применяемой технологии отработки.

Эксплуатационная производительность A (млнм³/ год) комбайна Terrain Leveler при разработке карбонатных месторождений цементного сырья определяется по формуле (2.1) [62]:

$$A = \frac{60 \cdot H \cdot B \cdot L_F \cdot K \cdot T \cdot K_B \cdot N}{t_D + t_U + \frac{L_F}{V} + t_M} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \rho} \cdot m \cdot n \cdot K_T \cdot K_S \cdot K_K, \quad (2.1)$$

где H – мощность отрабатываемого слоя горных пород, м;

B - ширина забоя комбайна, м;

L_F - протяженность рабочего хода, м;

K - коэффициент использования комбайна во времени;

K_B – коэффициент, характеризующий сложность строения месторождения;

t_D, t_U – продолжительность подготовительных операций до начала отработки заходки, мин.;

V - интенсивность перемещения комбайна рабочим ходом, м/мин.;

η - коэффициент потерь полезного ископаемого;

ρ - коэффициент разубоживания полезного ископаемого;

m - количество комбайнов, расположенных на рабочем горизонте, шт.;

n - количество одновременно отрабатываемых горизонтов, шт.;

K_T - коэффициент, учитывающий продолжительность планово-профилактического обслуживания горного комбайна;

K_S - коэффициент, учитывающий продолжительность профилактического обслуживания рабочего органа комбайна;

t_M - продолжительность разворота комбайна в конце заходки для обратного хода, мин.;

K_K - коэффициент, учитывающий влияние климатических условий на производительность комбайна;

T - продолжительность рабочей смены, ч.;

N - количество смен работы комбайна в год, смен.

Крепость отрабатываемых комбайном горных пород оказывает существенное влияние на производительность, эффективность и надёжность работы оборудования, эксплуатационные затраты.

Конструкция комбайна Terrain Leveler обеспечивает эффективную его работу на узких участках карьера с уклоном рабочей площадки до 20^0 , сокращение эксплуатационных затрат на строительство и подготовку внутри карьерных транспортных коммуникаций [62].

Реализация технологии послойного фрезерования позволяет уменьшить отделяемый от массива рабочим органом комбайна размер куска горной породы и сократить потребность в дополнительном измельчении горной массы, повысить эффективность применения карьерных автосамосвалов.

В таблице 2.1 представлены данные по производительности фрезерного комбайна Terrain Leveler в различных горнотехнических условиях эксплуатации на карьерах по добыче цементного сырья.

Таблица 2.1 – Данные по производительности фрезерного комбайна Terrain Leveler в различных горнотехнических условиях эксплуатации на карьерах по добыче цементного сырья (составлено автором)

Горная порода	Прочность пород, МПа	Производительность, м ³ /ч	Глубина фрезерования, мм
Известняк слоистый	720	380	510
Известняк монолитный	830	70	290
Сланцевая глина	220	660	610
Гипс	250	85	190

На рисунке 2.1 представлен график зависимости годовой производительности комбайна Terrain Leveler от прочности пород на одноосное сжатие.

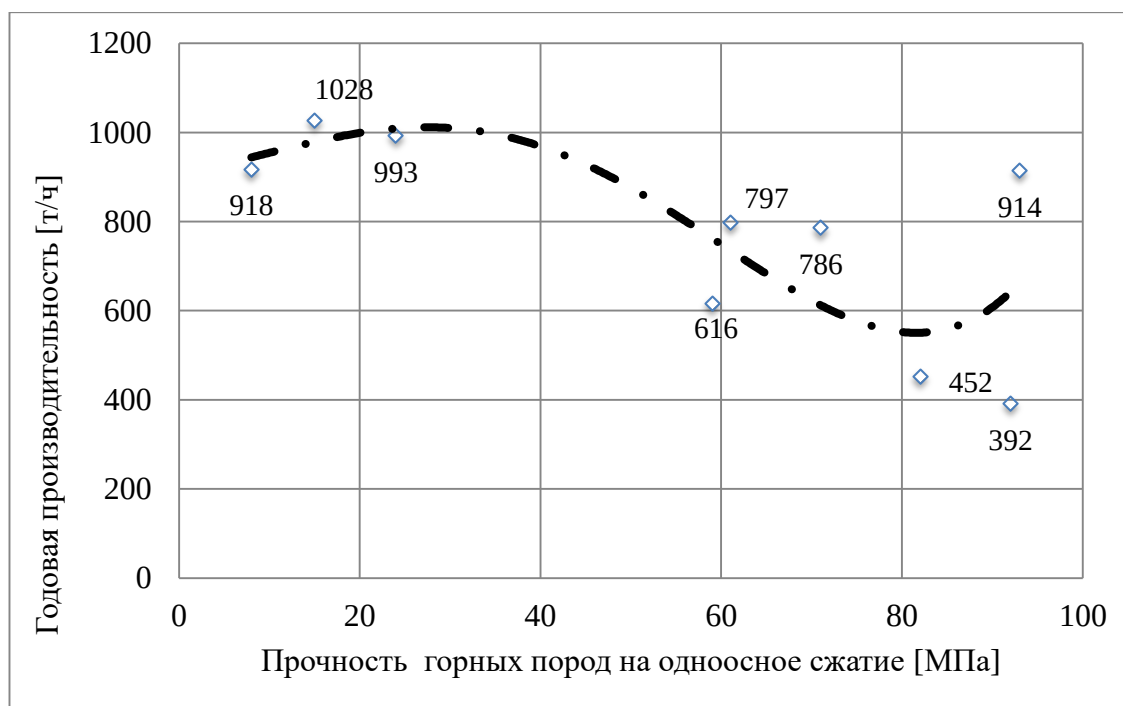


Рисунок 2.1 – График зависимости годовой производительности комбайна Terrain Leveler от прочности горных пород на одноосное сжатие, МПа (составлено автором)

Использование горных комбайнов на разработке карбонатных месторождений цементного сырья позволяет вовлечь в отработку тонкие и некондиционные пласты, стабилизировать параметры рабочей зоны, повысить эффективность работы горно-транспортного оборудования, обеспечить

рациональное недропользование за счёт снижения потерь, засорения и разубоживания.

В работах [25; 31] автором установлено, «что в среднем продолжительность погрузки автосамосвала грузоподъемностью 28 т составило около 2 мин. Анализ опыта эксплуатации фрезерных комбайнов на добыче известняка показал, что время, затрачиваемое на разворот комбайна для фрезерования в обратном направлении, изменялось от 8 до 14 мин., составляя в среднем 10 мин. 30 с. Время на замену автосамосвала у комбайна в процессе выполнения им погрузочных работ, составляло в среднем около 30 с. При сокращении фронта работ с 200 м до 100 м количество разворотов увеличилось с одного до пяти, а общее время, затрачиваемое на развороты комбайна, выросло с 8 до 30 мин., что существенно влияет на его производительную работу [63].

Эффективность применения фрезерных комбайнов на карьерах по отработке месторождений цементного сырья зависит от организации горных работ, вида реализуемой технологической схемы, параметров системы разработки [62].

При использовании технологической схемы отработки эксплуатационного блока параллельными заходками целесообразно реализовывать циклично-поточную или поточную технологию отработки с возвращением агрегата холостым ходом в начало рабочей заходки, с организацией опережающей проходки врубовых выработок

В случае применения циклических технологических схем послойную отработку блоков следует вести с организацией опережающей проходки врубовых выработок, параметры которых зависят от типоразмеров комбайна.

Челноковая технологическая схема работы комбайна реализуется при небольшой длине эксплуатационного блока, определяемой временем поворота в конце заходки, которое превышает продолжительность обратного хода. Последовательность отработки при челноковой технологической схеме включает заезд машины из врубовой выработки на полосу выемки горных пород, тонкослоевую её отработку до въезда в противоположную врубовую выработку, с

последующим движением задним ходом в начальное положение. Затем рабочий цикл комбайна повторится [62].

На рисунках 2.2 и 2.3 представлены технологические схемы обработки эксплуатационного блока фрезерным комбайном Terrain Leveler [62].

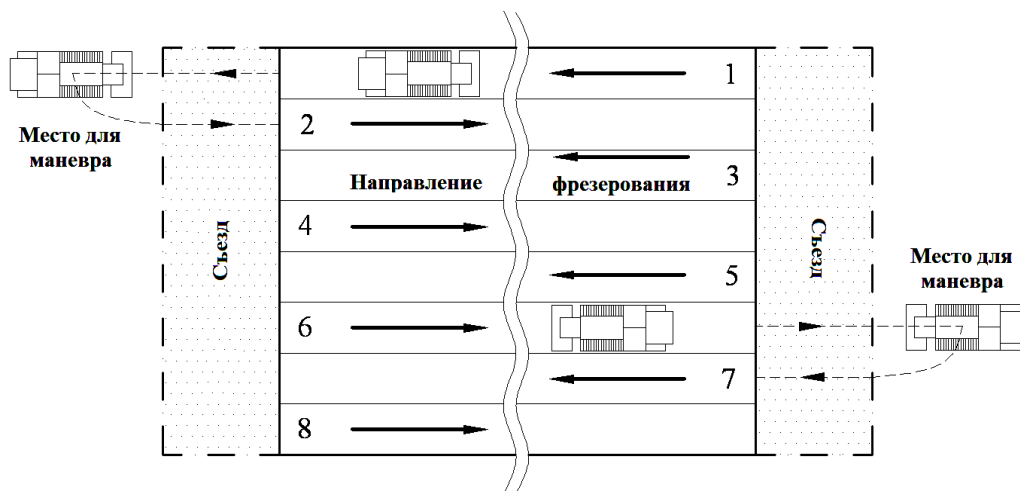


Рисунок 2.2 - Технологическая схема обработки эксплуатационного блока фрезерным комбайном Terrain Leveler параллельными заходками [62]

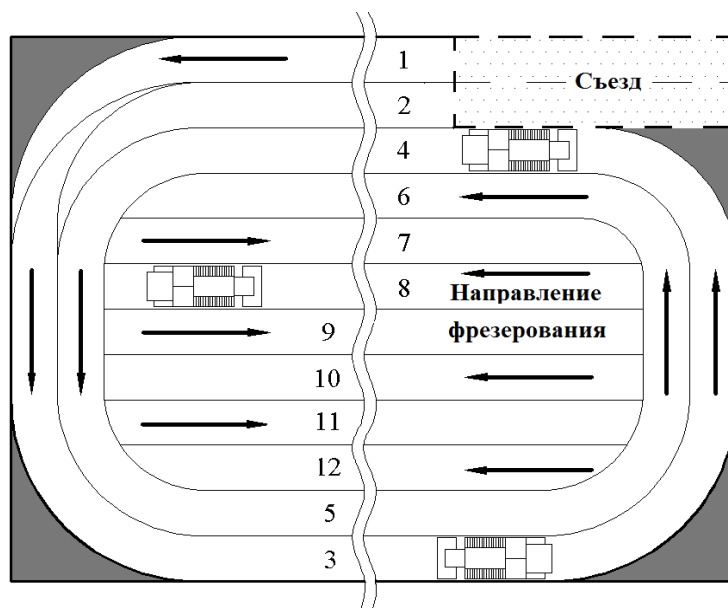


Рисунок 2.3 – Технологическая схема челноковой обработки эксплуатационного блока фрезерным комбайном Terrain Leveler [62]

Перед обработкой эксплуатационного блока, для обеспечения последующей производительной работы горного комбайна, следует провести ряд мероприятий:

- выровнять микрорельеф рабочей площадки;

- при развитии горных работ отработку каждого слоя следует начинать с проходки по коротким сторонам площадки врубовых выработок;
- начать проведение горных работ комбайном с выполнения последовательно нескольких параллельных фронтальных проходов [62].

Применение технологической схемы работы горного комбайна без холостых проходов по фронту горных работ является эффективной в случае большой протяжённости рабочей зоны карьера.

При этом ширина врубовых выработок должна обеспечивать поточную работу комбайна с минимальным радиусом разворота в конце заходки [62].

При определении продолжительности одного рабочего хода горного комбайна необходимо учитывать особенности применения различных технологических схем отработки месторождения.

Рациональная производительность фрезерного комбайна достигается при длине эксплуатационного блока и фронта горных работ, обеспечивающей непрерывную поточную отработку месторождения с минимальным количеством вспомогательных технологических операций и холостых заходов [62].

На рисунке 2.4 представлен график зависимости производительности фрезерного комбайна Terrain Leveler от длины эксплуатационного блока для горнотехнических условий карьера разрабатывающего месторождение цементного сырья [62].

В результате анализа результатов применения машин послойного фрезерования установлено, что рациональная производительность фрезерного комбайна достигается при реализации поточных технологических схем.

При большом весе горного комбайна уменьшается уровень вибрации, что способствует увеличению срок службы отдельных компонентов рабочего органа агрегата, таким образом, устраняется проблема необходимости частого технического обслуживания и как следствие значительно сокращаются эксплуатационные затраты на ведение горных работ.

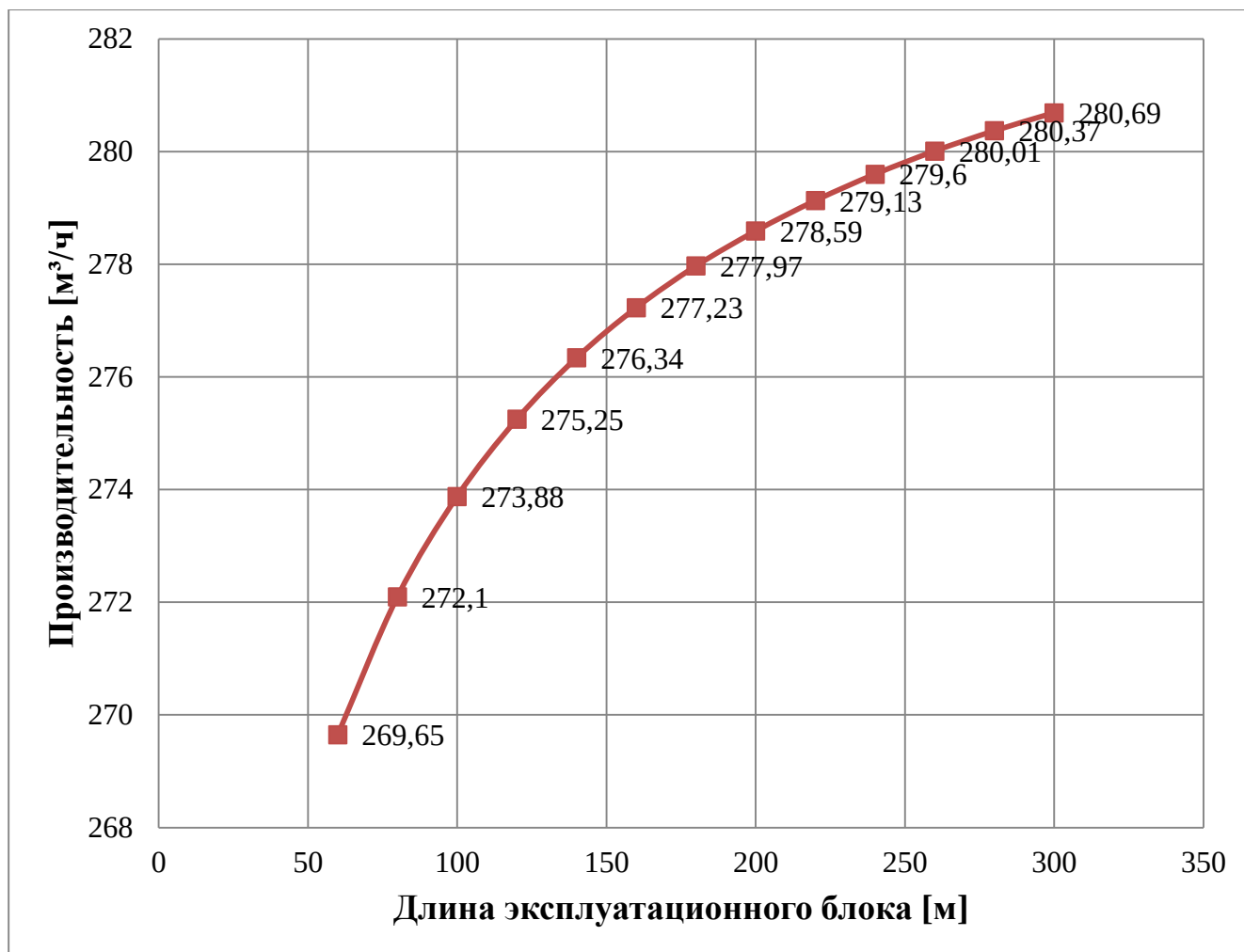


Рисунок 2.4 – График зависимости производительности фрезерного комбайна Terrain Leveler от длины эксплуатационного блока для горнотехнических условий карьера разрабатывающего месторождение цементного сырья [62]

Применение карьерного фрезерного комбайна SM позволяет обеспечить подавление пыли, так как агрегат оборудован собственной системой водоорошения, а использование поливочных машин на автодорогах полностью исключили проблемы пылеобразования при ведении горных работ на карьерах.

При вводе горного комбайна в эксплуатацию размеры первоначальной площадки составляют 150 м в длину и 40 м в ширину.

Анализ данных о результатах работы горных комбайнов на карьерах по добыче цементного сырья позволяет сделать ряд выводов [62]:

- применение буровзрывного способа подготовки горной массы к отработке не позволяет сформировать рабочую зону за счёт отработки сложноструктурных месторождений цементного сырья тонкими слоями, что приводит к увеличению

потерь и разубоживания, необходимости проведения валовой выемки разнокачественных и некондиционных слоёв горных пород.

- при отработке горных пород прочностью на одноосное сжатие 60-100 МПа, возможно увеличение производительности за счёт использования комбайна большего типоразмера, обладающего большим весом и удельной нагрузкой рабочего органа на забой. Увеличение веса комбайна обеспечивает лучшее воздействие резцов барабана на забой, способствует росту тягового усилия посредством концентрации значительных динамических сил.

- применяемые для разработки месторождений цементного сырья типоразмеры комбайнов послойного фрезерования различаются величиной эксплуатационной производительности, характеризуются различным уровнем вибрации рабочего органа, наработки на отказ, надёжности работы механизма, коэффициента технической готовности, срока амортизации комбайна и продолжительности эксплуатации отдельных узлов рабочего органа.

- эксплуатационная производительность комбайна послойного фрезерования уменьшается при увеличении крепости разрабатываемых горных пород, уменьшении трещиноватости разрабатываемого массива, увеличивается с ростом скорости движения комбайна по фронту горных работ и мощности слоя фрезерования.

2.2 Оценка надёжности работы технологических комплексов карьеров по добыче цементного сырья

Техническая система – карьер формируется из отдельных взаимосвязанных звеньев горнотранспортного оборудования, обеспечивающих выполнение основных технологических процессов.

Вероятность выполнения заданных функций системы, состоящей комплекса горнотранспортных машин, при достижении основных проектных показателей карьера, характеризует надёжность работы карьера в заданных условиях эксплуатации.

Производственная линия, состоящая из последовательно взаимодействующих горных машин в каждом компоненте, является структурной единицей производственного комплекса. При остановке любого элемента производственной цепи происходит выход из эксплуатации всей технологической системы-карьер.

Надежность технической системы $K_{гк}$, можно оценить через коэффициент готовности, характеризующий вероятность работоспособности горного комбайна в определённый период работы (2.2) [76]:

$$K_{гк} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i} \cdot (n - 1)}, \quad (2.2)$$

где K_i - коэффициент готовности i -го звена технической системы;

n - количество звеньев в технологической цепи.

Под технологической системой подразумевается совокупность элементов, объектов, объединенных регулярным взаимодействием или некоторой взаимной зависимостью и обеспечивающих выполнение определенных производственных функций [35].

Коэффициент готовности технологической цепи (2.3) [76]

$$K_{гi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{пи}}, \quad (2.3)$$

где t_{pi} - время исправной работы технологической цепи i -го уступа;

$t_{пи}$ - время вынужденного простоя технологической цепи i -го уступа;

n — число перерывов в работе за оцениваемый период, включая отказы, остановки на планово-профилактическую профилактику.

Продолжительность работы горного комбайна между двумя смежными отказами определяет наработку на отказ.

Для оценки вероятности достижения проектной производительности карьера, при обеспечении установленных параметров и показателей системы разработки карьеров, разрабатывающих месторождения цементного сырья горными комбайнами, необходимо рассматривать такие факторы как организация отработки во времени и пространстве, взаимодействие и взаимозависимость

элементов технологической цепи, наработка оборудования на отказ [16].

В результате анализа влияющих на надёжность работы технологической системы факторов установлено:

1. Время надёжной работы технологической системы T_p (ч/год), отрабатывающей месторождения цементного сырья горными комбайнами определяется по формуле (2.4) [1]:

$$T_p = K_{\text{И}} \cdot (N_{\text{Г}} \cdot T_{\text{СМ}} - K_{\text{П}} \cdot \Pi), \quad (2.4)$$

где $K_{\text{И}}$ - коэффициент использования горного комбайна в рамках технологической системы;

$N_{\text{Г}}$ - количество смен работы, смен/год;

$T_{\text{СМ}}$ - продолжительность рабочей смены, ч;

$K_{\text{П}}$ - количество технологических простоев в работе карьера в течение года;

Π - продолжительность простоя при технологических остановках в работе карьера, ч.

При использовании машин послойного фрезерования продолжительность работы карьера без технологических простоев, по сравнению с традиционной технологией, увеличивается, т.к. отсутствует необходимость организации и проведения буровзрывных работ.

2. Вероятность безаварийной работы транспортной составляющей технологической системы найдется как (2.4):

$$P_n = \frac{1}{1 + 0.0417 \cdot n}, \quad (2.4)$$

где n – количество элементов транспортной системы.

3. Время на планово-профилактические остановки транспортной системы составляет (2.5):

$$T_n = T_{\text{тр}} + T_{\text{рл}}, \quad (2.5)$$

где $T_{\text{тр}} = \frac{P_n + T_p}{500 + 24} \cdot 24$ — продолжительность текущего ремонта транспортного оборудования, ч/год;

$T_{\text{рл}} = 48 \cdot n$ — продолжительность простоев транспортного оборудования, ч/год.

Тогда, с помощью математических преобразований формул 2.3-2.5 получим следующую зависимость для вычисления времени на планово-профилактические остановки транспортной системы (ч/год) (2.6):

$$T_n = \frac{0,9893 \cdot (N_r - 4)}{1 + 0,0417 \cdot n}, \quad (2.6)$$

4. Продолжительность работы транспортного оборудования с учётом вероятности безаварийной работы транспортной составляющей технологической системы определяется в виде (2.7 и 2.8):

$$T_{кл} = P_n \cdot T_k - T_n, \quad (2.7)$$

или

$$T_{кл} = \frac{20,6}{1 + 0,0417 \cdot n} \cdot (N_r - 4) - 48 \cdot n, \quad (2.8)$$

Производственная мощность технологических комплексов по добыче цементного сырья с использованием машин послойного фрезерования должна соответствовать проектной провозной и пропускной способности транспортных коммуникаций карьера.

В случае, если месторождение цементного сырья представлено разнокачественными полезными ископаемыми, необходимо определять производительность карьера по каждому сорту в рамках каждого этапа отработки месторождения. При разработке однородного по качественным характеристикам месторождения, для поддержания проектного качества в течение относительно длительного периода времени эксплуатации, требуется определять объёмы добычи по выемочным единицам блоков. Таким образом, возникает задача обеспечения объемов добычи отдельных сортов полезного ископаемого a_1, a_2, a_3, a_n , определяемых по соотношению этих сортов по этапам отработки запасов месторождения.

Разделение объема добычи по сортам или выемочным единицам целесообразно проводить пропорционально запасам каждого сорта или блока выемочной единицы можно определить в следующем виде (2.9):

$$a_i = \frac{q_i}{Q_{об}} \cdot A_K, \text{ млнт}, \quad (2.9)$$

где q_i - запасы полезного ископаемого i -го сорта, млн т.;

A_K - производительность карьера по полезному ископаемому, млн т/год;

$Q_{об} = \sum_1^n q_i$ – суммарные запасы полезного ископаемого по месторождению или этапу отработки по всем сортам, млн т.

Таким образом (2.10):

$$\sum_1^n a_i = A_K \quad (2.10)$$

Для выполнения требования перерабатывающего или обогащательного производства к качеству полезного ископаемого в карьере должны добываться объёмы, позволяющие обеспечить усредненное качество с определёнными допустимыми технологическими отклонениями.

В реальных условиях разработки месторождения, при принятом в проекте направлении развития фронта горных работ, качество полезного ископаемого будет отличаться от среднего в рассматриваемый период.

Таким образом, требуется определить величины запасов полезного ископаемого по степени подготовленности к добыче, обеспечивающих усреднённое качество с допустимыми заданными отклонениями.

При одинаковой высоте уступов объёмы добываемых сортов за каждый интервал времени составляет (2.11):

$$a_i = \frac{\sum_1^S l_i}{L_\phi} \cdot h_y \cdot b, \quad (2.11)$$

где $\sum_1^S l_i = L_i$ - суммарная длина участков полезного ископаемого i -го сорта;

h_y - высота уступа, м;

b - среднее продвижение фронта добычных работ за рассматриваемый интервал времени, м;

$L_\phi = \sum_1^h \sum_1^S l_i$ - общая длина фронта работ по полезному ископаемому, м;

n - число сортов полезного ископаемого;

S - число вовлекаемых по фронту горных работ в отработку прослоев i -го сорта полезного.

Объем добычи полезного ископаемого по каждому сорту пропорционален длине фронта работ.

При разработке горизонтальных и слабонаклонных месторождений, со сравнительно выдержанной морфологией поверхности, текущий коэффициент вскрыши на протяжении всего периода разработки остается постоянным или незначительно изменяется. В этом случае проблема распределения вскрыши по годам разработки не возникает, а ширина рабочих площадок на вскрышных горизонтах остается в течение всего периода разработки более или менее постоянной. В таких горно-геологических условиях ширину рабочей площадки на вскрышных горизонтах необходимо определять только с учетом взаимодействия смежных вскрышных уступов.

Ритмичность и стабильность добычи полезного ископаемого в карьере может быть нарушена из-за неравномерности удаления вскрышных пород, возможных отклонении фактического времени вскрытия и подготовки новых горизонтов от планируемого, не подтверждения балансовых запасов в контуре карьера, резкого изменения содержания полезных компонентов по месторождению.

Созданием определенного страхового запаса руды в карьере можно уменьшить либо полностью устранить влияние этих факторов на работу добычного участка. Такую функцию страхового запаса выполняют в карьере подготовленные запасы руды. Недостаточная величина этих запасов ставит под угрозу выполнение плана по добыче, переработке и выпуску товарной продукции.

Надёжность работы технологических схем с использованием машин послойного фрезерования определяется с учётом структуры технологического процесса, производительности горнотранспортных машин и механизмов.

2.3 Анализ технологических особенностей применения горных комбайнов при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений цементного сырья

Повышение эффективности технологии послойного фрезерования комбайнами Surface Miner достигается при реализации поточной технологической схемы отработки месторождения, обеспечивающей качественное дробление горной массы рабочим органом агрегата.

В таблице 2.2 представлены данные по результатам дробления горной массы рабочим органом горного комбайна на карьере по добыче цементного сырья.

Таблица 2.2 – Данные по результатам дробления горной массы рабочим органом горного комбайна на карьере по добыче цементного сырья (составлено автором)

Размер дроблёного куска, мм	Выход фракций		
	вес, кг	%	Итого, %
< 5	50,9	13,9	13,9
5-10	38,0	10,4	24,3
10-20	55,0	15,0	39,3
20-30	42,3	11,6	50,9
30-40	40,5	11,1	62,0
40- 50	60,3	16,5	78,5
50 – 150	61,4	16,8	95,3
>150	17,1	4,7	100,0
-	365,9	100,0	-

Для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья мощность фрезеруемого слоя горной породы составляет 40 - 45 см, рабочая скорость движения комбайна - 5 - 6 м/мин. Резцы имеют вставку в 22 мм. В различных горно-геологических и горнотехнических условиях карьеров по добыче цементного сырья выход фракции менее 50 мм может составить от 75 до 85 %. Крупное дробление при применении комбайнов Surface Miner не требуется, при этом значительно уменьшается нагрузка на среднее дробление.

С применением комбайнов Surface Miner значительно улучшаются экологические условия в районах ведения горных работ, повышается безопасность и эффективность разработки [30].

При работе с погрузкой горной массы в транспортные средства (рисунок 2.5) комбайны SM могут работать по следующим схемам [83]:

- с непосредственной погрузкой в карьерные автосамосвалы (рисунок 2.5а);
- с боковой отсыпкой в штабель, который образуется при отработке комбайном SM нескольких параллельных полос и последующей отгрузкой горных пород из штабеля комплексом «погрузочное средство – автосамосвал» (рисунок 2.5б);

- с выпуском горной массы из рабочей камеры фрезерного барабана, сзади по ходу движения комбайна и последующей отгрузкой горных пород из штабеля комплексом «бульдозер – погрузочное средство – автосамосвал» (рисунок 2.5в).

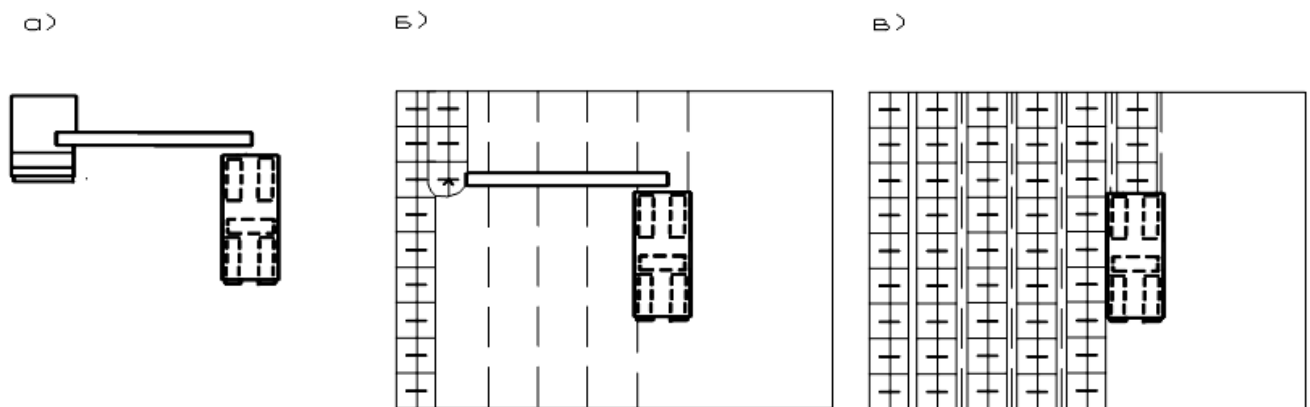


Рисунок 2.5 - Схемы работы комбайна SM по видам выгрузки горной массы: а) с непосредственной погрузкой; б) с боковой отсыпкой в штабель; в) с выпуском горной массы из рабочей камеры фрезерного барабана, сзади по ходу движения комбайна (составлено автором)

При технологической схеме, представленной на рисунке 2.5в, на рабочей площадке образуются валки.

При реализации технологической схемы с непосредственной погрузкой карьерных автосамосвалов (рисунок 2.5а) нет необходимости в переезжании, однако для обеспечения поточности процесс требует четкой организации работы карьерного транспорта.

Существенным недостатком характеризуется технологическая схема (рисунок 2.5в). После рабочего хода комбайна SM необходимо задействовать бульдозер для создания более высокого штабеля по обеспечению последующей

производительной работы пневмоколёсного погрузчика на загрузке горной массы в автосамосвалы.

Для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента Беочин (Сербия) установлено, что эффективность применения горных комбайнов повышается в случае работы с погрузкой в транспортные средства.

Сырьевой базой предприятия по производству цемента Беочин с годовой производительностью 1,6 млн т цемента являются месторождения карбонатных пород, отрабатываемые двумя карьерами с годовой производственной мощностью соответственно 0,9 и 1,4 млн т. Полезная толща является горизонтальной мощностью более 40 м [65].

В таблице 2.3 представлены основные показатели разработки месторождения цементного сырья «Муталь» в Беочине комбайнами послойного фрезерования SM. Таблица 2.3 - Показатели разработки месторождения цементного сырья «Муталь» в Беочине комбайнами послойного фрезерования SM [65]

Показатели	Цементный завод Беочин (Сербия)
Разрабатываемые горные породы	Известняк, мергель
Предел прочности на одноосное сжатие / среднее, МПа Коэффициент крепости по шкале М.М. Протоджяконова	25-75 / 50 5 - 6
Типоразмер горного комбайна	2500SM
Мощность фрезеруемого слоя, м	0,25
Скорость рабочего хода, м/мин	8
Производительность горного комбайна, т/ч	600
Расход резцов, шт. / 1000 т	3
Расход дизельного топлива, л/ч	81

На предварительной стадии проектирования карьеров предприятия по производству цемента Беочин (Сербия) были рассмотрены следующие варианты технологий отработки [65]:

- Вариант 1: Бульдозер-рыхлитель — пневмоколесный погрузчик — мобильный дробильный агрегат — забойный конвейер в контуре карьера, с

дальнейшим перемещением минерального сырья конвейером по поверхности к месту переработки;

- Вариант 2: Буровзрывные работы — пневмоколесный погрузчик — транспортирование карьерными автосамосвалами — дробление на борту карьера, с дальнейшим перемещением минерального сырья конвейером по поверхности к месту переработки;

- Вариант 3: Комбайн послойного фрезерования 2500 SM (отделение горных пород от массива и дробление) — транспортирование карьерными автосамосвалами — перегрузка на борту карьера, с дальнейшим перемещением минерального сырья конвейером по поверхности к месту переработки;

Анализ технико-экономических показателей для различных вариантов технологий отработки месторождения позволил установить, что при третьем варианте отработки месторождения карьером «Муталь» удельные затраты на добычу и переработку минерального сырья будут на 35-40 % ниже, чем при других вариантах [65].

По итогам работы комбайна послойного фрезерования Surface Miner для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента Беочин (Сербия) получены следующие выводы [65]:

- Послойное фрезерование горных пород комбайном послойного фрезерования SM, по сравнению с подготовкой пород к выемке буровзрывным способом, обеспечивает уменьшение расхода горюче-смазочных материалов на предприятии более, чем в 2 раза, уменьшению влажности добываемого полезного ископаемого и повышает энергетическую эффективность цементного производства.

- Применение комбайна послойного фрезерования SM позволило отказаться от стадии крупного дробления.

- При работе комбайна послойного фрезерования SM происходит выравнивание поверхности рабочих площадок, что с повышением использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов способствовало увеличению

наработки на отказ, продолжительности эксплуатации горнотранспортного оборудования.

- Достижение рационального фракционного состава разрабатываемых горных пород полностью меньше 80 мм позволило обосновать целесообразность внедрения на предприятии поточной технологии».

При разработке месторождений открытым способом основными видами потерь и разубоживания руды, подлежащих нормированию, являются потери и разубоживание, образующиеся при добыче в приконтурных зонах и на контактах руды с породными прослоями, не включенными в подсчитанные запасы [65].

Потери (η) и разубоживание руды (ρ) при отработке приконтактных зон находятся в обратной зависимости; увеличение одних сопровождается уменьшением других, и, наоборот. Рациональное соотношение η и ρ характеризует показатель R , который при наличии обоснованного бортового содержания (α_0) может быть рассчитан на основе средних на участке содержаний полезного компонента в балансовых запасах (α) и вмещающих породах (b) [19].

Коэффициент R , характеризующий отношение содержаний полезного компонента в руде и вмещающих породах (2.12) [19]

$$R = \frac{(\alpha_0 - b) \cdot \gamma_p}{(\alpha - \alpha_0) \cdot \gamma_b}, \quad (2.12)$$

где α_0 – минимальное, экономически целесообразное содержание полезного компонента в руде, %;

α – содержание полезного компонента в балансовых запасах руды, %;

b – содержание полезного компонента во вмещающих горных породах, %;

γ_p – плотность руды, т/м³;

γ_b – плотность вмещающих горных пород, т/м³.

Бортовое содержание – это минимальное содержание полезных компонентов в пробах, включаемых в подсчёт запасов рудных тел, в случае отсутствия у последних чётких границ [37].

При по вариантном обосновании бортового содержания варианты с более высокими и более низкими бортовыми содержаниями следует подбирать таким

образом, чтобы разница в запасах руды, подсчитываемых при изменении бортовых содержаний, составляла не менее 10 % от общих запасов ближайшего варианта [19].

Технология послойного фрезерования подразумевает выемку горных пород слабонаклонными, либо горизонтальными заходками без применения буровзрывных работ. Несмотря на преимущества фрезерной технологии полный отказ от буровзрывной не предусматривается. Без её применения, в частности, невозможно отрабатывать запасы локальных карманов и западин повышенной мощности, которые не фиксируются на мелкомасштабных планах и разрезах, отстроенных по материалам детальной разведки, а отмечаются лишь на крупномасштабных планах в процессе эксплуатационной разведки [19].

Отсутствие визуально различимых контактов между литологическими разновидностями пород внутри рудной толщи предопределяет наличие зоны контакта на границе кондиционных руд и вмещающих пород.

В условиях нечётких и неровных контактов рудного тела, когда его контур проводится согласно бортовому содержанию в краевой пробе, максимальная мощность этой зоны будет соответствовать предельно допустимой мощности прослоя некондиционных пород, заключённых в краевом интервале, при условии соответствия его химического состава бортовому содержанию [19].

При горно-геологических условиях отсутствия чётких разделительных границ между кондиционными рудами и вмещающими породами практически невозможно обеспечить точную зачистку пласта руды при работе комбайна послойного фрезерования [65].

На рисунке 2.6 представлены технологические схемы образования потерь и разубоживания полезного ископаемого при отработке слабонаклонных залежей цементного сырья комбайном послойного фрезерования SM [65].

Варианты пересечения рабочего органа фрезерного комбайна с контактной зоной [65]:

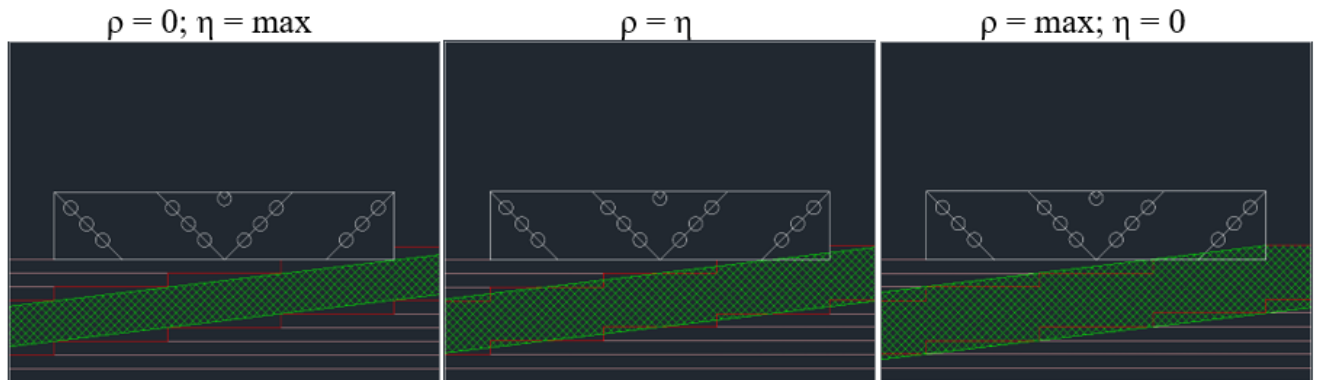


Рисунок 2.6 – Технологические схемы образования потерь и засорения полезного ископаемого при отработке слабонаклонных залежей фрезерным комбайном

ρ , η – потери и разубоживание соответственно [65]

Величина потерь и разубоживания руды может быть значительно уменьшена при отработке залежей цементного сырья комбайном послойного фрезерования.

Объемы теряемого на контакте полезного ископаемого (2.13) и засорения (2.14) определяются в следующем виде [100]

$$\Delta P = \frac{(h - 2)^2}{2} (\cot \beta - \cot \alpha), \quad (2.13)$$

$$\Delta V = \frac{a^2}{2} (\cot \beta - \cot \alpha), \quad (2.14)$$

где h – высота добычного уступа, м;

a – высота треугольника пород примешиваемых к руде ($a = h / 2$), м;

α – угол откоса уступа, град.;

β – угол падения пласта руды (рудного тела), град.

Исходные данные геологической разведки носят стохастический характер и, в случае неподтверждения данных разведочного бурения при вскрытии эксплуатационным забоем руды, происходит снижение производительности горного комбайна, повышение расхода твёрдосплавных зубьев, снижение наработки на отказ и коэффициента технической готовности [65].

При определении объёмов потерь полезного ископаемого на контакте руда-порода высота уступа для экскаватора принята 12 м, а для комбайна послойного фрезерования $SM - 0,4$ м [65].

Для варианта использования на добыче экскаватора принимается $\alpha = 65^{\circ} \div 80^{\circ}$ (через 5°), для варианта с применением фрезерного комбайна $\alpha = 90^{\circ}$.

Результаты расчетов по определению объемов потерь полезного ископаемого на контакте руда-порода для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья представны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Объемы потерь при $\beta = 5 \div 27^{\circ}$ с использованием экскаватора и фрезерного комбайна для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья [1]

С использованием экскаватора					С использованием фрезерного комбайна		
h, м	β , градус	ΔP при $\alpha = 65^{\circ}$, м ³ /м	ΔP при $\alpha = 70^{\circ}$, м ³ /м	ΔP при $\alpha = 80^{\circ}$, м ³ /м	h, м	β , градус	ΔP , м ³ /м
12	5	548,18	553,30	562,68	0,4	5	438,91
12	7	383,90	389,02	398,40	0,4	7	312,74
12	9	292,37	297,49	306,87	0,4	9	242,44
12	11	233,91	239,03	248,41	0,4	11	197,55
12	13	193,25	198,37	207,75	0,4	13	166,32
12	15	163,28	168,40	177,78	0,4	15	143,31
12	17	140,22	145,34	154,72	0,4	17	125,60
12	19	121,89	127,01	136,39	0,4	19	111,52
12	21	106,93	112,05	121,43	0,4	21	100,03
12	23	94,477	99,594	108,97	0,4	23	90,464
12	25	83,909	89,026	98,41	0,4	25	82,349
12	27	74,815	79,932	89,314	0,4	27	75,364

Анализ данных, представленных в таблице 2.3, показывает, что объемы потерь при использовании фрезерного комбайна уменьшаются в среднем на 15 % по сравнению с использованием экскаватора.

Результаты расчетов по определению объемов разубоживания на контакте руда-порода для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья представны в таблице 2.5 [65].

Анализ данных, представленных в таблице 2.5, показывает, что объемы разубоживания при использовании фрезерного комбайна для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья уменьшаются в среднем на 80 % [65].

Таблица 2.5 - Объемы засорения при $\beta = 5 \div 27^\circ$ с использованием экскаватора и фрезерного комбайна для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья [1]

С использованием экскаватора					С использованием фрезерного комбайна		
а, м	β , градус	ΔV при $\alpha = 65^\circ$, м ³ /м	ΔV при $\alpha = 70^\circ$, м ³ /м	ΔV при $\alpha = 80^\circ$, м ³ /м	h, м	β , градус	ΔV , м ³ /м
6	5	197,34	199,18	202,56	0,2	5	6,85
6	7	138,20	140,04	143,42	0,2	7	4,88
6	9	105,25	107,09	110,47	0,2	9	3,78
6	11	84,208	86,05	89,42	0,2	11	3,08
6	13	69,57	71,41	74,79	0,2	13	2,59
6	15	58,78	60,62	64,03	0,2	15	2,23
6	17	50,48	52,32	55,70	0,2	17	1,96
6	19	43,88	45,72	49,10	0,2	19	1,74
6	21	38,49	40,34	43,71	0,2	21	1,56
6	23	34,01	35,85	39,23	0,2	23	1,41
6	25	30,20	32,05	35,42	0,2	25	1,28
6	27	26,93	28,77	32,15	0,2	27	1,17

График зависимости потерь руды на контакте руда-порода от угла падения пласта руды (рудного тела), для горнотехнических условий отработки месторождения с использованием экскаватора и фрезерного комбайна представлены на рисунке 2.7 [65].

График зависимости объемов разубоживания руды на контакте руда-порода от угла падения пласта руды (рудного тела), для горнотехнических условий отработки месторождения с использованием экскаватора и фрезерного комбайна представлены на рисунке 2.8 [65].

Высота треугольника вскрышных пород, включаемых в добываемое полезное ископаемое ($a = h / 2$) принимается 6 м, а для комбайна послойного фрезерования SM – 0,2 м [65].

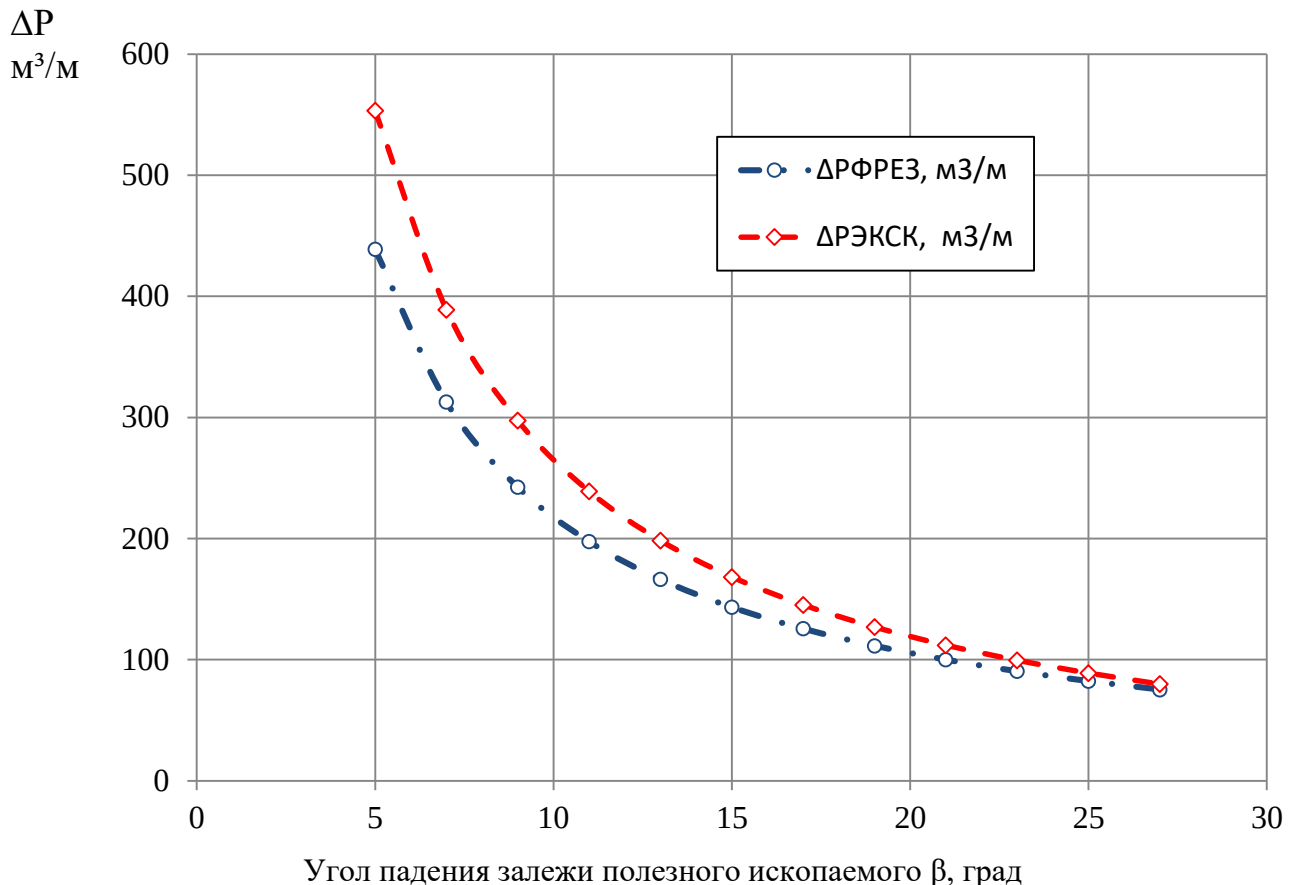


Рисунок 2.7 - График зависимости потерь руды на контакте руда-порода от угла падения пласта руды (рудного тела), для горнотехнических условий отработки месторождения с использованием экскаватора и фрезерного комбайна [65]

Экономическая эффективность от применения технологии послойного фрезерования на карьерах по добыче цементного сырья повышается при уменьшении разубоживания полезного ископаемого и, как следствие, снижении объемов дробления; исключении из технологического процесса буровзрывных работ; обеспечении возможности добычи попутных полезных ископаемых; повышении качества формирования бортов карьера [1].

Внедрение безвзрывной технологии с применением комбайнов послойного фрезерования SM на карьерах по добыче цементного сырья позволяет снизить себестоимость добычи полезных ископаемых и удельные эксплуатационные затраты на транспортирование карбонатных горных пород по сравнению с традиционной технологией горных работ на 50 – 60 %. [65]

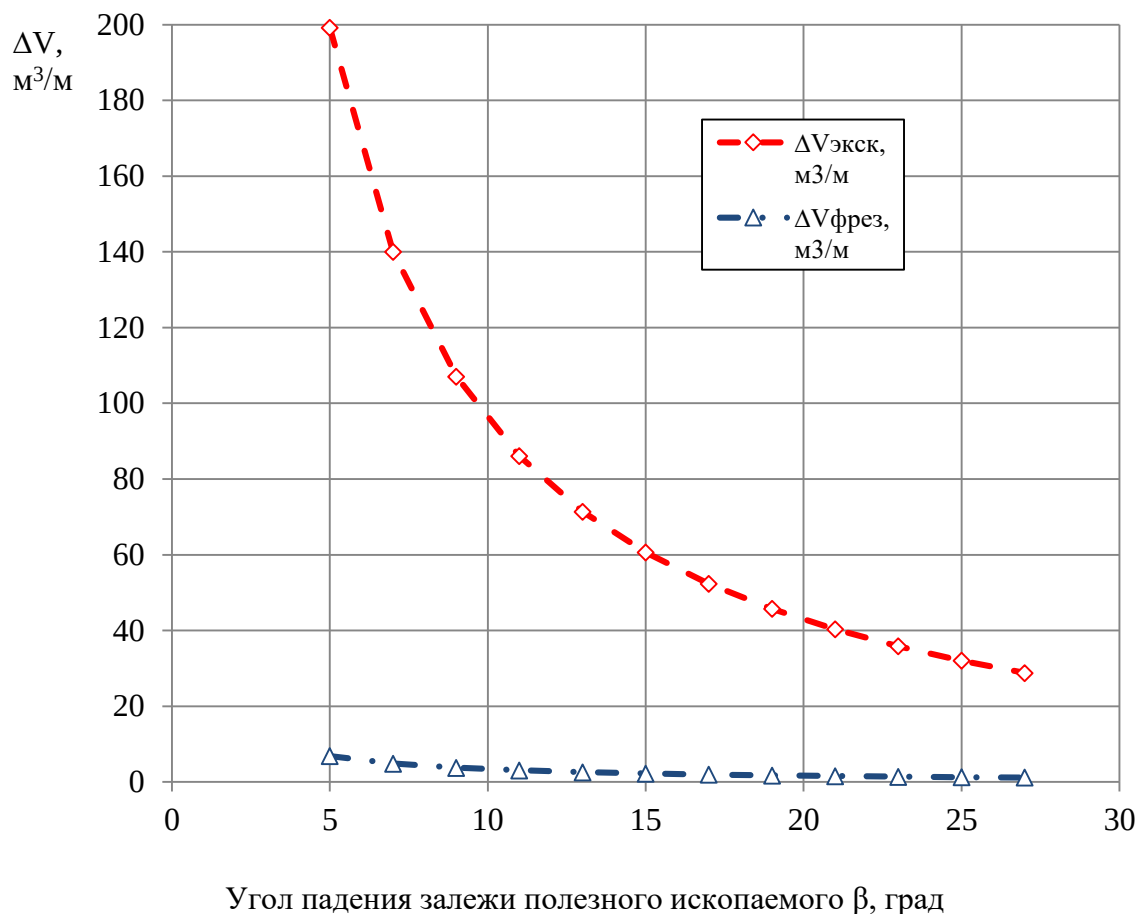


Рисунок 2.8 - График зависимости объемов разубоживания руды на контакте руда-порода от угла падения пласта руды (рудного тела), для горнотехнических условий отработки месторождения с использованием экскаватора и фрезерного комбайна [65]

2.4 Выводы по Главе 2

1. Анализ данных по результатам работы карьеров по добыче цементного сырья показывает, что объёмы потерь при использовании фрезерного комбайна уменьшаются в среднем на 15 % по сравнению с использованием экскаватора [65]

2. Провозная и пропускная способность карьерных выработок при разработке карбонатных месторождений цементного сырья горными комбайнами зависит от параметров технологической схемы, системы разработки вскрывающих выработок, горнотранспортного оборудования и организации движения транспорта.

3. Применение горных комбайнов типа Continuous Surface Miner» (CSM) на разработке карьеров по добыче цементного сырья позволяет применять их при раздельной высокоточной отработке пластов разнокачественных горных пород переменной мощности, обеспечивающей рациональное недропользование, сокращение выбросов загрязняющих веществ и повышение экономической эффективности горных работ.

4. В работах [25; 31] автором установлено, «что в среднем продолжительность погрузки автосамосвала грузоподъемностью 28 т составило около 2 мин. Анализ опыта эксплуатации фрезерных комбайнов на добыче известняка показал, что время, затрачиваемое на разворот комбайна для фрезерования в обратном направлении, изменялось от 8 до 14 мин., составляя в среднем 10 мин. 30 с. Время на замену автосамосвала у комбайна в процессе выполнения им погрузочных работ составляло в среднем около 30 с. При сокращении фронта работ с 200 м до 100 м количество разворотов увеличилось с одного до пяти, а общее время, затрачиваемое на развороты комбайна, выросло с 8 до 30 мин., что существенно влияет на его производительную работу.

5. Внедрение безвзрывной технологии с применением комбайнов послойного фрезерования SM на карьерах по добыче цементного сырья позволяет снизить себестоимость добычи полезных ископаемых и удельные эксплуатационные затраты на транспортирование карбонатных горных пород по сравнению с традиционной технологией горных работ на 50 – 60 %.

6. Ритмичность и стабильность добычи полезного ископаемого в карьере может быть нарушена из-за неравномерности удаления вскрышных пород, возможных отклонений фактического времени вскрытия и подготовки новых горизонтов от планируемого, не подтверждения балансовых запасов в контуре карьера, резкого изменения содержания полезных компонентов по месторождению.

7. Повышение эффективности технологии послойного фрезерования комбайнами Surface Miner достигается при реализации поточной технологической

схемы отработки месторождения, обеспечивающей качественное дробление горной массы рабочим органом агрегата.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ ГОРНЫМИ КОМБАЙНАМИ

3.1 Обоснование параметров эксплуатационного блока при разработке месторождений цементного сырья с использованием горных комбайнов с погрузкой горной массы в транспортные средства

Установление рациональных параметров эксплуатационного блока при открытой разработке месторождений цементного сырья с использованием машин послойного фрезерования (SM) позволит повысить экономическую эффективность горных работ [63].

Увеличение производительности машин послойного фрезерования достигается при рациональных параметрах эксплуатационного блока, обеспечивающих поточную или циклично-поточную технологию отработки при минимальном количестве вспомогательных операций и холостых проходов комбайна SM [63]. Реализация безвзрывной технологии с применением машин послойного фрезерования SM на карьерах по добыче цементного сырья позволит снизить себестоимость добычи и удельные эксплуатационные затраты на транспортирование цементного сырья по сравнению с традиционной технологией отработки месторождения на 50 – 60 % [30].

Определение рациональных параметров эксплуатационного блока при открытой разработке месторождений цементного сырья сложного строения, с использованием машин послойного фрезерования, с учётом удельных эксплуатационных затрат, позволит оптимизировать систему отработки и снизить эксплуатационные затраты на добычу полезных ископаемых [63].

Отработка месторождений цементного сырья с применением традиционной технологии не позволяет обеспечить тонкослоевую выемку горных пород. В современных горно-геологических условиях месторождений цементного сырья значительные по мощности (до 3,0 м) некондиционные пропластки примешиваются к полезной толще. Способность отработки массива тонкими слоями (от 5 до 80 см) с применением машин послойного фрезерования Surface

Miner, при обеспечении точности выемки до ± 1 см, с погрузкой горной массы через консольный разгрузочный конвейер, позволяет реализовать поточную технологию разработки и повысить качество добываемого полезного ископаемого за счет сокращения засорения вскрышными породами, сократить до минимума потери, снизить эксплуатационные затраты на дробление. Определение рациональных параметров эксплуатационного блока при открытой разработке месторождений цементного сырья сложного строения, с использованием машин послойного фрезерования, с учётом удельных эксплуатационных затрат, позволит оптимизировать систему отработки и снизить эксплуатационные затраты на добычу полезных ископаемых [63].

Отработка месторождений цементного сырья с применением традиционной технологии не позволяет обеспечить тонкослоевую выемку горных пород. В современных горно-геологических условиях месторождений цементного сырья значительные по мощности (до 3,0 м) некондиционные пропластки примешиваются к полезной толще. Способность отработки массива тонкими слоями (от 5 до 80 см) с применением машин послойного фрезерования Surface Miner, при обеспечении точности выемки до ± 1 см, с погрузкой горной массы через консольный разгрузочный конвейер, позволяет реализовать поточную технологию разработки и повысить качество добываемого полезного ископаемого за счет сокращения засорения вскрышными породами, сократить до минимума потери, снизить эксплуатационные затраты на дробление [63].

В процессе замеров продолжительности работы комбайна при фрезеровании горных пород определялось время каждой загрузки автосамосвала, время на маневры и обмен автосамосвалов под погрузку. Фиксировалось продолжительность простоев по технологическим и организационным причинам, в том числе из-за отсутствия транспортных средств, а также время на ежесменное обслуживание, включающее заправку дизельным топливом, планово-профилактические и ремонтные работы.

До начала отработки эксплуатационного блока, для обеспечения производительной работы горнотранспортного оборудования, следует провести ряд мероприятий [62]:

- выровнять рельеф рабочей площадки;
- при развитии горных работ отработку каждого слоя начинать с проходки по коротким сторонам площадки врубовых выработок;
- горные работы выполнять последовательно несколькими параллельными фронтальными проходами вдоль рабочей площадки, с развитием к верхней бровке нижележащего добычного уступа, обеспечивая удовлетворительные условия для движения автосамосвалов в рабочей зоне.

Хронометраж технологического цикла работы горного комбайна Surface Miner показал, что продолжительность загрузки кузова автосамосвалов грузоподъемностью 27-30 т в среднем составил 2,5 мин.

В случае уменьшения протяжённости фронта работ в пределах эксплуатационного блока количество разворотов горного комбайна в конце заходки увеличилось, следствием чего стало уменьшение его эксплуатационной производительности [14; 58].

Рациональная протяжённости эксплуатационного блока горного комбайна, должна соответствовать проектной производительности горнотехнической системы-карьер.

При длине эксплуатационного блока менее 150 м следует использовать челноковую схему отработки, (рисунок 3.1). В противном случае рационально вести горные работы с разворотом в конце заходки и рабочим ходом в обоих направлениях.

Ширина врубовых выработок должна обеспечивать разворот комбайна при минимальном радиусе поворота без остановки, поэтому первые три прохода осуществляются по поточной технологической схеме. Затем следует проходка врубовых выработок. Перпендикулярно длинной оси блока выполняются проходы с IV по IX и с X по XV по челноковой схеме, после чего последовательно с 1 по 12

осуществляется проход по схеме с разворотом и развитием фронта горных работ от фланга к флангу.

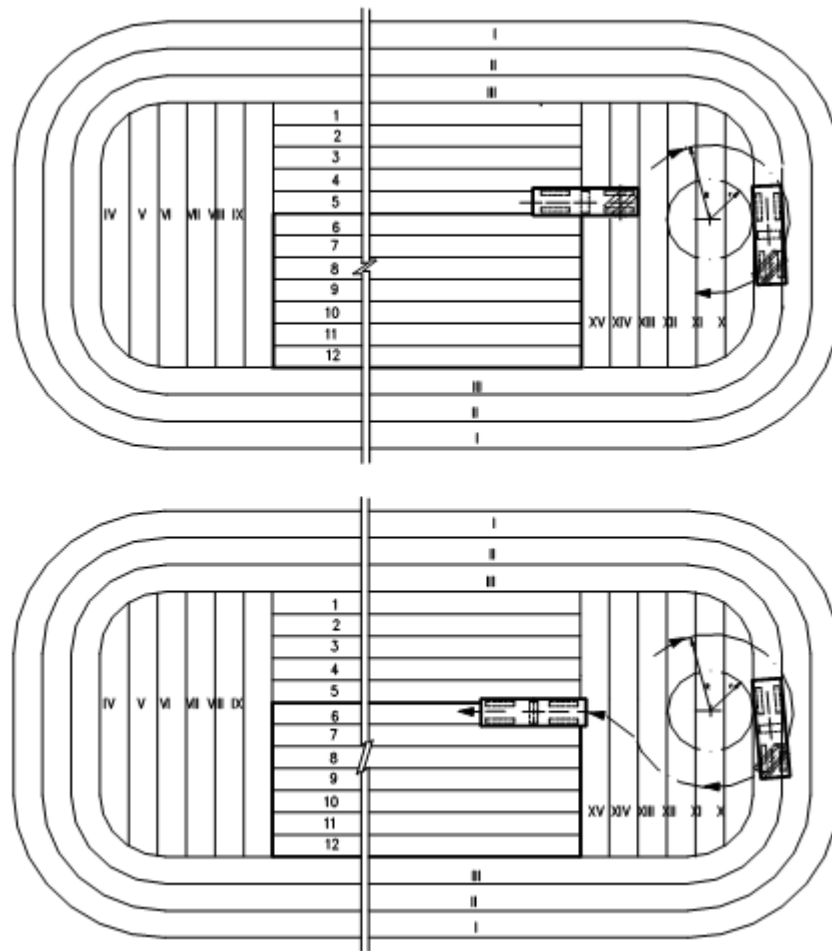


Рисунок 3.1 – Технологическая схема отработки месторождения цементного сырья фрезерным комбайном при длине эксплуатационного блока более 150 м [63]

Рабочий цикл комбайна послойного фрезерования Surface Miner при отработке слоя включает:

- заезд комбайна из врубовой выработки на полосу;
- фрезерование полосы;
- поворот к противоположной врубовой выработке;
- заезд на следующую полосу и ее фрезерование в обратном направлении, после чего циклы повторяются [30; 63].

При транспортных системах разработки создаются более благоприятные условия для работы комбайнов послойного фрезерования SM на карьерах.

Эффективность работы горнотехнической системы-карьер, включающей фрезерный комбайн SM и транспортные средства, зависит от параметров системы разработки месторождения [63].

Рациональная длина блока, при работе горного комбайна определяется с учётом обеспечения установленной в проектной документации производственной мощности карьера, при минимизации эксплуатационных затрат [63].

Годовая производительность карьера по добыче определяется как (3.1) [63]:

$$A_d = V_{\phi} \cdot L_B \cdot H_y, \quad (3.1)$$

где V_{ϕ} - скорость перемещения фронта горных работ, м/год;

L_B - длина эксплуатационного блока, м;

H_y - высота уступа, м.

При карьерном автомобильном транспорте горной массы общие удельные эксплуатационные затраты Z_o (руб./т), зависящие от длины эксплуатационного блока определяется в виде (3.2) [63]:

$$Z_o = Z_T \cdot Z_c \cdot Z_{\Pi}, \quad (3.2)$$

где Z_T - удельные затраты на транспортирование цементного сырья, руб./т;

Z_{Π} - удельные затраты на эксплуатацию автодорог, руб./т.;

Z_c - удельные затраты на возведение автодорог, руб./т» [36].

Средняя дальность транспортирования цементного сырья (3.3):

$$L_{TCP} = \left[\frac{L_B + V_{\phi}}{2} \right] + L_{ЗР}, \text{ м} \quad (3.3)$$

где $L_{ЗР}$ - расстояние транспортирования от начала заходки фрезерного комбайна до места разгрузки, м.

Производительность автосамосвала за смену (3.4) [2, 16]:

$$Q_A = \frac{G_A \cdot V_{CP} \cdot T_{CM}}{L_B + V_{\phi} + 2 \cdot L_{ЗР}}, \text{ т/смен.} \quad (3.4)$$

где G_A - вес перевозимого груза, т;

V_{CP} - средняя скорость перемещения автосамосвала, м/ч;

T_{CM} - время работы автотранспорта, ч/смен [36].

Удельные затраты при транспортирование (3.5):

$$З_{ТА} = \frac{C_{МС} \cdot (L_{Б} + V_{Ф} + 2 \cdot L_{ЗР})}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ}}, \text{руб./т} \quad (3.5)$$

где $C_{МС}$ - стоимость машино-смены работы автосамосвала, руб./смен.

Удельные затраты на возведение автодороги (3.6)

$$З_{СА} = З_{ПМ} \cdot \frac{З_{СМ} \cdot V_{Ф}}{Q_{ЭФ}}, \text{руб./т} \quad (3.6)$$

где $З_{СМ}$ - эксплуатационные затраты на возведение 1 м автодороги, руб.;

$Q_{ЭФ}$ - производительность горного комбайна, т/год [36].

Удельные затраты на техническое поддержание карьерной автодороги в рабочем состоянии (3.7):

$$З_{ПД} = \frac{З_{ПМ} \cdot V_{Ф}}{2 \cdot Q_{ЭФ}}, \text{руб./т} \quad (3.7)$$

где $З_{ПМ}$ - затраты на содержание 1 м автодороги, руб.

На основании (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) и (3.7) определены суммарные удельные затраты на перемещение автосамосвалами цементного сырья, зависящие от длины эксплуатационного блока (3.8):

$$З_{ОА} = \frac{C_{МС} \cdot (L_{Б} + V_{Ф} + 2 \cdot L_{ЗР})}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ}} + \frac{V_{Ф}}{Q_{ЭФ}} (З_{СМ} + 0,5 \cdot З_{ПМ}), \text{руб./т} \quad (3.8)$$

и скорость перемещения фронта горных работ (3.9):

$$V_{Ф} = \frac{Q_{ЭФ}}{L_{Б} \cdot h \cdot \gamma_P}, \text{м/год} \quad (3.9)$$

где γ_P - плотность сырья, т/м³.

Постановка (3.8) и (3.9) позволяет получить (3.10) и (3.11):

$$З_{ОА} = \frac{C_{МС} \cdot L_{Б}}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ}} + \frac{C_{МС} \cdot Q_{ЭФ}}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ} \cdot L_{Б} \cdot h \cdot \gamma_P} + \frac{2 \cdot C_{МС} \cdot L_{ЗР}}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ}} + \frac{З_{СМ} + 0,5 \cdot З_{ПМ}}{L_{Б} \cdot h \cdot \gamma_P}, \text{руб./т} \quad (3.10)$$

$$\frac{dЗ_{ОА}}{dL_{Б}} = \frac{C_{МС}}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ}} - \frac{C_{МС} \cdot Q_{ЭФ}}{G_A \cdot V_{СР} \cdot T_{СМ} \cdot L_{Б}^2 \cdot h \cdot \gamma_P} - \frac{З_{СМ} + 0,5 \cdot З_{ПМ}}{L_{Б}^2 \cdot h \cdot \gamma_P} \quad (3.11)$$

Вторая производная $\frac{d^2З_{ОА}}{dL_{Б}^2} > 0$, таким образом зависимость (3.10) имеет минимум.

Подставляя зависимости, установлено в конечном виде выражение для получения рациональной длины эксплуатационного блока для фрезерного комбайна Surface Miner (3.12) [63]

$$L_B = \sqrt{\frac{C_{MC} \cdot Q_{\text{эф}} + G_A \cdot V_{CP} \cdot T_{CM} \cdot (Z_{CM} + 0,5 \cdot Z_{PM})}{C_{MC} \cdot h \cdot \gamma_P}}, \text{ м} \quad (3.12)$$

Эксплуатация мобильного горного оборудования, комбайнов послойного фрезерования Surface Miner позволит осуществлять в выработанном пространстве процесс дробления» [63].

На рисунке 3.2 показан график зависимости суммарных удельных затрат от длины эксплуатационного блока фрезерного комбайна.

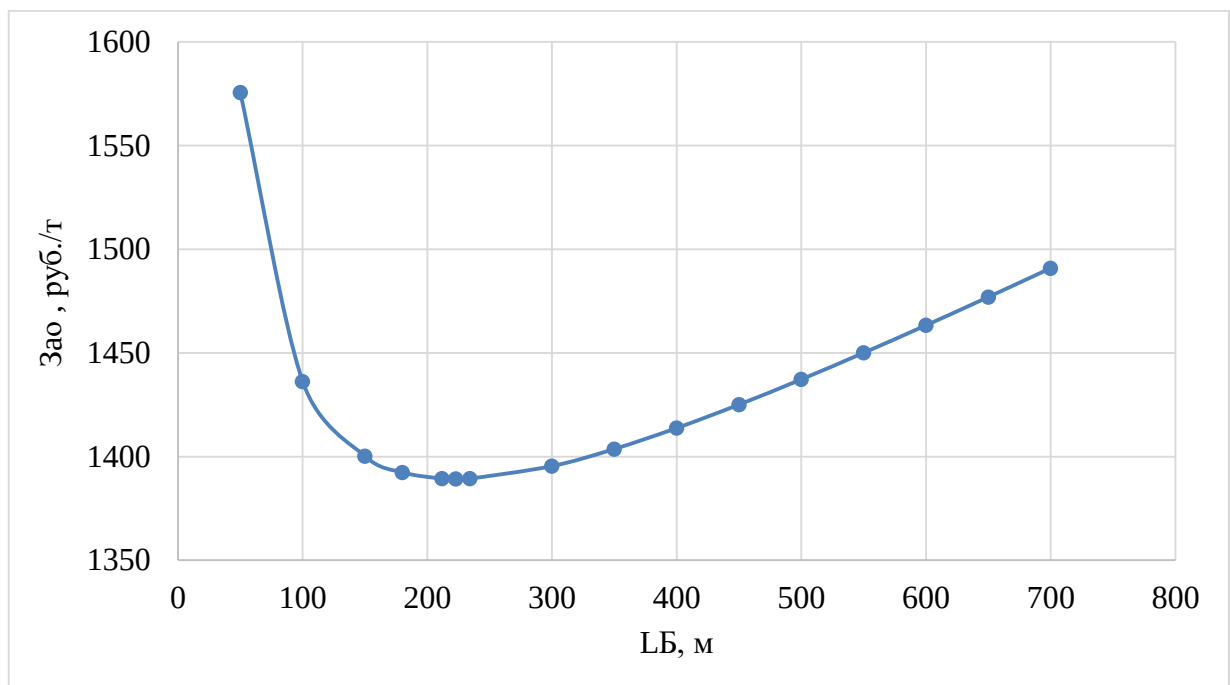


Рисунок 3.2 - График зависимости суммарных удельных затрат от длины эксплуатационного блока фрезерного комбайна Surface Miner [63]

Таким образом, рациональное значение длины эксплуатационного блока для фрезерного комбайна Surface Miner при автотранспорте сырья составит 210 - 230 м при открытой разработке месторождения цементного сырья [63].

Анализ полученной зависимости (3.12) позволил установить, что при увеличении длины эксплуатационного блока со 150 до 250 м эксплуатационная производительность фрезерных комбайнов Surface Miner возрастает на 8-12 % [63].

Таким образом, определение рациональной длины эксплуатационного блока

должно проводиться с учетом обеспечения заданной проектной производственной мощности карьера, производительности фрезерного комбайна SM, принятой технологии ведения горных работ и обеспечения экономической эффективности разработки месторождения [63].

Для горно-геологических условий месторождений цементного сырья целесообразно применение безвзрывной технологии разработки с применением комбайнов Surface Miner, не требующей последующего крупного дробления, обеспечивающей рациональное использование недр за счёт повышения объёмов запасов вовлекаемых в отработку [63].

3.2 Оценка степени влияния различных горнотехнических факторов на производительность карьера при проектировании открытой разработки месторождений цементного сырья

Оценка степени влияния различных горнотехнических параметров и показателей на производительность карьера при проектировании открытой разработки месторождений цементного сырья позволяет установить наиболее существенные критические переменные, от которых в наибольшей степени зависят результаты реализации проектных решений и степень воздействия последовательных изменений факторов на эти результаты. Оценка горнотехнических факторов для количественного анализа проводится по результатам проведённого качественного экспертного анализа [5; 20].

Оценка степени влияния различных горнотехнических факторов на производительность карьеров проводится при заданном изменении одного из исходных параметров и показателей системы открытой разработки месторождений [56].

При относительном анализе степени влияния различных горнотехнических факторов проводится сравнение влияния исходных переменных (при их изменении на фиксированную величину, например на 10 %) на результирующие проектные показатели [56; 66]. В результате анализа проводится ранжирование переменных в зависимости от величин эластичностей: чем больше значение эластичности, тем сильнее эта зависимость.

С целью оценки степени влияния различных горнотехнических параметров и показателей на производительность карьера А при реализации проектных решений используется показатель эластичности Е (3.13) [66]:

$$E = \frac{\Delta\% \cdot A}{\Delta\% \cdot X} \quad (3.13)$$

где $\Delta\% A = \frac{A_{\text{пр}} - A_{\text{баз}}}{A_{\text{баз}}} 100$ - изменение А в процентах от базового значения;

$$\Delta\% X = \frac{(x_{\text{новое}} - x_{\text{базовое}}) \cdot 100}{x_{\text{базовое}}} - \text{изменение проектной переменной } x \text{ в процентах}$$

от базового значения.

На основе определения величины Е можно оценить степень их воздействия на результат реализации проектных решений и выявить наиболее значимые для проекта факторы.

Определённое изменение одного из параметров или показателей приводит к изменению производительности карьера A_k [51]

Для оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием челноковой технологической схемы послойного фрезерования, на производительность карьера воспользуемся полученной аналитической формулой (3.14):

$$A_1 = \frac{60 \cdot h \cdot b \cdot l_{\text{ФР}} \cdot K_{\text{И}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot K_{\text{БЛ}} \cdot N_{\text{СМ}}}{t_0 + \frac{l_{\text{ФР}}}{V_P} + t_{\text{П}} + \frac{l_{\text{ФР}}}{V_X}} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \rho} + m \cdot K_{\text{У}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{ОСМ}} \cdot K_{\text{ОЖ}}, \text{ млн м}^3/\text{год} \quad (3.14)$$

где h – мощность слоя отработки горным комбайном, м;

b - ширина заходки комбайна, м;

$K_{\text{И}}$ - коэффициент использования оборудования во времени;

$K_{\text{БЛ}}$ – коэффициент блочности массива обрабатываемых горных пород;

$T_{\text{СМ}}$ - продолжительность рабочей смены, ч;

$N_{\text{СМ}}$ - количество смен работы горного комбайна в год, смен.;

$l_{\text{ФР}}$ – протяжённость рабочей зоны, м;

V_P - скорость рабочего хода горного комбайна, м/мин.;

V_X - скорость холостого хода фрезерного агрегата, м/мин.;

t_o - продолжительность опускания рабочего органа на забой мин.;

t_n – продолжительность подготовки рабочего органа к фрезерованию забоя, мин.;

η - нормативный коэффициент потерь;

ρ - нормативный коэффициенты разубоживания;

m - количество горных комбайнов, отрабатывающих уступ, шт.;

K_y - количество уступов, находящихся в отработке, шт.;

$K_{ТО}$ – коэффициент технической готовности горного комбайна;

$K_{ОСМ}$ – коэффициент обслуживания рабочего органа комбайна;

$K_{ОЖ}$ - коэффициент, учитывающий продолжительность ротации транспортных средств при погрузке горной массы горным комбайном.

В таблице 3.1 представлены исходные данные для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья при использовании челноковой технологической схемы послойного фрезерования.

Таблица 3.1 – Исходные данные для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья при использовании челноковой технологической схемы послойного фрезерования (составлено автором)

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение
h , м	0,10	0,60
b , м	2,20	4,20
$K_{И}$	0,65	0,95
$K_{БЛ}$	0,70	1,10
$T_{СМ}$, ч	12	12
$N_{СМ}$, смен	495	505
$l_{ФР}$, м	50	150
V_P , м/мин.	5	20
V_X , м/мин.	40	60
$t_o = t_n$, с	50	70
η	0,03	0,05
ρ	0	0
m	1	1
$K_{ТО}$	0,70	0,90
$K_{ОСМ}$	0,85	0,97
$K_{ОЖ}$	s0,70	0,90

Таким образом, производительность карьера по формуле (3.14) составляет:

$$A_1 = \frac{60 \cdot 0,35 \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 500 \cdot 12 \cdot 0,9}{1 + \frac{100}{12,5} + 1 + 100/50} \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,8 =$$

$$= 1,057 \text{ млн м}^3/\text{год}$$

На рисунке 3.3 представлены графики зависимости производительности карьера по добыче цементного сырья от относительного изменения скорости перемещения горного комбайна по длине заходки, мощности слоя фрезерования и ширины заходки, длины эксплуатационного блока, предельно допустимого коэффициентов потерь, при использовании челноковой технологической схемы.

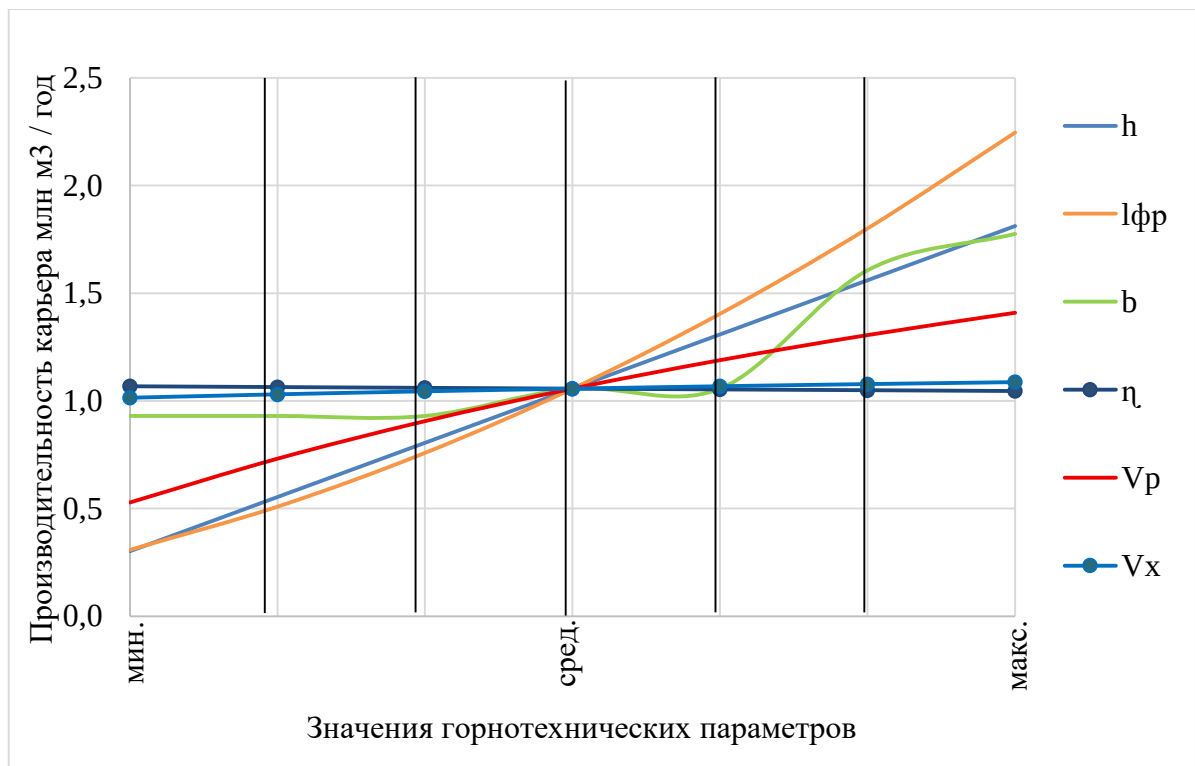


Рисунок 3.3 - График зависимости производительности карьера по добыче цементного сырья от относительно изменения параметров системы разработки месторождения, при использовании челноковой технологической схемы [51]

Высокая степень влияния – длина эксплуатационного блока, мощность слоя отработки горным комбайном; средняя степень влияния – ширина заходки комбайна, скорости перемещения горного комбайна по длине заходки; низкая значимость – нормативный коэффициент потерь, скорости перемещения горного комбайна холостым ходом.

В таблице 3.2 представлены результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием челноковой технологической схемы послойного фрезерования на производительность карьера.

Таблица 3.2 - Результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием челноковой технологической схемы послойного фрезерования на производительность карьера (составлено автором)

Исходные данные								
параметр	1	2	3	4	5	6	7	ξ %
h, м	0,1	0,18	0,27	0,35	0,43	0,52	0,6	+100
A ₁ , млн м ³ /год	0,30	0,55	0,81	1,057	1,31	1,56	1,81	
b, м	2,2			2,5		3,80	4,2	+100
A ₁ млн м ³ /год	0,93			1,057		1,61	1,78	
l _{фр} , м	50	66,67	83,33	100	116,67	133,33	150	+196,80
A ₁ млн м ³ /год	0,31	0,51	0,76	1,057	1,40	1,80	2,25	
K _и	0,65	0,70	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	+100
A ₁ млн м ³ /год	0,86	0,92	0,99	1,057	1,12	1,19	1,26	
N _{см} , смен.	495	496	498	500	502	504	505	+100
A ₁ млн м ³ /год	1,046	1,049	1,053	1,057	1,061	1,065	1,068	
K _{бл}	0,7	0,77	0,83	0,9	0,97	1,03	1,1	+100
A ₁ млн м ³ /год	0,822	0,900	0,979	1,057	1,135	1,214	1,292	
η	0,030	0,033	0,037	0,040	0,043	0,047	0,050	-3,99
A ₁ млн м ³ /год	1,068	1,064	1,061	1,057	1,053	1,050	1,046	
t _о , мин.	50	53,33	56,67	60	63,33	66,67	70	-8,08
A ₁ млн м ³ /год	1,072	1,067	1,062	1,057	1,052	1,047	1,043	
t _п , мин.	50	53,33	56,67	60	63,33	66,67	70	-8,08
A ₁ , млн м ³ /год	1,072	1,067	1,062	1,057	1,052	1,047	1,043	
V _р , м/мин.	5	7,50	10,00	12,5	15,00	17,50	20	+65,32
A ₁ млн м ³ /год	0,53	0,73	0,91	1,057	1,19	1,31	1,41	
V _х , м/мин.	40	43,33	46,67	50	53,33	56,67	60	+16,36
A ₁ , млн м ³ /год	1,01	1,03	1,04	1,057	1,07	1,08	1,09	
K _{то}	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	+100
A ₁ , млн м ³ /год	0,925	0,969	1,013	1,057	1,101	1,145	1,189	
K _{осм}	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	+100
A ₁ , млн м ³ /год	0,987	1,011	1,034	1,057	1,080	1,103	1,127	
K _{ож}	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	+100
A ₁ млн м ³ /год	0,925	0,969	1,013	1,057	1,101	1,145	1,189	
m, шт.	-	-	-	1	2	3	4	+100
A ₁ , млн м ³ /год	-	-	-	1,057	2,114	3,171	4,228	

Продолжение таблицы 3.2

параметр	1	2	3	4	5	6	7	$\xi \%$
К _у , шт.	-	-	-	1	2	3	4	+100
А ₁ млн м ³ /год	-	-	-	1,057	2,114	3,171	4,228	

Для оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием технологической схемы работы горного комбайна с разворотом в конце рабочей заходки и рабочим ходом в обратном направлении воспользуемся полученной аналитической формулой 3.15:

$$A_2 = \frac{60 \cdot h \cdot b \cdot l_{\text{ФР}} \cdot K_{\text{И}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot K_{\text{БЛ}} \cdot N_{\text{СМ}}}{t_o + \frac{l_{\text{ФР}}}{V_p} + t_{\text{п}} + t_{\text{POW}}} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \rho} + m \cdot K_y \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{ОСМ}} \times \quad (3.15)$$

$$\times K_{\text{ОЖ}},$$

где t_{POW} - время на поворот комбайна для фрезерования в обратном направлении, мин.

исходные данные для горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья при использовании челноковой технологической схемы послойного фрезерования В качестве исходных данных принимаются значения параметров системы разработки из таблицы 3.1, с той разницей, что: $l_{\text{ФР}} = 150 \div 500$, м и $t_{\text{POW}} = 2 \div 4$.

Таким образом, производительность карьера по формуле (3.15) составляет:

$$A_2 = \frac{60 \cdot 0,35 \cdot 2,5 \cdot 325 \cdot 0,8 \cdot 500 \cdot 12 \cdot 0,9}{1 + \frac{325}{12,5} + 1 + 3} \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,8 =$$

$$= 1,329 \text{ млн м}^3/\text{год}$$

На рисунке 3.4 представлены графики изменения производительности карьера по добыче карбонатного сырья относительно относительного изменения скорости перемещения горного комбайна по длине заходки, мощности слоя фрезерования и ширины заходки, длины эксплуатационного блока, предельно допустимого коэффициентов потерь, при технологической схеме работы с поворотом и фрезерованием в обратном направлении.

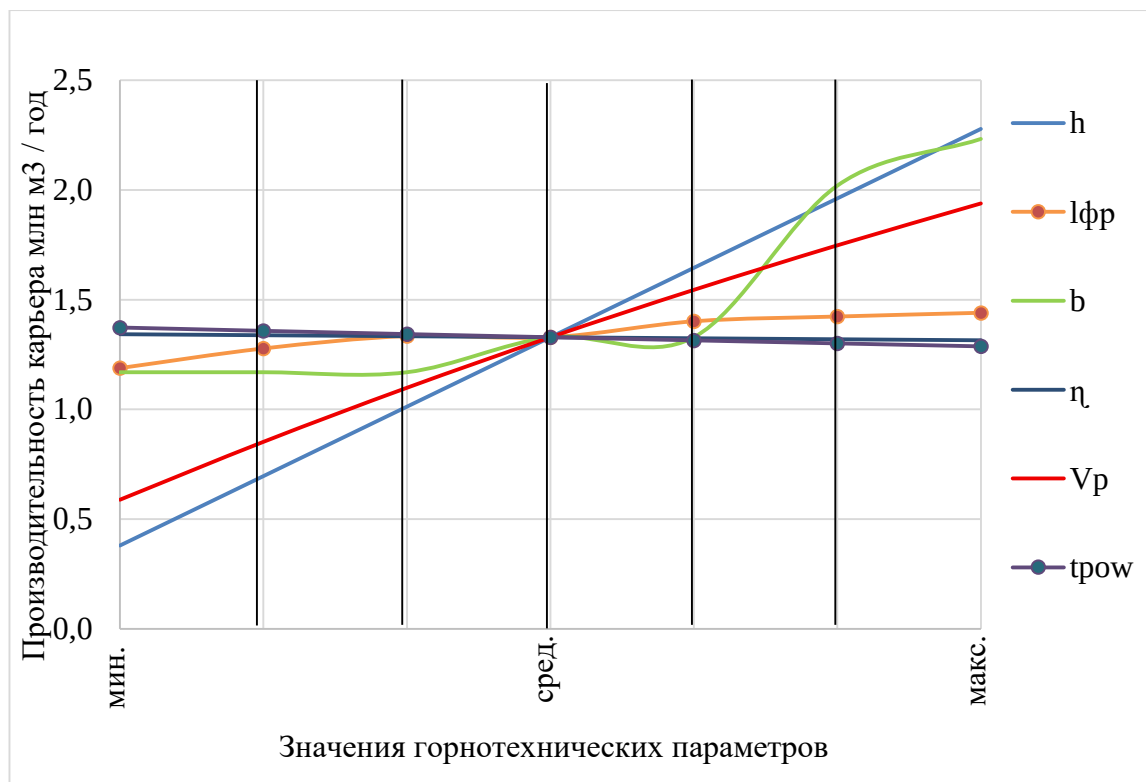


Рисунок 3.4 - График зависимости производительности карьера по добыче цементного сырья от относительно изменения параметров системы разработки месторождения, при технологической схеме работы с поворотом и фрезерованием в обратном направлении [51]

В таблице 3.3 представлены результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием технологической схемы послойного фрезерования, с поворотом и фрезерованием в обратном направлении, на производительность карьера.

Таблица 3.3 - Результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием технологической схемы послойного фрезерования, с поворотом и фрезерованием в обратном направлении, на производительность карьера (составлено автором)

Исходные данные								
параметр	1	2	3	4	5	6	7	ξ %
h	0,1	0,18	0,27	0,35	0,43	0,52	0,6	100
A_2 , млн м³/год	0,38	0,70	1,01	1,329	1,65	1,96	2,28	
b	2,2	2,20	2,20	2,5	2,50	3,80	4,2	100
A_2 , млн м³/год	1,17	1,17	1,17	1,329	1,33	2,02	2,23	

Продолжение таблицы 3.3

параметр	1	2	3	4	5	6	7	$\xi \%$
$l_{\text{фр}}$	150	208,33	266,67	325	383,33	441,67	500	13,84
A_2 , млн м ³ /год	1,188	1,278	1,334	1,329	1,402	1,423	1,441	
$K_{\text{И}}$	0,65	0,70	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	100
A_2 , млн м ³ /год	1,08	1,16	1,25	1,329	1,41	1,50	1,58	
$N_{\text{СМ}}$	495	496	498	500	502	504	505	100
A_2 , млн м ³ /год	1,316	1,318	1,324	1,329	1,334	1,340	1,342	
$K_{\text{БЛ}}$	0,7	0,77	0,83	0,9	0,97	1,03	1,1	100
A_2 , млн м ³ /год	1,034	1,132	1,231	1,329	1,427	1,526	1,624	
η	0,030	0,033	0,037	0,040	0,043	0,047	0,050	-3,99
A_2 , млн м ³ /год	1,343	1,338	1,334	1,329	1,324	1,320	1,315	
t_0	50	53,33	56,67	60	63,33	66,67	70	-3,13
A_2 , млн м ³ /год	1,336	1,334	1,331	1,329	1,327	1,324	1,322	
$t_{\text{п}}$	50	53,33	56,67	60	63,33	66,67	70	-3,13
A_2 , млн м ³ /год	1,336	1,334	1,331	1,329	1,327	1,324	1,322	
$V_{\text{Р}}$	5	7,50	10,00	12,5	15,00	17,50	20	82,78
A_2 , млн м ³ /год	0,59	0,85	1,10	1,329	1,54	1,75	1,94	
$T_{\text{РОВ}}$	2	2,33	2,67	3	3,33	3,67	4	-9,06
A_2 , млн м ³ /год	1,37	1,36	1,34	1,329	1,31	1,30	1,29	
$K_{\text{ТО}}$	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	100
A_2 , млн м ³ /год	1,163	1,218	1,274	1,329	1,384	1,440	1,495	
$K_{\text{ОСМ}}$	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	100
A_2 , млн м ³ /год	1,241	1,271	1,300	1,329	1,358	1,387	1,417	
$K_{\text{ОЖ}}$	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	100
A_2 , млн м ³ /год	1,163	1,218	1,274	1,329	1,384	1,440	1,495	
m				1	2	3	4	100
A_2 , млн м ³ /год				1,329	2,658	3,987	5,316	
$K_{\text{У}}$				1	2	3	4	100
A_2 , млн м ³ /год				1,329	2,658	3,987	5,316	

Для оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием поточной технологической схемы послойного фрезерования, на производительность карьера воспользуемся полученной аналитической формулой 3.16.

$$A_3 = 60 \cdot h \cdot b \cdot l_{\text{фр}} \cdot K_{\text{И}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot K_{\text{БЛ}} \cdot N_{\text{СМ}} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \rho} + m \cdot K_{\text{У}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{ОСМ}} \cdot K_{\text{ОЖ}}, \quad (3.16)$$

В качестве исходных данных принимаются значения параметров системы разработки из таблицы 3.1.

Таким образом, производительность карьера по формуле (3.16) составляет:

$$A_3 = 60 \cdot 0,35 \cdot 2,5 \cdot 12,5 \cdot 0,8 \cdot 500 \cdot 12 \cdot 0,9 \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,8 =$$

$$= 1,585 \text{ млн}^3/\text{год}$$

На рисунке 3.5 представлены графики изменения производительности карьера по добыче карбонатного сырья относительно изменения скорости движения машины послойного фрезерования, глубины и ширины полос фрезерования, длины фронта горных работ и предельно допустимого (нормируемого) коэффициентов потерь при поточной технологической схеме работы.

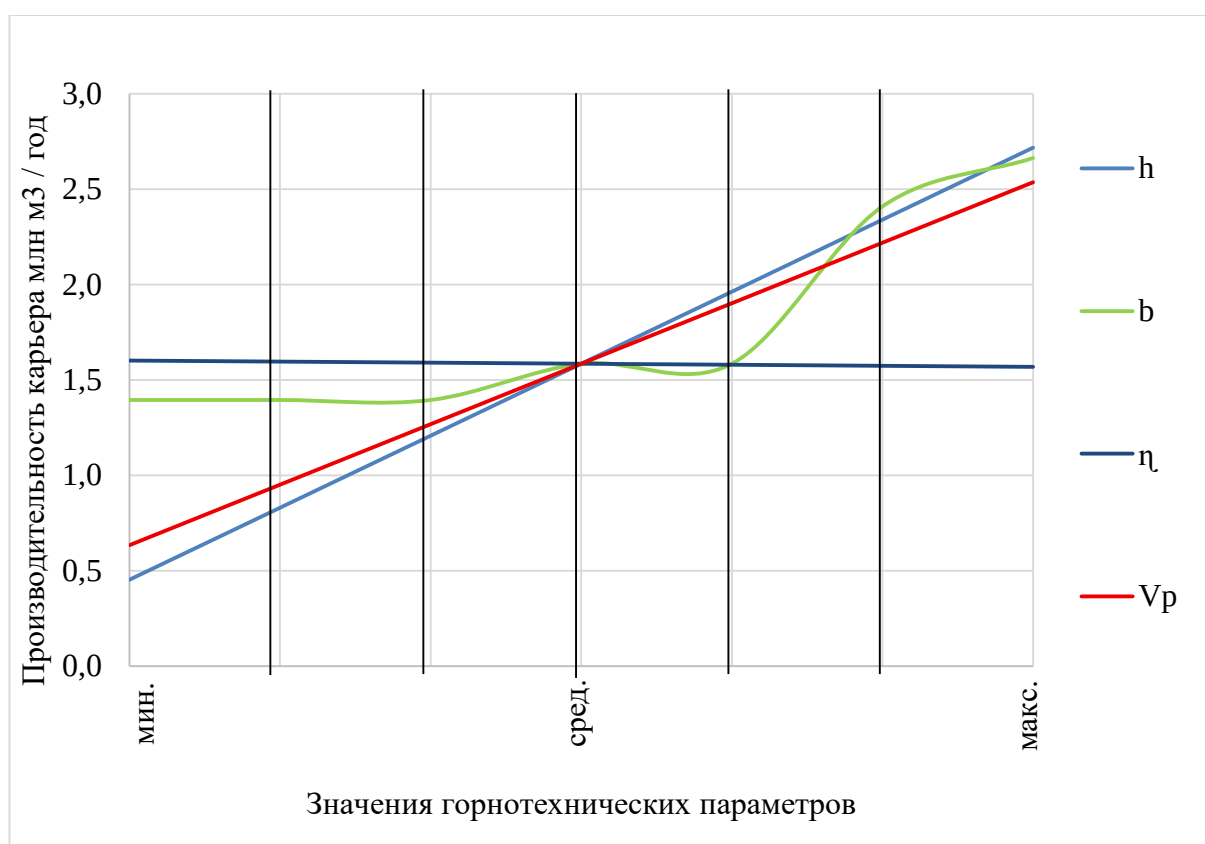


Рисунок 3.5 - График зависимости производительности карьера по добыче цементного сырья от относительно изменения параметров системы разработки месторождения, при поточной технологической схеме [51]

В таблице 3.4 представлены результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием поточной технологической схемы послойного фрезерования, на производительность карьера.

Таблица 3.4 - Результаты оценки степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья, с использованием поточной технологической схемы послойного фрезерования, на производительность карьера (составлено автором)

Исходные данные								
параметр	1	2	3	4	5	6	7	ξ %
h	0,1	0,18	0,27	0,35	0,43	0,52	0,6	100
A _з , млн м ³ /год	0,45	0,83	1,21	1,585	1,96	2,34	2,72	
b	2,2	2,20	2,20	2,5	2,50	3,80	4,2	100
A _з , млн м ³ /год	1,39	1,39	1,39	1,585	1,59	2,41	2,66	
K _и	0,65	0,70	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	100
A _з , млн м ³ /год	1,29	1,39	1,49	1,585	1,68	1,78	1,88	
N _{см}	495	496	498	500	502	504	505	100
A _з , млн м ³ /год	1,569	1,572	1,579	1,585	1,591	1,598	1,601	
K _{бл}	0,7	0,77	0,83	0,9	0,97	1,03	1,1	100
A _з , млн м ³ /год	1,233	1,350	1,468	1,585	1,702	1,820	1,937	
η	0,030	0,033	0,037	0,040	0,043	0,047	0,050	-3,99
A _з , млн м ³ /год	1,602	1,596	1,591	1,585	1,579	1,574	1,568	
V _р	5	7,50	10,00	12,5	15,00	17,50	20	100
A _з , млн м ³ /год	0,63	0,95	1,27	1,585	1,90	2,22	2,54	
K _{то}	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	100
A _з , млн м ³ /год	1,387	1,453	1,519	1,585	1,651	1,717	1,783	
K _{осм}	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	100
A _з , млн м ³ /год	1,480	1,515	1,550	1,585	1,620	1,655	1,690	
K _{ож}	0,7	0,73	0,77	0,8	0,83	0,87	0,9	100
A _з , млн м ³ /год	1,387	1,453	1,519	1,585	1,651	1,717	1,783	
m				1	2	3	4	100
A _з , млн м ³ /год				1,585	3,170	4,755	6,340	
K _у				1	2	3	4	100
A _з , млн м ³ /год				1,585	3,170	4,755	6,340	

По степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья можно выделить 3 категории параметров:

Высокая степень влияния – длина эксплуатационного блока, мощность слоя отработки горным комбайном; средняя степень влияния – ширина заходки комбайна, скорости перемещения горного комбайна по длине заходки; низкая значимость – нормативный коэффициент потерь, скорости перемещения горного комбайна холостым ходом.

По оценке прогнозируемости целесообразно отметить факторы, которые

значительно влияют на производительность карьера: высокая – цена на ранке минерального сырья, средняя – эксплуатационного блока, ширина заходки комбайна, низкая – скорость перемещения горного комбайна по длине заходки.

3.3 Обоснование и разработка методики определения производительности карьеров по добыче цементного сырья отрабатываемых с применением горных комбайнов (SM)

При определении производительности карьера в процессе принятия проектных решений следует учитывать различные факторы. Минимальное значение производительности, установленное горнотехническим или экономическим факторам, является ограничением при принятии решения. Для увеличения производительности выше установленного ограничительного фактора требуется проведение анализа развития рабочей зоны и разработка технологических и организационных мероприятий.

Производительность карьеров цементной промышленности, разрабатываемых с использованием комбайнов послойного фрезерования (SM), должна определяться с учетом горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений, использования технических возможностей фрезерных горных комбайнов и рабочей зоны карьера, установленного в проектной документации режима горных работ и рациональной организации труда [64].

Для определения производительности карьеров цементной промышленности, разрабатываемых с использованием комбайнов послойного фрезерования (SM), следует установить продолжительность технологических операций при работе фрезерного комбайна [64].

Рассмотрим возможные варианты времени проведения технологических операций при работе комбайнов послойного фрезерования (SM) на карьерах цементной промышленности [64]:

1) Календарный фонд времени технологических операций при работе комбайнов (SM) определяется как произведение общего числа календарных дней в исследуемом интервале времени на количество часов работы в сутки.

2) Номинальный фонд времени технологических операций при работе

комбайнов (SM) – это произведение общего числа дней работы за рассматриваемый промежуток времени работы комбайна в течение суток, принятому в проектной документации (3.17) [64]:

$$F_{\text{ном}} = n \cdot ((N_{\text{дн}} - N_{\text{вых}}) \cdot T_{\text{см}} - T_{\text{празд}}), \quad (3.17)$$

где n - количество смен работы в сутки, смен.;

$N_{\text{дн}}$ - количество суток работы в заданном интервале, сут.;

$N_{\text{вых}}$ - количество выходных и праздничных дней в заданном интервале, сут.;

$T_{\text{празд}}$ - общее количество часов, на которое сокращается время работы в предпраздничные дни, ч.

3) Эффективный фонд времени технологических операций при работе комбайнов (SM) – это максимально возможная продолжительность работы фрезерного комбайна за исключением времени, которое затрачивается на ремонтные и планово-профилактические операции (3.18) [64]:

$$F_{\text{эф}} = F_{\text{ном}} \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{осм}}, \quad (3.18)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования комбайна SM, учитывающий плановые ремонты оборудования (0,85-0,95) в зависимости от условий и режима работы;

$K_{\text{осм}}$ – коэффициент, учитывающий регулярные технологические осмотры главных узлов и механизмов комбайна SM, обусловлен соблюдением норм эксплуатации комбайнов послойного фрезерования (принимается по данным практики - 0,96). [34]

Производительность карьера цементной промышленности, разрабатываемого с использованием комбайнов послойного фрезерования (SM) (3.19)[74]:

$$\Pi = F_{\text{эф}} \cdot N \cdot A_{\text{к}} \cdot K_{\text{опыт}}, \quad (3.19)$$

где N – количество фрезерных комбайнов работающих в карьере, шт.;

$K_{\text{опыт}}$ – коэффициент учитывающий опыт работы и квалификацию машиниста комбайна, варьируется в пределах от 0,7 для машиниста без опыта работы на фрезировании, до 1,1 для машиниста с большим стажем и опытом работы (по данным хронометражных наблюдений). [34]

Величина производительности карьера варьируется в процессе отработки месторождения и отражается в структуре производственного процесса [64].

Структура производственного процесса отражается в следующих показателях:

- производительность карьера по руде на начало года $P_{нг}$;
- производительность карьера по руде на конец года $P_{кг}$;
- производительность карьера по руде карьера $P_{ср.}$ [64]

Производительность карьера по руде на конец года (3.20) [64]:

$$P_{ср} = P_{нг} + P_{вв} - P_{выб}, \quad (3.20)$$

где $P_{вв}$ – вводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья;

$P_{выб}$ – выводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья.

Среднегодовая производственная мощность учитывает баланс производственных мощностей в течение года (3.21):

$$P_{ср.год} = P_{нг} + P_{ср.вв} - P_{ср.выб}, \quad (3.21)$$

где $P_{ср.вв}$ – среднегодовая вводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья (3.22) [64];

$P_{ср.выб}$ – среднегодовая выводимая мощность в течение года на карьере по разработке месторождения цементного сырья (3.23) [64].

$$P_{ср.вв} = P_{вв} \cdot n_{вв}, \quad (3.22)$$

$$P_{ср.выб} = P_{выб} \cdot n_{выб}, \quad (3.23)$$

где $n_{вв}$ – коэффициент ввода производственных мощностей, определяемый от их ввода в эксплуатацию до конца года;

$n_{выб}$ – коэффициент, отсутствия ввода производственных мощностей от их вывода из эксплуатации до конца года [64].

В случае, если срок ввода (вывода) мощностей не установлен в проектной документации, то при определении значений производственных мощностей используется коэффициент усреднения 0,35 [64].

Усреднённая за год производственная мощность карьера, с учётом баланса производственных мощностей в течение года (3.24) [64]

$$P_{\text{сргод}} = P_{\text{нг}} + 0,35 \cdot P_{\text{вв}} - 0,35 \cdot P_{\text{выб}}, \quad (3.24)$$

Производительность комбайна послойного фрезерования SM при челноковой технологической схеме работы (с возвращением в начало заходки холостым ходом) определяется в следующем виде (3.25):

$$Q_{\text{ГКЭ}} = \frac{3600 \cdot T_{\text{см}} \cdot H \cdot B \cdot L_{\text{ФР}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_3 \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{К}} \cdot N_{\text{Г}}}{\frac{L_{\text{ФР}}}{V_{\text{Р}}} + \frac{L_{\text{ФР}}}{V_{\text{Х}}} + t_{\text{п}} + t_{\text{о}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.25)$$

где $K_{\text{ТО}}$ – коэффициент технического обслуживания комбайна послойного фрезерования (SM), (0,82-0,85);

K_3 – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени на осмотр, обслуживание и замену резцов барабана (0,90);

$K_{\text{П}}$ – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени при замене и установке карьерных автосамосвалов под погрузку (0,95);

$K_{\text{С}}$ – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени при селективной отработке пластов руды (0,90);

$K_{\text{К}}$ – коэффициент, учитывающий климатический фактор.

Длина перемещения фрезерного комбайна рабочим ходом, необходимая для загрузки одного карьерного автосамосвала (3.26) [64]

$$L_{\text{пог}} = \frac{V_{\text{РА}}}{B \cdot H}, \text{ м}, \quad (3.26)$$

где $V_{\text{РА}}$ – объем руды, размещаемый в кузове одного карьерного автосамосвала (в целике), м^3 .

Продолжительность загрузки комбайном одного карьерного автосамосвала (3.27) [64]:

$$T_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{пог}}}{V_{\text{р}}}, \text{ м}, \quad (3.27)$$

где $V_{\text{р}}$ – скорость рабочего хода фрезерного комбайна, $\text{м}/\text{мин}$.

«При челноковой технологической схеме работы комбайна количество карьерных автосамосвалов, загружаемых за смену (3.28)

$$N_{\text{А}} = \frac{Q_{\text{см}}}{V_{\text{РА}}}, \text{ авт./смен.}, \quad (3.28)$$

где $Q_{\text{см}}$ - сменная эксплуатационная производительность комбайна при челноковой схеме работы, $\text{м}^3/\text{смен.}$;

$V_{\text{РА}}$ – объем руды, размещаемый в кузове одного карьерного автосамосвала (в целике), м^3 . [64]

Нормативное количество рейсов карьерного автосамосвала в смену (3.29)

$$N_{\text{РА}} = \frac{T_{\text{см}} \cdot K_{\text{ИА}}}{T_{\text{РА}}}, \text{ авт./смен.}, \quad (3.29)$$

где $N_{\text{РА}}$ - нормативное количество рейсов автосамосвала, рейс./смен.; $K_{\text{ИА}}$ - коэффициент использования автосамосвала (0,8-0,85); $T_{\text{РА}}$ – продолжительность рейса карьерного автосамосвала, мин. (3.30)

$$T_{\text{РА}} = t_{\text{дв}} + t_{\text{погр}} + t_{\text{о.п.}} + t_{\text{у.п.}} + t_{\text{у.в.}} + t_{\text{р}}, \text{ мин.}, \quad (3.30)$$

где $t_{\text{дв}}$ – время движения гружёного и порожнего автосамосвала, мин.;

$t_{\text{погр.}}$ - время загрузки карьерного автосамосвала фрезерным комбайном, мин.;

$t_{\text{о.п.}}$ - время ожидания погрузки автосамосвала, мин.;

$t_{\text{у.п.}}$ - время установки автосамосвала под загрузку, мин.;

$t_{\text{у.в.}}$ - время установки под разгрузку автосамосвала, мин.;

$t_{\text{р.}}$ - время разгрузки автосамосвала, мин.» [64]

На рисунке 3.6 представлены графики зависимости продолжительности рейса автосамосвала, количества рейсов в смену и количества автосамосвалов, приходящихся на 1 фрезерный комбайн от расстояния транспортирования горной массы для горнотехнических условий карьеров предприятия по производству цемента Беочин (Сербия) [64].

Сырьевой базой предприятия по производству цемента Беочин с годовой производительностью 1,6 млн т цемента являются месторождения карбонатных пород, отрабатываемые двумя карьерами с годовой производственной мощностью соответственно 0,9 и 1,4 млн т» [15, 16, 34].

Одним из недостатков в конструкции горных комбайнов (расположение рабочего органа в центре агрегата) Wirtgen являются проблемы с проведением манёвров в рабочей зоне карьера по отработке сложноструктурных месторождений цементного сырья [76].

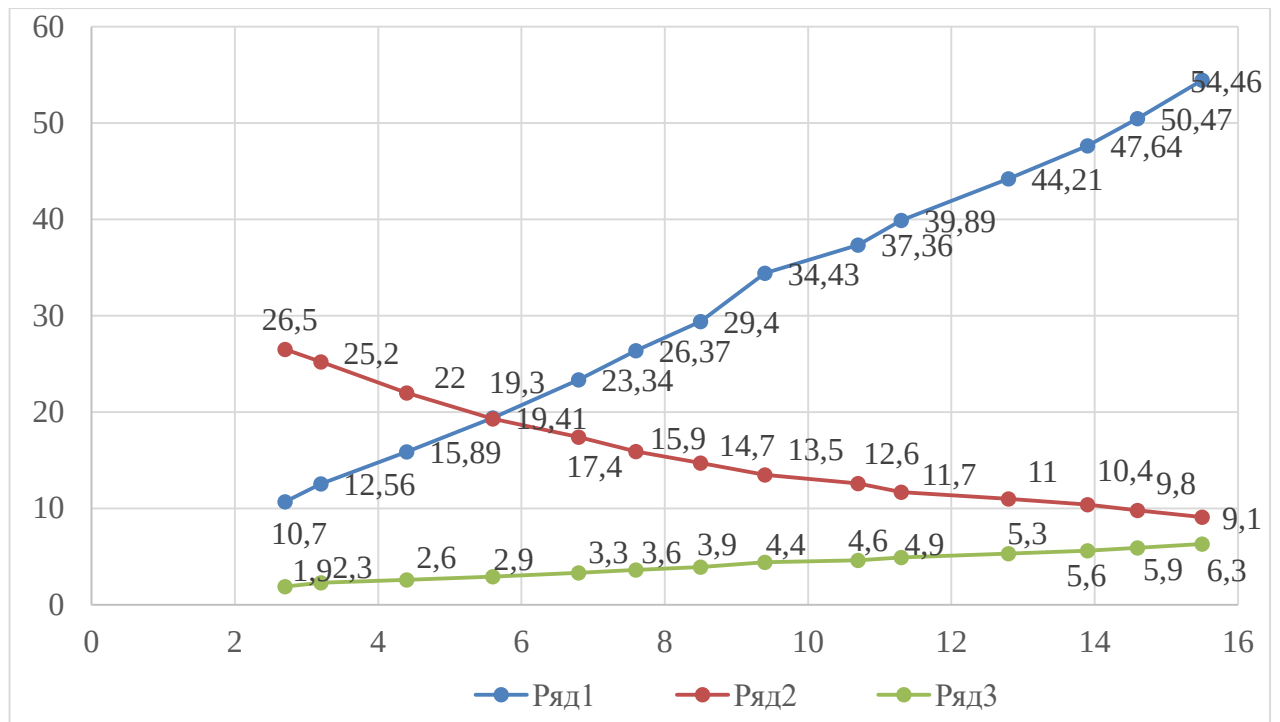


Рисунок 3.6 – Графики зависимости продолжительности рейса автосамосвала (ряд 1), количества рейсов в смену (ряд 2) и количества автосамосвалов, приходящихся на 1 фрезерный комбайн (ряд 3) от расстояния транспортирования горной массы для горнотехнических условий карьеров в Беоцине (Сербия) [64]

Применение более маневренного комбайна послойного фрезерования Terrain Leveler, с высокой точностью по мощности послойно обрабатываемых горных пород, обеспечивает возможность отказа от стадии первичного и вторичного дробления и получение конечного продукта непосредственно в забое, снижение потерь и разубоживания руды. Особенностью конструкции этих комбайнов является заднее расположение фрезерного барабана, позволяющее с высокой точностью регулировать крупность и гранулометрический состав обрабатываемых полезных ископаемых [62].

Принципиальным отличием фрезерной тонкослойной технологии разработки месторождений является кинематика движения рабочих органов экскавационной техники, особенность реализуемой системы разработки и технологических схем.

Внедрение безвзрывной технологии разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья позволяет сформировать ступенчатый откос на границе контура карьера или обрабатываемого рабочего блока, что достигается за счет уникального принципа работы современных фрезерных комбайнов, у которых

забоем является не торец уступа, а горизонтальная поверхность, где реализуется тонкослоевая отработка горных пород [62].

Базой данных для проведения исследований являлись карьеры и месторождения-аналоги по добыче цементного сырья в Сербии (Беочин) и на карьерах-аналогах по добыче известняка: Acme Brick Co., Holcomb, Buzzi Unicem, Lhoist, Cemex Brooksville, где применяются комбайны Terrain Leveler (за последние 3 года) [62].

Универсальность комбайнов Terrain Leveler заключается в том, что они могут применяться для проведения как добычных, так и вскрышных горных работ, при зачистке рабочих площадок, формирования транспортных коммуникаций, для проведения траншей. Преимущество комбайнов Terrain Leveler в простоте конструкции с задним расположением фрезерного барабана, где не предусмотрена погрузка в транспортные средства дроблёных горных пород, а рабочий орган находится на удалении от основного рабочего механизма, обеспечивая снижение ударных нагрузок и вибрации на конструкцию [62].

В случае примешивания в полезную толщу большого количества пропластков с некондиционным содержанием полезного компонента или вообще вскрышных пород, возникает необходимость применения дополнительных мероприятий на всех стадиях технологического процесса – от выемки до складирования готовой продукции. Все эти действия дополнительно увеличивают эксплуатационные затраты технологического процесса, существенно влияя на его производительность [62].

Комбайны послойного фрезерования Terrain Leveler с высокой точностью по мощности пластов послойно отрабатывают горные породы, что обеспечивает возможность отказа от стадии первичного и вторичного дробления и получение конечного продукта непосредственно в забое [62].

Благодаря уникальному принципу работы комбайнов послойного фрезерования может вовлекаться в отработку некондиционные горные породы, участки месторождений цементного сырья со сложным строением тонких пластов.

У комбайнов Terrain Leveler не предусмотрена погрузка в транспортные средства дроблёных горных пород, а рабочий орган находится на удалении от основного механизма, обеспечивая снижение ударных нагрузок и вибрации [62].

Высокая маневренность комбайна Vermeer Terrain Leveler позволяет отрабатывать более эффективно узкие участки рабочей зоны карьера и вести разработку месторождения на рабочих площадках с уклоном до 20^0 . Комбайны послойного фрезерования Vermeer Terrain Leveler – в зависимости от модели, способны за одну заходку отрабатывать слой горных пород мощностью до 81 см и шириной до 3,7 м [62].

Конструктивной особенностью комбайна послойного фрезерования Terrain Leveler является особенности привода, при котором невозможно обеспечить при разработке вертикальную форму откоса уступа [62].

Предельная рациональная мощность отрабатываемого пласта руды для комбайна послойного фрезерования Terrain Leveler определяется параметрами системы разработки, конструктивными размерами рабочего органа и составляет от 1 до 60 см [24].

При сложной форме строения пластов руды и вскрыши, установленной при детальной разведке месторождения, если строение отрабатываемого участка характеризуется неровной волнистой поверхностью рудо-породных контактов, внутри рудной толщи целесообразно выделить контактную область, параметры которой будут приближаться к допустимой кондиционной мощности прослая некондиционных горных пород, включаемых в краевой интервал, с учётом бортового содержания полезных компонентов в добываемой руде [62].

Рабочий органа комбайна Terrain Leveler - фрезерный барабан перемещается сверху вниз по ходу подачи, обеспечивая рациональные условия отработки массива без выламывания негабаритных кусков горной породы перед рабочим органом при разработке месторождений слоистого строения [62].

Область рационального использования фрезерных комбайнов зависит от износостойкости резцов рабочего органа [27; 99]. В ряде проведённых исследований доказано, что рациональной областью применения фрезерных

комбайнов на разработке месторождений цементного сырья являются горные породы с крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова до 10 [62].

При отсутствии чётких разделительных признаков рудопородных контактов, практически невозможно достичь точной зачистки рудного слоя при работе фрезерного комбайна. Мощность слоя потерь и разубоживания определяется высотой зубца на рабочем органе комбайна [62].

В условиях стохастического характера исходных геологических данных эффективная селективная отработка и первичное усреднение качества добываемой руды сложноструктурного месторождения машинами послойного фрезерования обеспечивается при рациональном планировании развития горных работ в пределах отрабатываемых блоков, рациональных параметрах системы разработки [21; 22].

Экскавация горной массы, как правило, проводится фронтальным погрузчиком при стабилизации гранулометрического состава и минимизации разубоживания руды.

На рисунке 3.7 представлен график зависимости годовой эксплуатационной производительности комбайна Terrain Leveler от крепости разрабатываемых горных пород на одноосное сжатие для горно-геологических и горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Сербии и карьеров-аналогов Asme Brick Co., Holcomb, Buzzzi Unicem, Lhoist, Cemex Brooksville [62].

Полученная эмпирическая зависимость для определения эксплуатационной производительности карьеров-аналогов по добыче цементного сырья позволяет принимать обоснованные проектные решения для сходных горнотехнических и горно-геологических условий отработки [62].

Соппротивление отрабатываемых горных пород воздействию рабочего органа комбайна характеризуется крепостью. Рост крепости горных пород приводит к увеличению энергетических затрат на отделение пород от массива, расхода горюче-смазочных и расходных материалов, износа деталей механизма, повышению динамики колебаний и числа отказов [62].

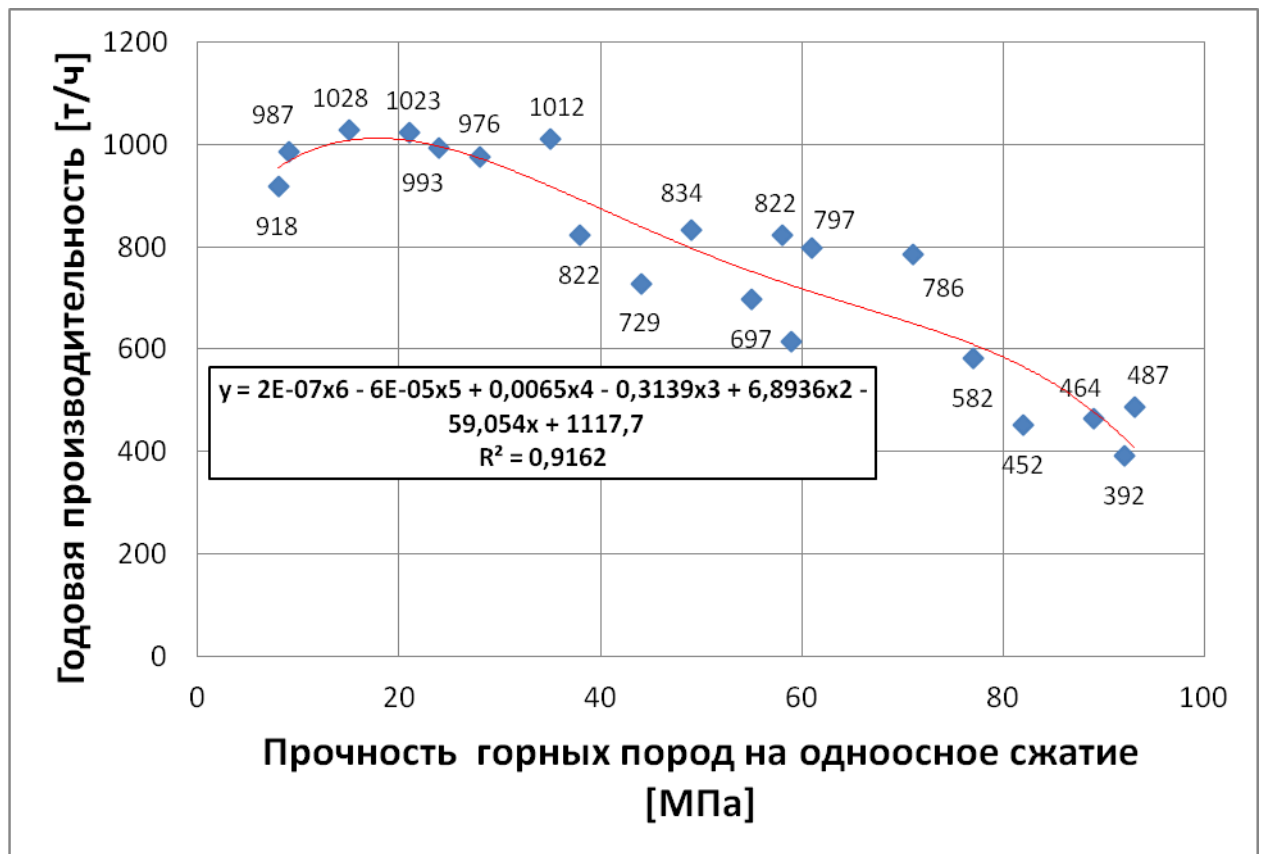


Рисунок 3.7 - График зависимости годовой эксплуатационной производительности комбайна Terrain Leveler от крепости разрабатываемых горных пород на одноосное сжатие для горно-геологических и горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Сербии и карьеров-аналогов Asme Brick Co., Holcomb, Buzzi Unicem, Lhoist, Cemex Brooksville [62]

Эффективность применения фрезерных комбайнов на карьерах по отработке месторождений цементного сырья зависит вида реализуемой технологической схемы и параметров системы разработки. Рассмотренные технологические схемы прошли апробацию на рассмотренных карьерах-аналогах по добыче цементного сырья [62].

При использовании системы разработки параллельными заходками целесообразно использование поточной технологической схемы работы горного комбайна.

Рациональная производительность комбайна послойного фрезерования обеспечивается при длине фронта горных работ, позволяющей осуществлять бесперебойную поточную отработку эксплуатационного блока месторождения с

минимальным количеством вспомогательных технологических операций и без холостого хода комбайна [64].

Производительность карьера, разрабатывающего месторождение цементного сырья с использованием комбайна послойного фрезерования, зависит от скорости движения фронта горных работ, скорости движения заходки по длине фронта, мощности обрабатываемого слоя горных пород, ширины полосы фрезерования, длины фронта горных работ, вида принятой технологической схемы отработки [64].

Анализ результатов исследований [62] позволяет сделать вывод, что увеличение производительности комбайнов Surface Miner достигается при увеличении длины фронта по послойному фрезерованию горных пород, при циклично-поточной и поточной технологии отработки месторождения и минимуме вспомогательных технологических процессов.

Эксплуатационная производительность фрезерного комбайна находится в зависимости от ряда факторов: от скорости перемещения рабочим и холостым ходом, ширины заходки, мощности обрабатываемого слоя, физико-механических свойств обрабатываемых горных пород, применяемой организации горных работ» [64].

3.4 Выводы по Главе 3

1. Увеличение производительности машин послойного фрезерования достигается при рациональных параметрах эксплуатационного блока, обеспечивающих поточную или циклично-поточную технологию отработки при минимальном количестве вспомогательных операций и холостых проходов комбайна SM.

2. При длине эксплуатационного блока менее 150 м следует использовать челноковую схему отработки, в противном случае рационально вести горные работы с разворотом в конце заходки и рабочим ходом в обоих направлениях.

3. В случае увеличения длины фронта горных работ целесообразен переход к организации отработки месторождения с разворотом комбайна в конце заходки и рабочим ходом и в обратном направлении.

4. По степени влияния различных параметров системы разработки месторождения цементного сырья можно выделить 3 категории параметров:

Высокая степень влияния – длина эксплуатационного блока, мощность слоя отработки горным комбайном; средняя степень влияния – ширина заходки комбайна, скорости перемещения горного комбайна по длине заходки; низкая значимость – нормативный коэффициент потерь, скорости перемещения горного комбайна холостым ходом.

5. Определение рациональной длины эксплуатационного блока должно проводиться с учетом обеспечения заданной проектной производственной мощности карьера, производительности фрезерного комбайна SM, принятой технологии ведения горных работ и обеспечения экономической эффективности разработки месторождения.

6. Для горно-геологических условий месторождений цементного сырья целесообразно применение безвзрывной технологии разработки с применением комбайнов Surface Miner, не требующей последующего крупного дробления, обеспечивающей рациональное использование недр за счёт повышения объёмов запасов, вовлекаемых в отработку.

7. Тонкослоевая технология фрезерования обеспечивает улучшение качества добываемого сырья, повышение безопасности и снижение выбросов загрязняющих веществ.

8. Рациональная производительность комбайна послойного фрезерования обеспечивается при длине фронта горных работ, позволяющей осуществлять бесперебойную поточную отработку эксплуатационного блока месторождения с минимальным количеством вспомогательных технологических операций и без холостого хода комбайна.

9. Эксплуатационная производительность фрезерного комбайна находится в зависимости от ряда факторов: от скорости перемещения рабочим и холостым ходом, ширины заходки, мощности отрабатываемого слоя, физико-механических свойств отрабатываемых горных пород, применяемой организации горных работ.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ «МУТАЛЬ» В БЕОЧИНЕ

4.1 Горно-геологические условия открытой разработки месторождения цементного сырья «Муталь»

Цементный завод «Беоцин» был основан в 1839 году, на правом берегу Дуная, в 15 км к западу от Нового-Сада. С 2002 года в результате процесса смены собственника «Beočinska Fabrika Cementa» стала частью компании «Lafarge», известного мирового производителя строительных материалов.

Цементный завод расположен между северными склонами Фрушкой-Горы и Дунаем. Граница национального парка Фрушка-Гора проходит примерно в 3 км к югу. Рельеф преимущественно равнинный, средняя высота над уровнем моря составляет 100 м. Цементный завод находится примерно в 1 км от Дуная, а заводское кольцо соединено с рекой каналом. Общая площадь завода составляет 110 га, на востоке он граничит с городом Беоцин (рисунок 4.1) [108].



Рисунок 4.1 – Расположение карьера Муталь [108]

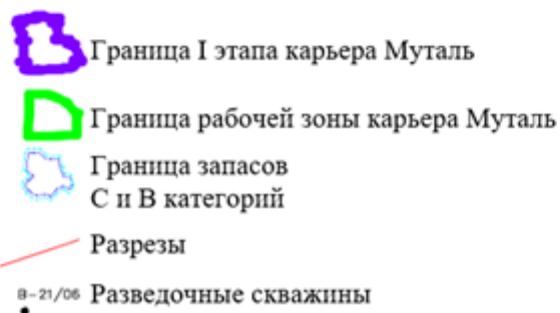
Как видно на снимке, дорога, соединяющая карьер Муталь с заводом в Беочине большей своей частью проходит через национальный парк Фрушка-Гора.

На известняковом карьере Муталь, являющемся частью цементного завода в Беочине (LBFC), добывается известняк, который вместе с мергелем с карьера «Филяла», составляет основу сырьевой смеси для производства цементного клинкера. Соотношение мергеля и известняка в сырьевой смеси определяется технологическим процессом производства в зависимости от минералогического состава исходных компонентов, в первую очередь содержания CaCO_3 .

Определение параметров системы открытой разработки известняков и вскрышных пород в границах карьера Муталь было выполнено в соответствии с текущим Геологическим планом - План запасов известняка как цементного сырья на месторождении «Муталь» вблизи Бешенова [104]. Авторы плана: «ООО Geostim Beograd», 2011, (пере)интерпретировали месторождение известняка Муталь на основе:

- существующих геологоразведочных работ (1964/65 и 2002/2006 гг.);
- предыдущих геологических планов;
- предыдущих горно-технологических исследований.

Детальные геологоразведочные работы на месторождении Муталь проводились Институтом геологических и геофизических исследований из Белграда и геологической службой цементного завода в Беочине в период с 1964 по 1965 год, когда было пробурено 63 разведочные скважины. В период с 2002 по 2006 год было пробурено еще 31 скважина. Исследования проводились Горно-геологическим факультетом и «Hidrogeorad». На рисунке 4.2, помимо схемы расположения разведочных скважин, показаны контуры: запасов известняка, утвержденная рабочая зона карьера, в собственности LBFC и окончательная граница первого этапа карьера Муталь. Месторождение Муталь разведано на площади около 100 га. Площадь разведанных запасов известняка составляет около 43 га (435 192 м²).



МуТаль [104]

добычных уступов, начиная от подошвы до кровли определены:

- озерные отложения нижнего миоцена, известные в литературе как «серия

Врджичка», иначе подпшва лайтовачких известняков как полезного ископаемого;

- морские отложения баденских толщ и каспийские отложения понтийских толщ (отложения Паратетиса), состоящие, кроме мергеля, из глины и песчаника, и лайтовачких известняков.

а) Нижнемиоценовые озерные отложения – «серия Врдничка» (M1)

Нижнемиоценовые озерные отложения, известные в литературе как «серия Врдничка» (лучше всего обнаруженные и обработанные в районе Врдника, где с ними связаны явления угля и бентонитовой глины), являются древнейшими геологическими образованиями, установленными разведочным бурением в районе изучаемого месторождения. Они представляют собой подошву лайтовачких известняков – полезного сырья. Данная группа отложений была обнаружена только в ходе исследований 2004/2006 годов. Они представлены цветными обломочными глинами с линзами гравийно-глинистых песчаников и слоями серо-зеленых бентонитовых глин, отложившихся в фазу заполнения миоценовых озер. С гидрогеологической точки зрения они непроницаемы для слабопроницаемых сред.

б) Морские отложения среднего миоцена - баден (M₂²)

Морские отложения среднего миоцена баденского дна в составе месторождения Муталь имеют наибольшее распространение и мощность среди неогеновых образований. В них было выявлено и детально разведано полезное минеральное сырье месторождения – известняк. Осадки Бадена в основном покрыты четвертичными и понтийскими отложениями. В геологическом разрезе среди баденских месторождений по принципу суперпозиции можно выделить:

- Нижнебаденские отложения;
- Верхнебаденские отложения.

Известняки месторождения различаются по твердости: от твердых до рыхлых, а цвет варьируется от почти белого до серовато-желтоватого и светло-серого (рисунок 4.3). Местами они закарстованы настолько, что на месте бывших трещин, расширенных разрушительным воздействием подземных вод, в них образуются пещеры, заполненные глиной и песчанистой глиной.



Рисунок 4.3 - Вид рыхлых и затвердевших лайтовачких известняков в месторождении Муталь [102]

Мощность лайтовачких известняков в рудном теле месторождения Муталь колеблется от 6 м в северо-восточной части до 136 м в южной и юго-западной частях. В среднем она составляет 53,5 м. В целом рудное тело имеет простирание с запада на восток и северо-запада на юго-восток с небольшим падением с юга на юго-запад. Мощность аллювиальных, безрудных отложений колеблется от 0 м на карьере до максимальных значений в восточной части рудного тела месторождения, где мощность составляет 65,1 м. Средняя мощность составляет 23,54 м.

Современный рельеф месторождения Муталь был смоделирован под влиянием литологического состава и комплекса, так что он представляет собой осадочное слоистое месторождение с конфигурацией кровли и подошвы известняка, аналогичной конфигурации рельефа. Перепады высот в оконтуренной части месторождения с СВ на ЮЗ составляют 60 м, от К+240 до К+180 над уровнем моря.

Полезным сырьем месторождения являются карбонатные отложения — известняки, светло-серого, белесого и светло-серо-желтого до красноватого цвета. Они имеют переменную мощность в результате изменения палеогеографических условий во время осадконакопления. Известняки частично закарстованы, образуя

карстовые воронки, заполненные четвертичными отложениями, а также пещеры, заполненные глинисто-мергелевым и песчано-суглинистым материалом. Они массивные или осыпные и имеют углы падения, ориентированные в направлении с юга на юго-запад, с углом падения $16\text{--}29^\circ$, в среднем около 20° .

На основании геомеханических испытаний и анализа результатов, представленных в документе «Проверочное исследование устойчивости карьера и внешнего отвала «Муталь» около Беочина» (ГГФ, 2012), [103]) были определены физико-механические свойства материала с участка карьера Муталь.

На месте расположения карьера Муталь и внешнего отвала пробурено шесть разведочных скважин, из которых отобрано 23 пробы для лабораторных испытаний физико-механических свойств. Полные испытания были проведены на 11 образцах, а частичные — на 12 образцах. Все испытания проводились на основе современных методов и подходов в прикладной механике горных пород.

Для определения расчетных параметров отдельных литологических элементов был проведен статистический анализ результатов испытаний физико-механических свойств скального материала с участка карьера Муталь, а также материала, размещенного на внешнем отвале. Рассматривая геологическое строение местности, где проводились полевые исследования, можно выделить следующие литологические элементы:

1. лесс,
2. глина,
3. известняк,
4. некондиционные пропластки.

Вскрышные породы на карьере Муталь состоят из лёсса и глины. Геомеханический анализ устойчивости уступов проводился как для отдельных пород вскрышного отвала, так и для всего отвала (лёсс и глина вместе).

В таблицах 4.1. и 4.2. приведены значения расчетных параметров отдельных литологических элементов месторождения Муталь, полученные путем статистической обработки результатов исследования физико-механических характеристик. м³.

Таблица 4.1 – Значения расчетных показателей вскрышных пород [103]

Материал	Объемная масса γ (кН/м ³)	Угол внутреннего трения φ (°)	Сплоченность c (кПа)
Вскрышные породы на карьере	20,53	21,25	20,81
Лесс	20,57	17,19	17,9
Глина	20,21	18,35	21,00
Некондиционные пропластки	17,11	15,43	9,28

Таблица 4.2 – Значения расчетных параметров известняка [103]

Материал	Объемная масса γ (кН/м ³)	Прочность на сжатие σ_c (МПа)	Прочность на растяжение σ_t (МПа)	Модуль упругости E (МПа)	Коэффициент Пуассона μ
Известняк	25,69	36,57	3,54	3.500	0,30

Качество и оценка пригодности известняка в качестве цементного сырья определялись на основании результатов лабораторных исследований проб, отобранных из керна разведочных скважин. В лаборатории «Beočinska Fabrika Cementa», позднее Lafarge BFC, были проведены химические анализы подготовленных образцов известняка из керна скважин для определения содержания SiO₂, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃, Na₂O, K₂O. На основании полученных результатов рассчитаны средние значения содержания некоторых химических показателей, определяющих качество известняка месторождения Муталь как цементного сырья.

На основании выполненных геологоразведочных работ, а также интерпретации месторождения известняков Муталь были подсчитаны геологические и балансовые запасы, которые представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Геологические и балансовые запасы известняков месторождения Муталь [104]

Категория запасов	Геологические запасы	Балансовые запасы
В	20.767.129	15.512.698
С1	5.626.833	2.204.645
ВСЕГО В+С1	26.393.963	17.717.343

Качественная характеристика известняка в месторождении Муталь представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Качественная характеристика известняка в месторождении Муталь [104]

CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	CaCO ₃ (%)
52,56	0,67	2,25	0,90	0,70	0,11	0,07	0,13	93,91

Предельным критерием качества известняка является содержание CaCO₃.> 89 %. В границах I этапа карьера Муталь количество известняка с качеством ниже предельных значений составляет 7 % (1.118.580 т при ΣМ = 15.140.840 т). Эти объемы будут по возможности смешаны на перевалочной площадке с известняком лучшего качества и отправлены на завод в LBFC.

4.2 Основные технологические и проектные решения по отработке месторождения «Муталь» в Беочине

Добыча известняка и вскрыши на карьере Муталь осуществляется в пределах утвержденного горного отвода, зарегистрированного в кадастре горных отводов на листе №. 451, (Разрешение на производство горных работ, решение № 115-310-00241/2006-02 от 22.08.2006 г.) в границах собственности LBFC.

На рисунке 4.4 показано существующее (так называемое нулевое) состояние горных работ на месторождении Муталь.



Рисунок 4.4 - Карьер Муталь (вид с восточной стороны) [104]

Площадь поверхности вскрышной выработки составляет около 300.900 м². Известняк был обнаружен на площади около 192.100 м², самая низкая отметка раскопок составила 157 м над уровнем моря.

При добыче известняка предлагаются следующие виды оборудования:

1. основное

- выемка карьерным комбайном WIRTGEN 2500 SM с прямой погрузкой известняка в самосвалы и

- отработка гидравлическим экскаватором HYUNDAI 450 LC с ковшом «рыхлитель» Е = 2,2 м³ также с прямой погрузкой в автосамосвалы;

2. вспомогательное

- рыхление и отгрузка известняка бульдозером (в случае выхода из строя карьерного комбайна);

- погрузка известняка в автосамосвалы при использовании вспомогательного оборудования осуществляется погрузчиком.

Вывозка вскрышных пород осуществляется двумя гидравлическими экскаваторами HYUNDAI 450 LC с ковшом Е = 3,0 м³, загружаются в самосвалы и вывозятся на расстояние около 2,6 км на внешний отвал на карьере Белый камень.

В таблице 4.5 представлены значения геометрических параметров выемки, принятые согласно проекту.

Таблица 4.5 - Значения геометрических параметров выемки, принятые согласно проекту

Геометрический параметр выемки	Принятые значения
Угол откоса борта карьера на вскрыше, α_j (°)	26
Угол откоса борта карьера на известняке, α_k (°)	45
Угол откоса рабочего уступа на известняке, α_{rj} (°)	75
Угол откоса рабочего уступа на вскрыше, α_{rk} (°)	45
Угол откоса борта отвала, α_o (°)	12-15
Ширина карьерных дорог (м)	9-10

Продолжение таблицы 4.5

Геометрический параметр выемки	Принятые значения
Уклон карьерных дорог (%)	≈ 8
Высота уступа, Н (м)	12

4.2.1 Принятые параметры устойчивости и подробное описание ограничений карьера Муталь

Параметры устойчивости карьера и отвала были приняты на основании геомеханических испытаний и анализов, описанных в документации:

1. Проверочное исследование устойчивости карьера и внешнего отвала «Муталь» около Беочина - ГГФ, 2012.

2. «Исследование по проверке устойчивости северного (фактически восточного) откоса внешнего отвала карьера «Муталь» - ГГФ, 2012.

Анализ устойчивости **вскрышных откосов** карьера Муталь, проводился по методу А. В. Бишоп [101].

Коэффициент запаса прочности для откосов бортов карьера, согласно Своду технических норм по открытой разработке месторождений полезных ископаемых, составляет $F_{\min} = 1,30$, поэтому согласно диаграмме для борта карьера высотой $H = 60$ м угол откоса составляет $\alpha = 17^\circ$ (рисунок 4.5).

В части месторождения Муталь, в границах текущего владения LBFC, мощность вскрыши изменяется от 12 м на западном до 30 м на южном борту, поэтому в соответствии с условиями геомеханической устойчивости угол откоса борта карьера изменяется в пределах $\alpha = 40^\circ$ - 21° [103].

Угол откоса всех вскрышных уступов высотой 12 м принят, также согласно диаграмме, $\beta = 40^\circ$ (рисунок 4.5). Ширина рабочей площадки (В) варьируется в зависимости от мощности вскрыши, то есть от угла откоса борта, который является функцией мощности вскрыши (4.1).

$$\tan \alpha = \frac{H}{n \cdot h \cdot \cot \beta + n \cdot B}, \quad \text{то есть} \quad B = \frac{H \cdot (\cot \alpha - \cot \beta)}{n}, \quad (4.1)$$

где α – угол откоса борта карьера, $^\circ$;

β - угол откоса уступа, $^\circ$;

n – количество уступов;

h – высота подступов, м;

H – общая высота отложений, $H = n \cdot h$, м.

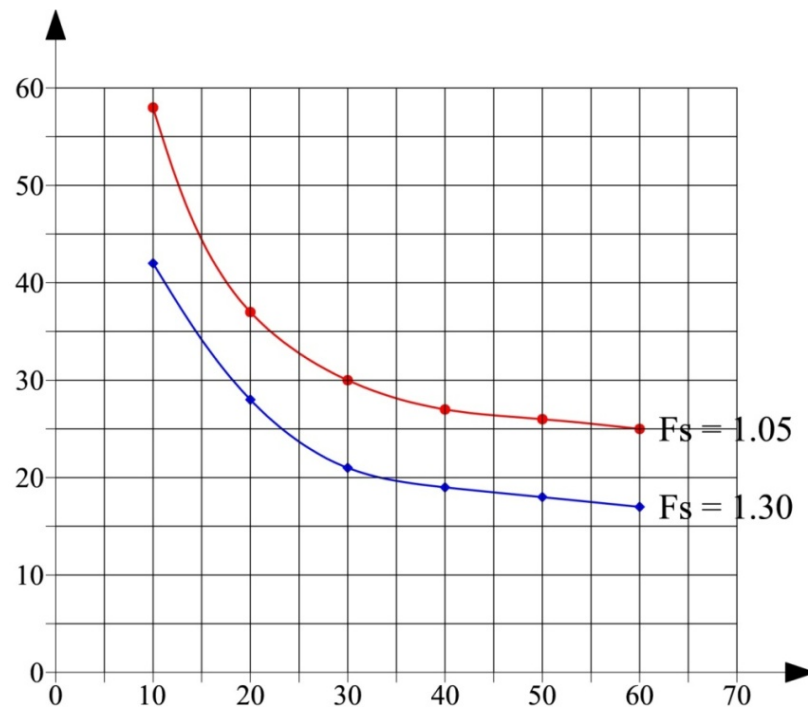


Рисунок 4.5 - Вскрышные породы, график зависимости угла α (°) от высоты откоса H (м) для рабочих уступов ($F_s = 1,05$) и бортов карьера ($F_s = 1,30$) (Исследование проверки устойчивости, [103])

Геометрические параметры вскрышных работ на I этапе разработки месторождения Муталь, значения которых являются постоянными:

- высота уступа $h = 12$ м;
- угол откоса уступа $\beta = 40^\circ$.

Геометрические параметры вскрышных работ на I этапе разработки месторождения Муталь, значения которых являются переменчивыми:

- максимальная высота выемки H ;
- ширина рабочей площадки;
- угол откоса борта карьера α , значения которого изменяются в зависимости от мощности вскрыши в этой части месторождения и в соответствии с условиями геомеханической устойчивости (диаграмма $\alpha = f(H)$, взятая из документа «Проверочное исследование устойчивости карьера и внешнего отвала «Муталь» около Беочина - РГФ, 2012» [103]).

Устойчивость **добычных откосов** на карьере Муталь, анализировалась по методу Э. Хука (плоское обрушение откоса). Расчетные параметры для расчета устойчивости определялись по критерию разрушения Хука-Брауна на основе предполагаемой геометрии (высоты) откоса. При расчете устойчивости рабочих уступов и бортов карьера предполагалось, что трещина растяжения расположена за вершиной откоса и наполовину заполнена водой.

В таблице 4.6 представлены результаты анализа устойчивости рабочего борта карьера для высот уступов $H = 10,0, 12,5, 15,0, 17,5$ и $20,0$ м, который проводился для углов откосов $\alpha = 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ$ и 80° . На основании значений показателей прочности на сдвиг определено положение системы трещин с минимальным коэффициентом запаса прочности.

Таблица 4.6 – Значения минимального коэффициента запаса прочности $F_{\text{сmin}}$ для анализируемых откосов рабочих уступов с положением критической системы трещин ψ_p ($^\circ$) [102]

Высота уступа H (м)		Угол откоса уступа α ($^\circ$)				
		60	65	70	75	80
10,00	$F_{\text{сmin}}$	2,222	1,930	1,687	1,455	1,218
Высота уступа H (м)		Угол откоса уступа α ($^\circ$)				
		60	65	70	75	80
	ψ_p ($^\circ$)	40	40	44	48	52
12,50	$F_{\text{сmin}}$	2,030	1,783	1,558	1,343	1,123
	ψ_p ($^\circ$)	38	41	44	48	52
15,00	$F_{\text{сmin}}$	1,904	1,673	1,461	1,259	1,051
	ψ_p ($^\circ$)	37	41	44	48	53
17,50	$F_{\text{сmin}}$	1,804	1,585	1,384	1,192	0,995
	ψ_p ($^\circ$)	38	41	45	49	53
20,00	$F_{\text{сmin}}$	1,722	1,513	1,321	1,137	0,948
	ψ_p ($^\circ$)	38	41	45	49	53

В таблице 4.7 представлены результаты анализа устойчивости нерабочего борта карьера, который проводился для общей высоты выработки $H = 50, 75, 100, 125$ и 150 м. С применением критерия разрушения Хука-Брауна определены значения параметров прочности на сдвиг (угол внутреннего трения и сцепление) скального массива для определенных высот.

На основании значений показателей прочности на сдвиг определен максимальный угол откоса борта карьера, согласно Своду правил по техническим нормам открытой разработки месторождений полезных ископаемых, для коэффициента запаса прочности $F_{\min}=1,30$, т.е. $F_{\min}=1,50$.

Таблица 4.7 – Значения максимального угла откоса для анализируемых бортов карьера с положением критической системы трещин [102]

Высота уступа Н (м)	Минимальный коэффициент запаса прочности $F_{\min} = 1,30$		Минимальный коэффициент запаса прочности $F_{\min} = 1,50$	
	Максимальный угол откоса α (°)	Наклон системы трещин ψ_p (°)	Максимальный угол откоса α (°)	Наклон системы трещин ψ_p (°)
50,00	64	41	58	36
75,00	58	37	53	33
100,00	54	34	49	31
125,00	51	32	46	29
150,00	49	31	43	27

Приняты следующие значения геометрических параметров добычных уступов карьера Муталь:

- высота уступа $h = 12$ м;
- угол откоса уступа $\beta = 70^\circ$;
- угол откоса борта карьера $\alpha = 45^\circ$ ($H_{\max}=100$ м) соответствует условиям геомеханической устойчивости, приведенным в таблице 4.7 (взято из документа «Проверочное исследование устойчивости карьера и внешнего отвала «Муталь» около Беочина - РГФ, 2012» [103]).

Борты карьера в пределах заданных контуров (запасов, права собственности и утвержденного отвода) определяются на основании:

1. геомеханических параметров безопасности: угол откоса борта карьера $\alpha = f(H)$ для вскрышных пород и $\alpha < 49^\circ$ при $\Sigma H \geq 100$ м для известняка,
2. геологических характеристик месторождения: мощность вскрышных пород, разрезы и угол залегания месторождения, особенно в северо-восточной части (рисунок 4.6),
3. проектируемых горных работ (рисунок 4.7):
 - ✓ карьерные дороги на северо-восточном борту;

- ✓ плато для перевалки и гомогенизации известняка вдоль восточного борта;
- ✓ глубина отработки определяется динамикой отработки.

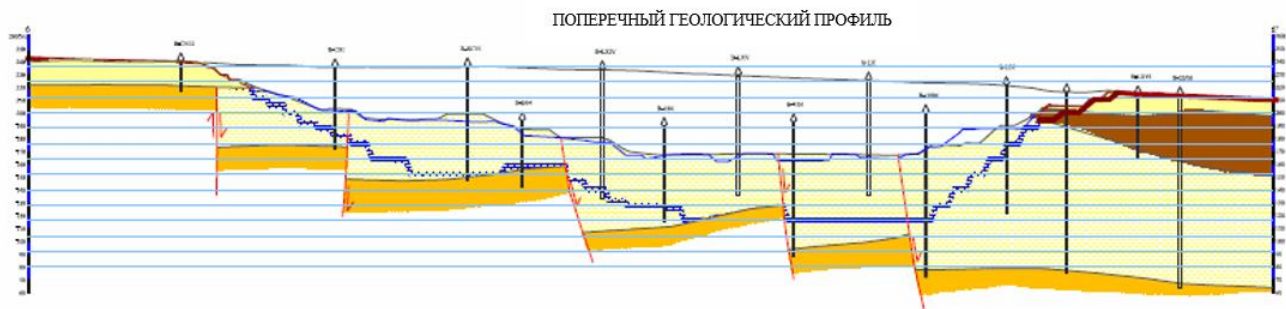


Рисунок 4.6 - Ограничение первого этапа разработки месторождения Муталь на профиле 6-6' в направлении С-Ю (положение профиля показано на рисунке 4.7)

[104]

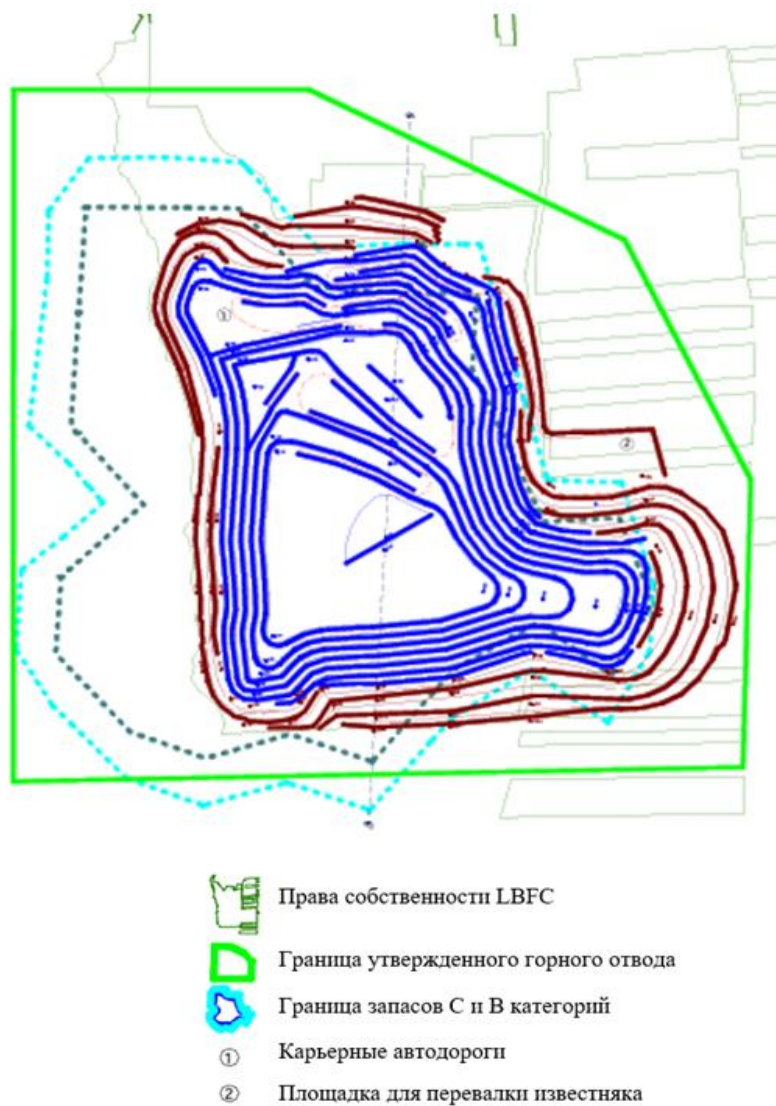


Рисунок 4.7 - Ограничение первого этапа разработки месторождения Муталь с положением профиля 6-6' [104]

4.2.2 Технологический процесс выемки известняка и вскрышных пород

В рамках первого этапа отработки карьера Муталь, в пределах контура участка принадлежащего LBFC, объемы известняка и вскрышных пород готовых к выемке рассчитывались с использованием метода параллельных горизонтальных поверхностей: как произведение площади уступа или части уступа (в случае, если известняк или вскрыша выходят на поверхность в этом уступе) и высоты уступа (0-12 м).

При расчете объемов добычи известняка учтены эксплуатационные потери в размере 5 %, включающие потери при выемке, при смешивании известняка лучшего и худшего качества и при погрузке.

В таблице 4.8 представлен порядок отработки известняка, определенный Техническим заданием проекта.

Таблица 4.8 - Порядок отработки известняка на месторождений Муталь [104]

Год разработки месторождения	Годовая добыча известняка (т)
1	600 000
2	630 000
3	660 000
4	880 000
5	925 000
6	970 000
7	1 000 000
8	1 050 000
9-14	1 100 000
15	1 068 800
ВСЕГО	14 383 800

На основании порядка отработки известняка, приведенного в таблице 4.8, и расчетных объемов добычи известняка в границах I этапа, определены сроки добычи известняка I этапа отработки карьера Муталь (4.2):

$$\sum T = \frac{\sum M}{\sum A_{\text{год}(9,10..)}} + 8 \text{ год} = \frac{14\,383\,800\text{т} - 6\,715\,055\text{т}}{1\,100\,000\text{т/год}} = 14,97, \text{год}, \quad (4.2)$$

где $\sum M$ - общие запасы известняка готовые к выемке (т),

$\sum A_{\text{год}(9,10..)}$ - годовая добыча известняка с 9 по 14 год (т),

сумма 6 715 000 тонн - это сумма добычи известняка за первые 8 лет.

Порядок обработки вскрышных пород координируется с порядком обработки известняка и плановым задействованием техники на вскрышных породах (4.3):

$$\sum T_{\text{в}} = \frac{\sum M_{\text{в}}}{A_{\text{в}}} = \frac{1\,222\,520 \text{ м}^3\text{тм}}{130\,000 \text{ м}^3\text{тм/год}} = 9,4 \text{ год} \quad (4.3)$$

где $\sum M_{\text{в}}$ - запасы вскрышы в границах I этапа обработки карьера Муталь ($\text{м}^3\text{тм}$),
 $A_{\text{в}}$ — годовая производительность вскрышы ($\text{м}^3\text{тм}$)

По расчетам времени выемки вскрышных пород и известняка, время выемки известняка больше примерно на 5,5 лет, что соответствует проектному заданию, где контур и производительность I этапа карьера Муталь должны обеспечить продолжение обработки без чрезмерных инвестиций в вскрышные работы. В целях стандартизации качества добываемого известняка, поставляемого в качестве сырья на завод LBFC, порядок обработки и очередность развития вскрышных и добычных работ спроектированы таким образом, что ежегодно около половины добычи известняка добывается в центральной части карьера, а другая половина — в периферийных частях карьера.

Согласно сложившейся ситуации, Технического задания проекта и принятой очередности развития добычных работ, план привлечения техники для добычи известняка на I этапе карьера Муталь выглядит следующим образом:

1. С I по IV год на добыче и транспортировке известняка будет задействовано оборудование: комбайн Wirtgen 2500 SM и экскаватор Hyundai (как основное оборудование), бульдозер CAT D9R, грузовые автомобили Man и Volvo (FM42) для транспортировки по карьере и грузовые автомобили Volvo (FM42T, тягачи) для транспортировки на завод;

2. С V по XV годы основным оборудованием для добычи известняка будут являться 2 комбайна Wirtgen 2200 SM, вспомогательным оборудованием для добычи известняка: комбайн Wirtgen 2500 SM и экскаватор Hyundai, бульдозер CAT, транспортировка горной массы будет осуществляться сочлененными грузовиками CAT, а транспортировка по дорогам общего пользования — тягачами Volvo FM42T.

Согласно плану задействования техники, до IV года эксплуатации комбайн Wirtgen 2500 SM представляет собой основную технику для добычи известняка. С V года комбайн Wirtgen 2500 SM будет задействован в качестве вспомогательного оборудования при работах по: вскрытию уступов, содержанию дорог, прокладке каналов и т. д. или в качестве замены в случае выхода из строя основного оборудования, т. е. комбайна Wirtgen 2200 SM.

Карьерный комбайн Wirtgen 2500 SM на карьере Муталь добывает известняк параллельными проходами с прямой погрузкой известняка в самосвалы (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Карьерный комбайн Wirtgen 2500 SM при отработке и погрузке известняка [110]

Принятые значения рабочих параметров карьерного комбайна Wirtgen 2500 SM при добыче известняка составляют:

- высота уступа $H=12\text{м}$, с 3 подступами по 4 м каждый,
- угол откоса уступа $\beta=70^\circ$ и
- угол откоса борта карьера $\alpha=45^\circ$

Перед началом работы, для обеспечения последующей производительной работы горного комбайна, следует провести ряд мероприятий [62]:

- выровнять микрорельеф рабочей площадки;
- при развитии работ отработку каждого слоя начинать с проходки по коротким сторонам площадки врубовых выработок.
- начать горные работы комбайном с выполнения последовательно нескольких параллельных фронтальных проходов вдоль восточной стороны площадки, с развитием их в западном направлении к верхней бровке нижележащего добычного уступа, где размещен верхний экскаватор, создав тем самым также удовлетворительные условия для движения автосамосвалов.

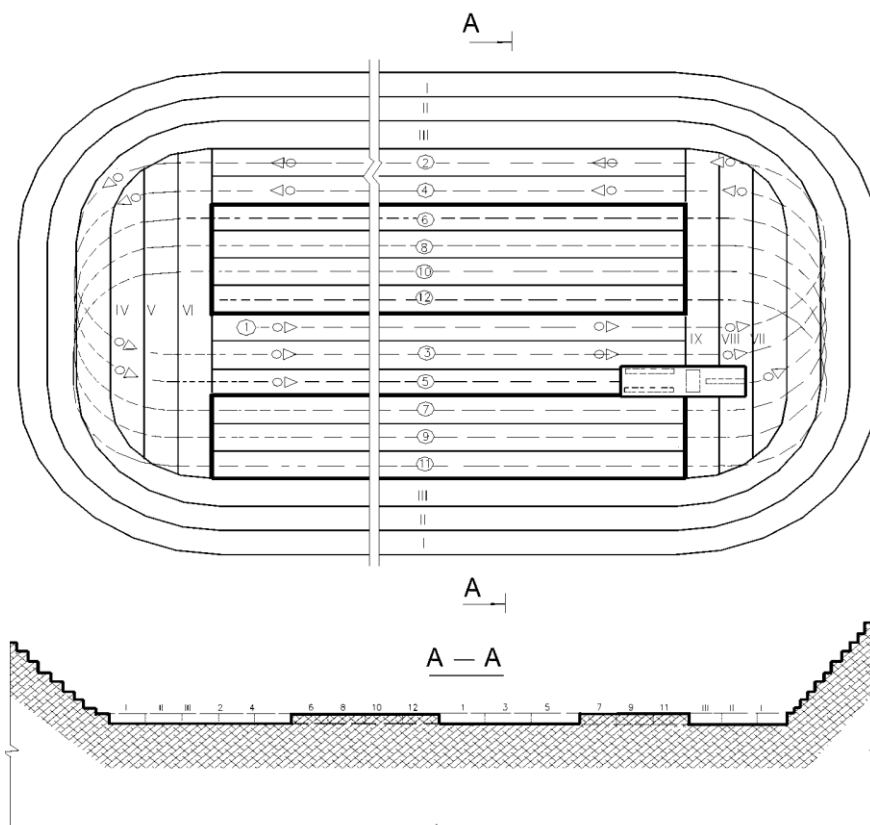


Рисунок 4.9 - Технологическая схема отработки месторождения горным комбайном (составлено автором)

После отработки первого блока с последней полосы, осуществлялся заезд в центр второго блока и выполнялся, как бы разрезающий проход. Затем начинается последовательная отработка полос второго блока. Такая технология позволяет значительно снизить время на маневры, когда комбайн по достижению границы фронтальной погрузки вынужден при наезде на новый забой, или разворачиваться или следовать назад холостым ходом при применении челноковой технологической схемы ведения горных работ.

При транспортных системах создаются более благоприятные условия для работы карьерных комбайнов.

Отработка может происходить в соответствии с технологическими схемами и организацией горных работ, приведенными на рисунке 4.10.

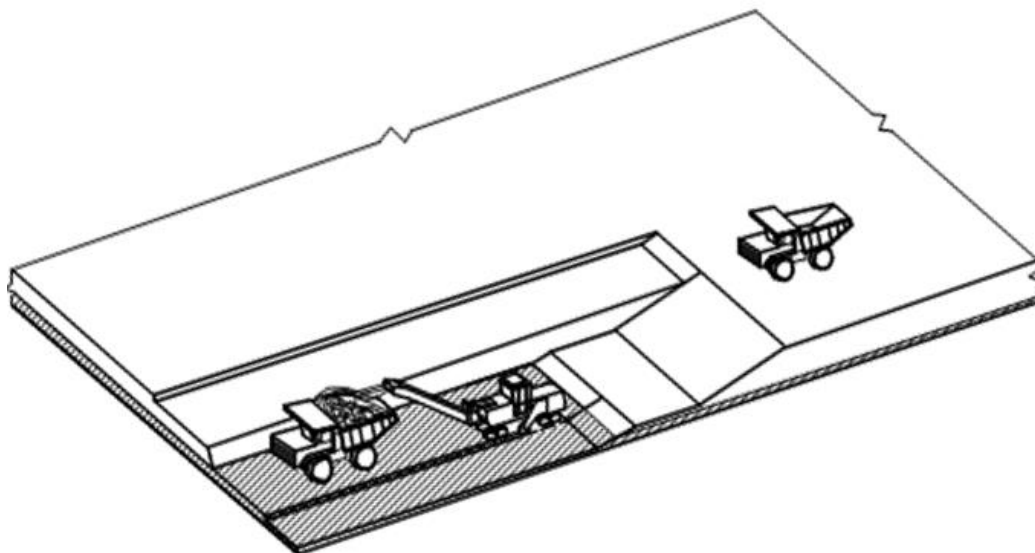


Рисунок 4.10 – Технологическая схема отработки добычного уступа комбайном Wirtgen 2500 SM (составлено автором)

На рисунке 4.11 представлены габаритные размеры комбайна Wirtgen 2500 SM.

Часовая производительность комбайнов послойного фрезерования определяется в следующем виде (4.4):

$$A_{\text{чк}} = 60 \cdot h \cdot b \cdot V_p \cdot K_{\text{И}} \cdot K_{\text{БЛ}} \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \rho} \cdot m \cdot K_{\text{У}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{ОСМ}} \cdot K_{\text{ОЖ}}, \text{ т/ч} \quad (4.4)$$

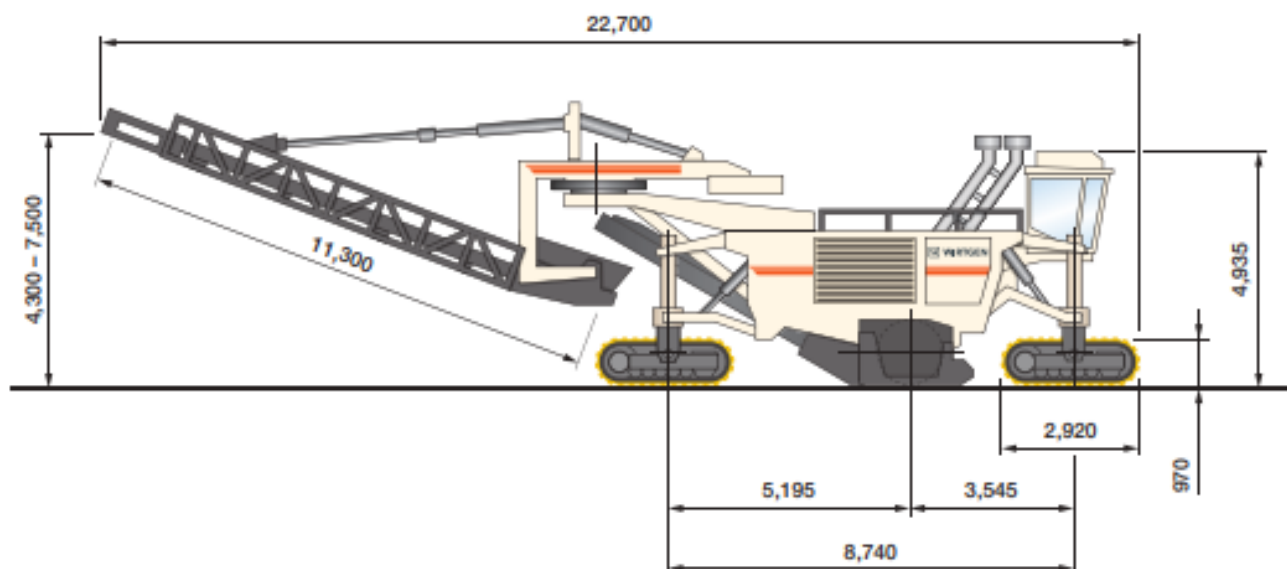


Рисунок 4.11 - Габаритные размеры комбайна Wirtgen 2500 SM [110]

В соответствии с горнотехническими условиями карьера по отработке месторождения «Муталь» и техническими характеристиками карьерного комбайна Wirtgen 2500 SM (таблица 4.9) принимаются значения исходных данных (таблица 4.10), для определения производительности комбайна Wirtgen 2500 SM.

Таблица 4.9 – Технические характеристики карьерного комбайна Wirtgen 2500 SM [110]

Наименование показателей	Показатели
Ширина фрезерования, мм	2.500
Мощность обрабатываемого слоя, мм	0-600
Мощность двигателя, кВт	783
Потребление дизельного топлива, л/ч	191,5
Скорость движения, км/ч	0-3,9
Рабочая скорость движения, м/мин.	0-25
Преодолеваемый подъём, ‰	90
Теоретическая производительность конвеера, м ³ /ч	1 100
Мах высота разгрузки, мм	7 500

Таблица 4.10 – Исходные данные для горнотехнических условий карьера по отработке месторождения «Муталь» при использовании карьерного комбайна Wirtgen 2500 (составлено автором)

Параметр	h, м	b, м	Kи	Kбл	Vp, м/мин.	η	ρ	m	Ky	Kто	Kосм	Kож
Значение	0,45	2,5	0,8	0,9	17	0,04	0	1	1	0,8	0,91	0,8

Согласно формуле (4.4), часовая производительность комбайнов Wirtgen 2500 SM при добыче известняка на месторождении Муталь составляет:

$$A_{чк2500} = 60 \cdot 0,45 \cdot 2,5 \cdot 17 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 460 \text{ т/ч}$$

Суточная производительность комбайна Wirtgen 2500 SM при двухсменной работе и 6-часовой смене: $A_{ск2500} = 460 \frac{\text{т}}{\text{ч}} \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{сутки}} \cdot 6 \frac{\text{ч}}{\text{см}} = 5\,520 \text{ т/сутки}$, что обеспечивает суточную потребность перевалки и гомогенизации на площадке в 5 000 т/сутки.

В первые IV года разработки, во время которых комбайн Wirtgen 2500 SM является основным оборудованием для добычи известняка, максимальная плановая годовая добыча (на IV год) составляет $A_{IVг} = 880\,000 \text{ т/год}$ может быть добыта комбайном Wirtgen 2500 SM за (4.5):

$$T = \frac{880\,000 \text{ т/год}}{5\,520 \text{ т/сутки}} = 159,42 \text{ сутки/год} \quad (4.5)$$

и поскольку имеющееся рабочее время на известняке составляет 308 дней в году, очевидно, что имеется значительный резерв мощности.

Согласно плану задействования техники, до IV года разработки месторождения, в качестве основного оборудования вместе с карьерным комбайном Wirtgen 2500 SM будет использоваться экскаватор Hyundai R450 LC-3 с ковшом-рыхлителем $E = 2,2 \text{ м}^3$.

Отработка известняка экскаватором Hyundai R450 LC-3 осуществляется на подступах, расположенных ниже уровня стоянки экскаватора. Высота каждого подступа составляет 4 м, а ширина бокового забоя экскаватора около 10 м.

Суточная производительность экскаватора Hyundai 450 с ковшом «рыхлителем» на добычных работах, при двухсменной работе и 6-часовой смене, составляет $A_{с3} = 2\,352 \text{ т/сутки}$.

Это означает, что экскаватор Hyundai обеспечивает около половины суточной потребности в известняке ($A_c = 5\,000 \text{ т/сутки}$) и является подходящим выбором в качестве второй машины для добычи известняка наряду с комбайном

Wirtgen 2500 SM или, в случае его выхода из строя, наряду с бульдозером D9R (осуществляющем рыхление и отгрузку известняка).

Рыхление и отгрузка известняка бульдозером и погрузка погрузчиком применяются в качестве вспомогательной технологической операции на карьере Муталь и будут и дальше применяться в разработке месторождения в случае выхода из строя одной из машин основного оборудования. В данной технологической операции задействованно следующее вспомогательное оборудование:

1. бульдозер CAT D9R
2. погрузчик CAT 980 G

Суточная производительность бульдозера, методом рыхления и отгрузки, при двухсменной работе и 6-часовой смене, составляет $A_{сб} = 4\,250$ т/сутки. Это означает, что он не может самостоятельно обеспечить суточную потребность карьера $A_c = 5\,000$ т/сутки известняка, но может работать как вспомогательная машина, в случае выхода из строя одной из машин основного оборудования.

Часовая производительность погрузчика CAT 980 G для загрузки известняка в самосвалы составляет $A_{чп} = 384$ т/ч. Время, за которое погрузчик с часовой производительностью $A_{чп} = 384$ т/ч может загрузить известняк, который бульдозер ежедневно, методом рыхления и отгрузки, отделяет от массива ($A_{сб} = 4\,250$ т/сутки), по (4.5) составляет $T = \frac{4\,250 \text{ т/сутки}}{384 \text{ т/ч}} = 11$ часов.

Согласно плану задействования техники, с V года эксплуатации в качестве основного оборудования для прямой добычи известняка будут введены 2 карьерных комбайна типа Wirtgen 2200 SM (рисунок 4.12).

Внедрение 2 новых, меньших по размеру карьерных комбайнов выгодно с точки зрения большей безопасности разработки, мобильности комбайна, а также возможности селективной работы и гомогенизации известняка. С V года эксплуатации основное оборудование для добычи известняка (комбайн Wirtgen 2500SM и экскаватор Hyundai 450) будет задействовано в качестве вспомогательного оборудования.

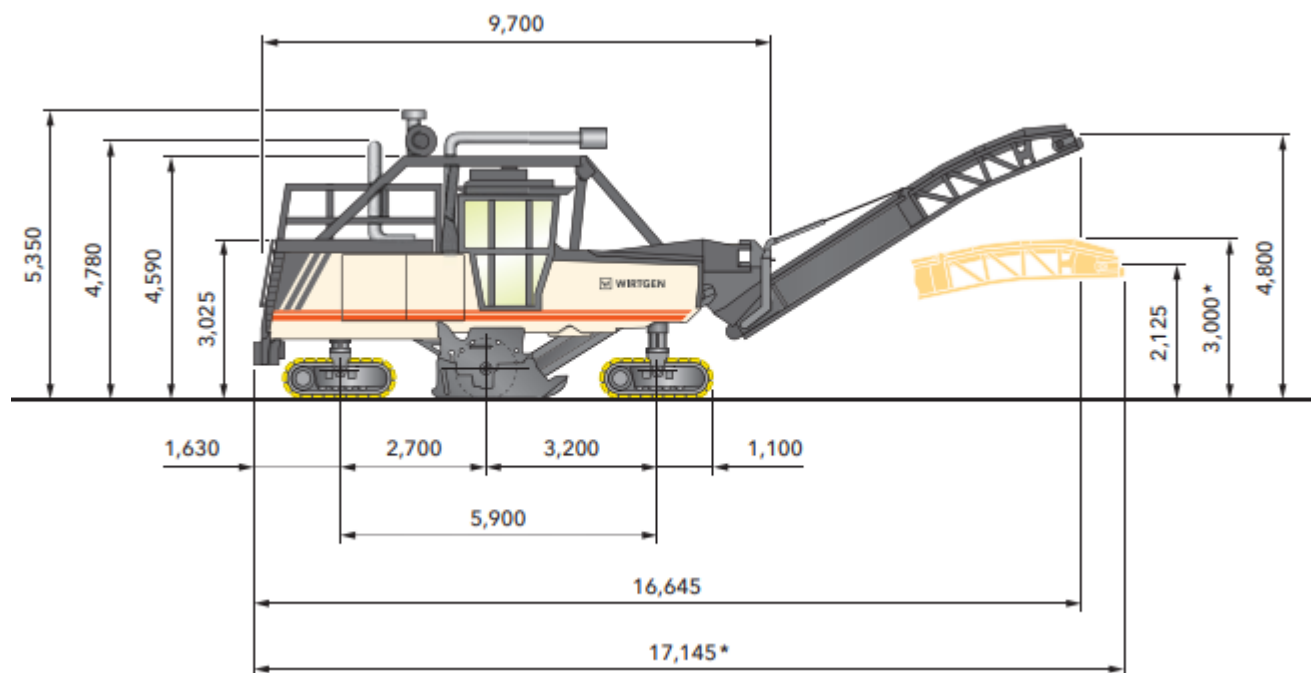


Рисунок 4.12 - Габаритные размеры комбайна Wirtgen 2200 SM [111]

Выемка известняка карьерными комбайнами Wirtgen 2200SM будет осуществляться с параллельными заездами со следующими значениями рабочих параметров:

- высота уступа $H=12\text{м}$, с 3 подступами по 4 м каждый,
- угол откоса уступа $\beta=70^\circ$;
- угол откоса борта карьера $\alpha=45^\circ$.

Технологические схемы комбайнов Wirtgen 2200SM идентичны схемам работы комбайна Wirtgen 2500SM.

В соответствии с горнотехническими условиями карьера по отработке месторождения «Муталь» и техническими характеристиками карьерного комбайна Wirtgen 2200 SM (таблица 4.11) принимаются значения исходных данных (таблица 4.12), для определения производительности комбайна Wirtgen 2200 SM.

Таблица 4.11 – Технические характеристики карьерного комбайна Wirtgen 2200 SM [111]

Наименование показателей	Показатели
Ширина фрезерования, мм	2 200
Мощность обрабатываемого слоя, мм	0-300

Продолжение таблицы 4.11

Наименование показателей	Показатели
Мощность двигателя, кВт	708
Потребление дизельного топлива, л/ч	187
Скорость движения, км/ч	0-5
Рабочая скорость движения, м/мин.	0-84
Преодолеваемый подъём, ‰	90
Теоретическая производительность конвеера, м ³ /ч	1 100
Мах высота разгрузки, мм	4 800

Таблица 4.12 – Исходные данные для горнотехнических условий карьера по отработке месторождения «Муталь» при использовании карьерного комбайна Wirtgen 2500 (составлено автором)

Параметр	h, м	b, м	Kи	KБЛ	V _Р , м/мин.	η	ρ	m	K _У	K _{то}	K _{осм}	K _{ож}
Значение	0,25	2,2	0,8	0,9	23	0,04	0	1	1	0,8	0,91	0,8

Согласно формуле (4.4), часовая производительность одного комбайна Wirtgen 2200 SM при добыче известняка на карьере Муталь составляет:

$$A_{\text{чк2200}} = 60 \cdot 0,25 \cdot 2,2 \cdot 23 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 310 \text{ т/ч}$$

Часовая производительность двух комбайна Wirtgen 2200 SM при добыче известняка на карьере Муталь составляет (4.6):

$$2 \cdot A_{\text{чк2200}} = 2 \cdot 310 = 620 \text{ т/ч} \quad (4.6)$$

Суточная производительность комбайна Wirtgen 2200 SM при двухсменной работе и 6-часовой смене: $A_{\text{ск2200}} = 620 \frac{\text{т}}{\text{ч}} \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{сутки}} \cdot 6 \frac{\text{ч}}{\text{см}} = 7\,440 \text{ т/сутки}$.

Время, необходимое для достижения максимальной годовой производительности по полезному ископаемому составляет $T = \frac{1\,100\,000 \text{ т/год}}{7\,440 \text{ т/сутки}} = 148 \text{ суток/год}$.

Представленный расчет производительности показывает, что два карьерных комбайна типа Wirtgen 2200 SM удовлетворяют ежедневные потребности карьера Муталь ($A_{\text{с}} = 5\,000 \text{ т/сутки}$), а максимальную плановую производительность (с V года) 1 100 000 т/год могут достичь, с значительным запасом времени.

В базовом варианте, на участках месторождения Муталь с более крепкими партиями известняка, предусматривается применение буровзрывных работ. Это было сделано в связи с технической невозможностью использования основного оборудования, предложенного в базовом варианте, для проведения горных работ на данных участках месторождения.

Как предусматривается базовым вариантом, объемы известняков, которые необходимо подготовить к выемке буровзрывным способом, в среднем составляют около 5 %, что по отношению к принятым развитиям добычи по годам эксплуатации равно: $A_{\text{бвр}} = 30\,000 \div 55\,000$ т известняка в год.

Проектный вариант предусматривает, что указанные объемы известняка будут добываться без применения буровзрывных работ, с использованием машин послойного-фрезерования, комбайнов Wirtgen 2200SM (2500SM), технические характеристики которых позволяют проводить выемку на данных участках месторождения (рисунок 4.13).

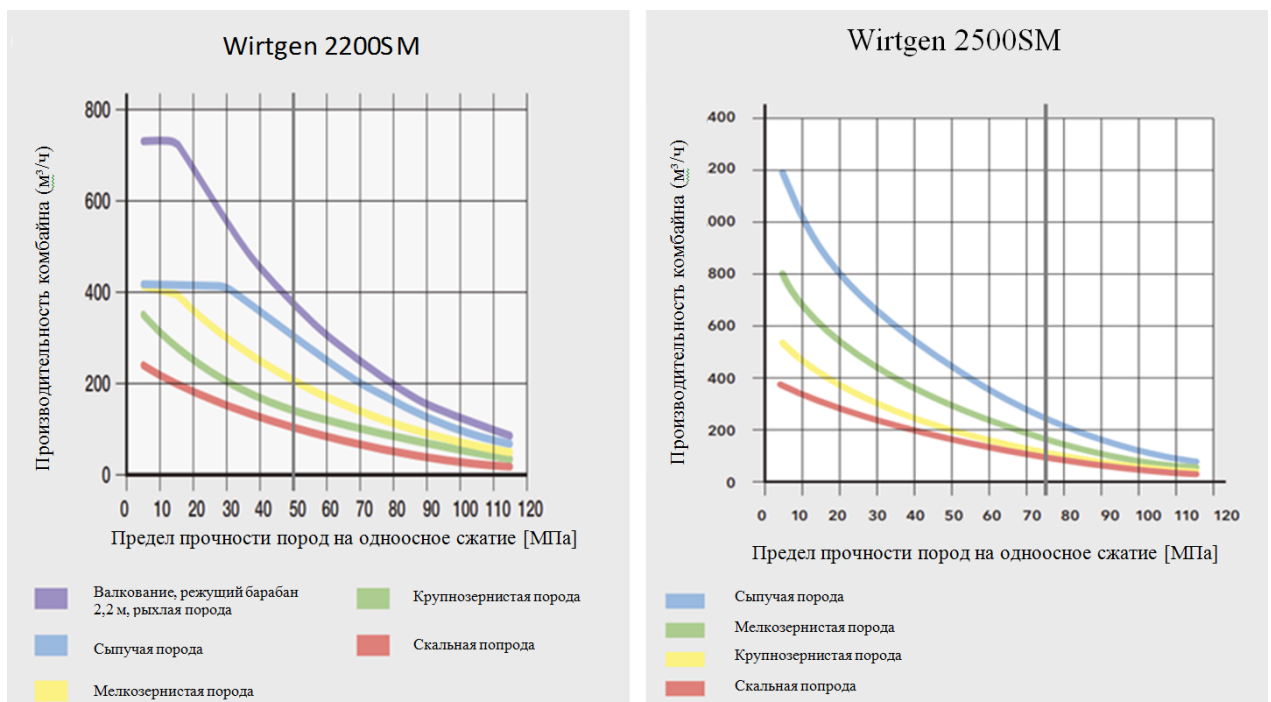


Рисунок 4.13 – Графики зависимости режущей способности комбайнов Wirtgen от прочности горных пород на одноосное сжатие [МПа] [111]

Особое внимание следует обращать на организацию работ комбайна в прибортовых зонах (рисунок 4.14). Это важно применять в условиях переходного

периода с одной технологии на другую, когда в течение определенного периода действуют две технологии.

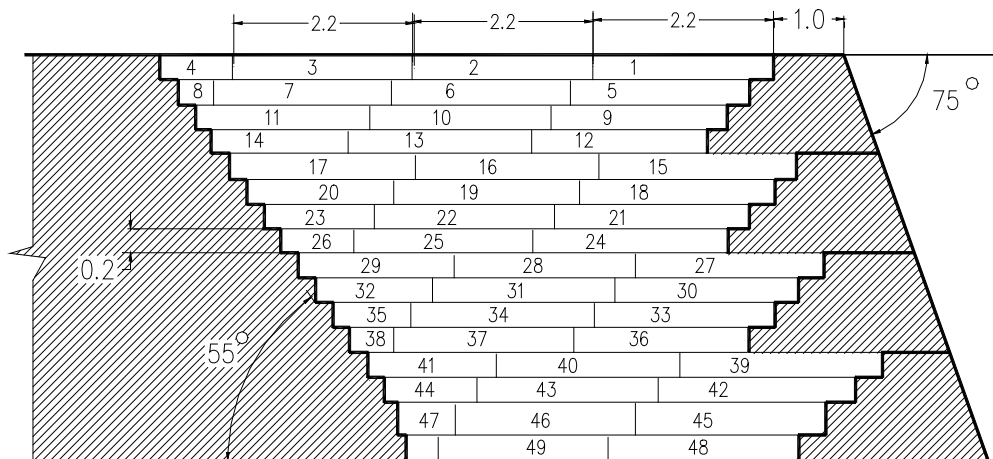


Рисунок 4.14 - Технологическая схема работы комбайна Wirtgen 2200SM в прибортовых зонах карьера [1]

4.2.3 Технологический процесс транспортировки известняка и вскрышных пород

Автомобильные перевозки известняка, с карьера Муталь до завода LBFC в Беочине осуществляется по 2 участкам с различными характеристиками:

1) участок карьерных дорог до перевалочной площадки, с щебеночным покрытием, протяженностью $L=1-2,2$ км и с уклонами до 8 %,

2) участок дорог общего пользования с асфальтовым покрытием протяженностью $L=19$ км, от перевалочной площадки до завода LBFC, с установленной допустимой массой грузовика $M_{\text{доп}}=40$ т (макс. нагрузка на ось 12 т).

Согласно принятой транспортировочной концепции, транспортировка известняка будет осуществляться автотранспортом, адаптированным к особенностям участков:

на 1) участке (карьерные дороги), до перевалочной площадки, транспортировка известняка будет осуществляться грузовыми автомобилями Man и Volvo до IV года, а с V года эксплуатации – сочлененными самосвалами CAT;

на 2) участке (дороги общего пользования), от перевалочной площадки до завода LBFC, известняк будет транспортироваться тягачами Volvo.

Технические характеристики предлагаемых транспортных средств представлены в таблицах 4.13 и 4.14.

Таблица 4.13 – Технические характеристики грузового автомобиля Volvo FM 42 [104]

Наименование показателя	Показатели	 Грузовик Volvo FM 42 для карьерного транспорта [104]
грузоподъемность, т	30	
объем ящика, м ³	18	
мощность двигателя, шт	300	
количество осей, шт	4	
количество шин, шт	10	
ширина грузовика, м	2,5	
длина грузовика, м	8,4	
мин. радиус поворота, м	20	

Таблица 4.14 – Технические характеристики самосвала с шарнирно-сочлененной рамой CAT 735B [104]

Наименование показателя	Показатели	 Самосвал с шарнирно-сочлененной рамой CAT 735B [104]
грузоподъемность, т	32,7	
объем ящика, м ³	14,7	
объем ящика (переполнен), м ³	19,3	
вес пустого грузовика, т	52,55	
угол поворота, °	45	
радиус поворота, м	8,14	

До IV года эксплуатации транспортировка по карьерным дорогам протяженностью $L=1$ км будет осуществляться грузовиками Man и Volvo FM 42, до перевалочной площадки, с объемом кузова $V_k=18$ м³, скоростями порожних и груженых грузовиков $v_n=15$ км/ч и $v_r=10$ км/ч.

Длина перемещения фрезерного комбайна рабочим ходом, необходимая для загрузки одного карьерного автосамосвала (4.7):

$$L_{фк} = \frac{V_k}{b \cdot h} = \frac{18}{2,5 \cdot 0,45} = 16 \text{ м} \quad (4.7)$$

где V_k – объем руды, размещаемый в кузове одного карьерного автосамосвала (в целике), м³;

Продолжительность загрузки комбайном одного карьерного автосамосвала (4.8):

$$t_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{фк}}}{v_p} = \frac{16}{17} = 0,95 \text{ мин} \quad (4.8)$$

Часовая производительность одного грузовика Volvo FM 42 составляет (4.9):

$$A_{\text{Вч}} = \frac{60 \cdot L_{\text{фк}} \cdot b \cdot h \cdot K_{\text{ив}} \cdot \gamma}{t_{\text{ц}} \cdot K_p} = \frac{60 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot 0,45 \cdot 0,83 \cdot 2}{14,5 \cdot 1,4} = 88 \text{ т/ч} \quad (4.9)$$

где $K_{\text{ив}}$ - коэффициент использования времени $K_{\text{ив}} = 0,83$;

γ - объемная масса известняка $\gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$;

K_p - коэффициент рыхлости известняка $K_p = 1,4$;

$t_{\text{ц}}$ - время одного цикла транспортировки известняка (4.10):

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{заг}} + t_{\text{п}} + t_{\text{г}} + t_{\text{разг}} + t_{\text{м}} = 0,95 + 4 + 6 + 1,5 + 2 = 14,5 \text{ мин} \quad (4.10)$$

где $t_{\text{заг}}$ - время загрузки $t_{\text{заг}} = 1 \text{ мин}$;

$t_{\text{п}} = 4 \text{ мин}$ $t_{\text{г}} = 6 \text{ мин}$ - время движения порожнего и полного грузовика, $t = \frac{L}{v}$;

$t_{\text{разг}}$ - время разгрузки $t_{\text{разг}} = 1,5 \text{ мин}$;

$t_{\text{м}}$ - время маневра $t_{\text{м}} = 2 \text{ мин}$.

Количество грузовиков, необходимых для перевозки известняка на перевалочную площадку, с суточной производительностью $A_{\text{сутки}} = 5 \text{ 000 т/сутки}$ для эффективного времени $T_{\text{сутки}} = 2 \text{ см} \cdot 6 \text{ ч/см} = 12 \text{ ч/сутки}$, составляет (4.11):

$$N_{\text{г}} = \frac{A_{\text{сутки}}}{A_{\text{Вч}} \cdot T_{\text{сутки}}} = \frac{5 \text{ 000}}{88 \cdot 12} = 4,7, \text{ принимаем } 5 \text{ грузовиков} \quad (4.11)$$

С V года эксплуатации транспортировка по карьерным дорогам протяженностью $L = 1-2,2 \text{ км}$ будет осуществляться самосвалами САТ 735В, до перевалочной площадки, с объемом кузова $V_{\text{к}} = 19 \text{ м}^3$, скоростями порожних и груженых самосвалов $v_{\text{п}} = 20 \text{ км/ч}$ и $v_{\text{г}} = 15 \text{ км/ч}$.

Учитывая, что наша цель определить минимальное количество необходимых самосвалов для осуществления транспортировки по карьерным дорогам любой протяженностью, при выполнении заданной суточной производительностью $A_{\text{сутки}} = 5 \text{ 000 т/сутки}$, расчет будем проводить только для карьерной дороги максимальной протяженностью $L = 2,2 \text{ км}$.

Длина перемещения фрезерного комбайна рабочим ходом, необходимая для загрузки одного карьерного автосамосвала по (4.7):

$$L_{\text{фк}} = \frac{V_{\text{к}}}{b \cdot h} = \frac{19}{2,2 \cdot 0,25} = 35 \text{ м}$$

Продолжительность загрузки комбайном одного карьерного автосамосвала по (4.8):

$$t_{\text{заг}} = \frac{L_{\text{фк}}}{v_{\text{р}}} = \frac{35}{23} = 1,5 \text{ мин}$$

Часовая производительность одного самосвала САТ 735В по (4.9) составляет:

$$A_{\text{Сч}} = \frac{60 \cdot L_{\text{фк}} \cdot b \cdot h \cdot K_{\text{ив}} \cdot \gamma}{t_{\text{ц}} \cdot K_{\text{р}}} = \frac{60 \cdot 35 \cdot 2,2 \cdot 0,25 \cdot 0,83 \cdot 2}{20,3 \cdot 1,4} = 67 \text{ т/ч}$$

Согласно (4.10) время одного цикла транспортировки известняка $t_{\text{ц}}$ составляет:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{заг}} + t_{\text{п}} + t_{\text{г}} + t_{\text{разг}} + t_{\text{м}} = 1,5 + 6,5 + 8,8 + 1,5 + 2 = 20,3 \text{ мин}$$

Количество самосвалов, необходимых для перевозки известняка на перевалочное плато, с суточной производительностью $A_{\text{сутки}} = 5\,000 \frac{\text{т}}{\text{сутки}}$ для эффективного времени $T_{\text{сутки}} = 2 \text{ см} \cdot 6 \text{ ч/см} = 12 \text{ ч/сутки}$, составляет по (4.11):

$$N_{\text{г}} = \frac{A_{\text{сутки}}}{A_{\text{Сч}} \cdot T_{\text{сутки}}} = \frac{5\,000}{67 \cdot 12} = 6,22, \text{ принимаем } 7 \text{ самосвалов}$$

На дорогах общего пользования протяженностью $L=19 \text{ км}$, во все периоды эксплуатации, транспортировка известняка будет осуществляться грузовиками-тягачами Volvo FM 42Т, с установленной допустимой массой грузовика $M_{\text{доп}} = 40 \text{ т}$, т.е. грузоподъемностью $M_{\text{грпд}} = M_{\text{доп}} - M_{\text{грузовика}} = 40 - 13 = 27 \text{ т}$, принимаем 26, с объемом кузова $V_{\text{к}}=18 \text{ м}^3$, скоростями порожних и груженых грузовиков $v_{\text{п}}=55 \text{ км/ч}$ и $v_{\text{г}}=45 \text{ км/ч}$.

Учитывая, что в проектном варианте, технологический процесс погрузки и транспортировки известняка с перевалочной площадки на завод в Беочине идентичен как в базовом, расчет для данного типа участка не потребовался, так как количество необходимых грузовиков, для перевозки известняка с суточной

производительностью $A_{\text{сутки}}=4\,000$ т/сутки, идентично как в базовом варианте и составляет $N_r=13$ грузовиков.

В таблице 4.15 представлен обзор расчетов пропускной способности известняка в зависимости от участка дороги.

Таблица 4.15 - Обзор расчетов пропускной способности известняка в зависимости от участка дороги (составлено автором)

Параметр	До IV года эксплуатации		С IV по XV год эксплуатации	
Участок дороги	Карьерные дороги L=1км	Дороги общего L=19км	Карьерные дороги L=2,2км	Дороги общего L=19км
Грузовой автомобиль	Грузовик Man и Volvo FM 42	Грузовики-тягачи Volvo FM 42T	Сочлененный самосвал CAT 735B	Грузовики-тягачи Volvo FM 42T
Часовая производительность одного грузовика	$A_{Bч}=88\text{т/ч}$	$A_{Tч}=23\text{т/ч}$	$A_{Cч}=67\text{т/ч}$	$A_{Tч}=23\text{т/ч}$
Погрузочное оборудование	Комбайн Wirtgen 2500SM	Экскаватор Hyundai R450 LC-3	Комбайн Wirtgen 2200SM	Экскаватор Hyundai R450 LC-3
Время одного цикла транспортировки	$t_{ц}=14,5$ мин	$t_{ц}=54,5$ мин	$t_{ц}=20,3$ мин	$t_{ц}=54,5$ мин
Количество требуемых грузовиков	$N_r=5$ шт	$N_r=13$ шт	$N_r=7$ шт	$N_r=13$ шт

Для транспортировки вскрышных пород из карьера Муталь на отвал «Бели Камен» используются грузовые автомобили общественного транспорта Volvo FM42T.

В таблице 4.16 представлены тип и количество оборудования, предложенного проектным вариантом для технологических процессов выемки и транспортировки известняка и вскрышных пород.

Таблица 4.16 - Тип и количество оборудования, предлагаемого проектом для технологических процессов выемки и транспортировки известняка и вскрышных пород (составлено автором)

Вид оборудования	Количество
Карьерный комбайн Wirtgen 2500SM	1
Экскаватор Hyundai R450 LC-3	2
Карьерный комбайн Wirtgen 2200SM	2
Погрузчик CAT 980 G	1
Бульдозер CAT D9R	1
Грейдер	1

Продолжение таблицы 4.16

Вид оборудования	Количество
Самосвалы CAT 735B (до IV года грузовики VOLVO и MAN)	7 (5)
Вид оборудования	Количество
Грузовики VOLVO FM 42T	13
Цистерна для воды	1

4.3 Технико-экономическая оценка результатов реализации проекта разработки месторождения «Муталь» карьером ООО «Lafarge BFC (СРБ)»

Технико-экономическая оценка разработки известняка на карьере Муталь была составлена на основе данных технических решений, приведенных в предыдущих главах, а также данных о ценах и индивидуальных затратах, полученных от Инвестора [33; 34].

Экономический анализ в этом разделе был выполнен с использованием динамического подхода, который включает рассмотрение всех затрат и результатов и приведение их к текущей стоимости [13; 94; 106]. Под затратами понимаются все расходы, независимо от того, связаны ли они с инвестициями или текущими затратами. Результаты отработки представляет собой количество произведенного известняка. Приведение элементов модели к текущей стоимости осуществлялось с использованием ставки дисконтирования 8 %.

Помимо вышеупомянутого динамического анализа, результаты которого дают динамическую себестоимость, проводился и анализ статической себестоимости на одну тонну известняка в разработке месторождения Муталь. Специфика себестоимости выражается в том, что она формируется, помимо информации, полученной из технического решения по разработке известняка, и на основе информации, полученной от Инвестора, которая включает в себя сумму годовых затрат: геологическое бурение, контроль качества известняка, дренаж, услуги сторонних организаций, проектирование, совместные горные затраты и амортизационные отчисления по имеющимся основным средствам.

Как было отмечено в предыдущих разделах, все отдельные операции в процессе добычи известняка и вскрыши на карьере Муталь доверяется

подрядчикам, которые заботятся о найме оборудования и сотрудников, а также о расходе материалов. Подрядчики LBFC заключают контракт с удельной стоимостью работ, которая покрывает все расходы, включая инвестиции в новое оборудование. С использованием этих цен за единицу продукции в разделе 4.3 был проведен экономический анализ. Для наглядности в таблице 4.17 представлено задействованное оборудование для базового и проектного варианта разработки месторождения Муталь.

Таблица 4.17 – Обзор задействованного оборудования для базового и проектного варианта разработки месторождения Муталь (составлено автором)

Технологический процесс		Способ (участок дороги)	Базовый вариант		Проектный вариант	
			I-IV	V-XV	I-IV	V-XV
Отработка	Основное оборудование	Выемка карьерными комбайнами	/	/	Wirtgen 2500SM	2x Wirtgen 2200SM
		Выемка гидравлическими экскаваторами	LiebherrR984C Hyundai R450	2x Komatsu PC800-8	Hyundai R450	/
	Вспомогательное оборудование	Выемка карьерными комбайнами	/	/	/	Wirtgen 2500SM
		Выемка гидравлическими экскаваторами	/	LiebherrR984C Hyundai R450	/	Hyundai R450
		Рыхление и отгрузка*	Бульдозер CAT D9R			
		Буровзрывные работы**	Atlas Copco ф86 +PZ 360		/	/
	Транспортировка	В границах карьера	Грузовики «VOLVO» и «MAN»	Шарнирные самосвалы «CAT»	Грузовики «VOLVO» и «MAN»	Шарнирные самосвалы «CAT»
На завод		Тягачи «VOLVO FM 42T»				
* Погрузка с помощью погрузчика						
** Погрузка доступной машиной (погрузчик или Hyundai)						

4.3.1 Расходы на добычу известняка и выемку вскрышных пород

Расходы на добычу известняка и выемку вскрышных пород включают материальные и нематериальные затраты, затраты на оплату труда и амортизацию.

Материальные затраты

Данная группа затрат включает в себя:

- 1) выемку и транспортировку вскрыши
- 2) добычу известняка
- 3) транспортировку известняка
- 4) манипулятивные издержки
- 5) дренаж
- 6) геологическое бурение
- 7) контроль качества известняка (бурение)
- 8) создание проектной документации
- 9) прочие расходы
- 10) стоимость лизинга автомобиля
- 11) совместные затраты карьеров
- 12) расходы на электроэнергию

Все указанные расходы, за исключением 10) стоимость лизинга автомобиля, 11) совместные затраты карьеров, 12) расходы на электроэнергию, возникают при использовании услуг третьих лиц. На основании полученных от Инвестора данных о затратах в расчет включены: переменные затраты на тонну известняка (1-4) и постоянные затраты в годовом исчислении (5-12).

В процессе разработки месторождений Муталь используются услуги третьих лиц, в связи с чем в их стоимость включаются затраты на приобретение нового оборудования, его техническое обслуживание, амортизацию и страхование. У инвестора нет оборудования для отработки известняка и вскрышных пород.

Потребителями электроэнергии на карьере Муталь являются контейнер с сопутствующими объектами и дренажная система карьера. Кроме того, в общие затраты на электроэнергию включены затраты на потребление электроэнергии при дроблении известняка. В таблице прогноза затрат на ближайшие 15 лет (таблица 4.18) расходы на электроэнергию возрастают, начиная со второго года эксплуатации, когда планируется расширение дренажной системы.

Совместные затраты карьеров представляют собой разделяемые затраты между карьерами LBFC, карьером «Филияла» и карьером «Муталь», среди прочего, затраты на лабораторный контроль качества известняка.

Нематериальные затраты

В группу нематериальных затрат входят расходы на плату за использование минерального сырья, составляющие 0,1899 у.е. за тонну, и расходы на плату за проход по территории национального парка Фрушка Гора, составляющие 0,0863 у.е. за тонну известняка.

Затраты на оплату труда и амортизацию

По информации инвестора, расходы на заработную плату 3 сотрудников (что также является прогнозируемым количеством сотрудников) составляют 75 500 у.е. в год. Помимо заработной платы, эти расходы включают премии и другие выплаты работникам.

Данные о размере амортизации, включенной в расчет, были получены от Инвестора и относятся к амортизации существующих объектов и оборудования, принадлежащих Инвестору.

Таблица 4.18 - Общие эксплуатационные расходы карьера Муталь (составлено автором)

15	7 647 254	6 961 796	-	1 499 500	5 156 514
14	7 855 741	7 161 665	-	1 543 273	5 307 042
13	7 855 741	7 161 665	-	1 543 273	5 307 042
12	7 855 741	7 161 665	-	1 543 273	5 307 042
11	7 855 741	7 161 665	-	1 543 273	5 307 042
10	8 046 547	7 354 545	192 880	1 543 273	5 307 042
9	8 373 667	7 681 665	520 000	1 543 273	5 307 042
8	8 039 554	7 361 362	520 000	1 473 125	5 065 812
7	7 705 442	7 041 060	520 000	1 402 976	4 824 583
6	7 504 974	6 848 878	520 000	1 360 887	4 679 846
5	7 199 816	6 560 606	520 000	1 297 753	4 462 740
4	6 962 823	6 336 043	520 000	1 279 655	4 264 308
3	5 493 997	4 927 981	537 200	959 741	3 198 230
2	5 272 304	4 716 428	520 000	916 116	3 052 857
1	5 065 800	4 522 074	520 000	872 492	2 907 482
Всего	108 735 143	98 959 099	4 890 080	20 321 885	69 454 625
Название	Затраты, у.е.	Услуги третьих лиц, у.е.	выемка и транспортировка вскрыши, у.е.	добыча известняка, у.е.	транспортировка известняка, у.е.
№	Σ	1	1.1	1.2	1.3

Продолжение таблицы 4.18

№	Название	Всего	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	Расходы на электроэнергию, у.е.	168 186	7 606	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470	11 470
3	Инвестиции и текущее обслуживание, у.е.	722 993	46 800	46 800	47 006	47 006	47 006	48 492	48 492	48 492	48 492	48 492	49 183	49 183	49 183	49 183	49 183
4	Создание проектной документации, у.е.	225 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
5	Затраты лизинга автомобиля, у.е.	135 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000	9 000
6	Затраты на оплату труда, у.е.	1 132 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500	75 500

Продолжение таблицы 4.18

	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Всего	Название	№
	295 202	303 820	303 820	303 820	303 820	303 820	303 820	290 010	276 200	267 914	255 486	243 056	182 292	174 006	165 720	3 972 806	Нематериальн ые затраты, у.е.	7
	202 965	208 890	208 890	208 890	208 890	208 890	208 890	199 395	189 900	184 203	175 658	167 112	125 334	119 637	113 940	2 731 484	плата за использова ние минерального сырья, у.е.	7.1
	92 237	94 930	94 930	94 930	94 930	94 930	94 930	90 615	86 300	83 711	79 828	75 944	56 958	54 369	51 780	1 241 322	проход по территории национального парка, у.е.	7.2
	6 003	6 003	6 003	6 003	6 003	4 620	4 620	4 620	4 620	4 620	1 648	1 648	1 648			58 059	Амортизация новых основных средств, у.е.	8
	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	81 600	1 224 000	Амортизация существующих основных средст, у.е.	9

Продолжение таблицы 4.18

№	Название	Всего	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	Совместные затраты карьеров, у.е.	2 137 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500
	Количество в тоннах	14 383 800	600 000	630 000	660 000	880 000	925 000	970 000	1 000 000	1 050 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 068 000
	Цена за единицу, у.е./тонна	7,56	8,44	8,37	8,32	7,91	7,78	7,74	7,71	7,66	7,61	7,32	7,14	7,14	7,14	7,14	7,16

4.3.2 Статическая себестоимость эксплуатации

На основании всех ранее выполненных расчетов в таблице 4.19 показана статическая себестоимость одной тонны известняка за средний год эксплуатации. В предыдущей таблице 4.18 дан обзор общих эксплуатационных расходов и себестоимости по годам.

Таблица 4.19 - Статическая себестоимость известняка, за средний год эксплуатации и за 1 т известняка (составлено автором)

№	Название	Средний год
1	Услуги третьих лиц, у.е.	6 597 273
1.1	выемка и транспортировка вскрыши, у.е.	326 005
1.2	добыча известняка, у.е.	1 354 792
1.3	транспортировка известняка, у.е.	4 630 308
1.4	дренаж, у.е.	42 000
1.5	геологическое бурение, у.е.	30 000
1.6	контроль качества известняка (бурение), у.е.	20 000
1.7	манипулятивные издержки, у.е.	171 167
1.8	прочие расходы третьих лиц, у.е.	23 000
2	Расходы на электроэнергию, у.е.	11 212
3	Инвестиции и текущее обслуживание, у.е.	48 200
4	Создание проектной документации, у.е.	15 000
5	Затраты лизинга автомобиля, у.е.	9 000
6	Затраты на оплату труда, у.е.	75 500
7	Нематериальные затраты, у.е.	264 854
7.1	плата за использование минерального сырья, у.е.	182 099
7.2	проход по территории национального парка, у.е.	82 755
8	Амортизация новых основных средств, у.е.	3 871
9	Амортизация существующих основных средств, у.е.	81 600
10	Совместные затраты карьеров, у.е.	142.500
	Всего, у.е.	7 249 010
	Количество в тоннах	958 920
	Цена за единицу, у.е./тонна	7,56

Из предыдущего обзора, со статической точки зрения, средняя себестоимость известняка с карьера «Муталь» составляет 7,56 у.е./тонну.

4.3.3 Динамические потоки затрат и инвестиций

Поскольку все затраты и издержки определены в предыдущих разделах, в таблице 4.20 представлен обзор динамики инвестиций и затрат на эксплуатацию

известняка и вскрышных пород на карьере Муталь, по годам и в целом, за весь период наблюдения.

Следует отметить, что в рамках динамического анализа термин «затраты» не означает затраты в бухгалтерском смысле, а лишь те позиции, которые непосредственно вложены в «производство». По отношению к статической себестоимости, которая основана на бухгалтерском подходе, динамический анализ себестоимости не включает амортизацию и расходы, основанные на процентах по кредитам.

Включая в эти потоки и инвестиции, мы получаем динамические потоки для дисконтирования. Показательно, что эти потоки включают себя потоки инвестиций и затрат, цель которых — сравнить их после дисконтирования с объемом добытого известняка.

В таблице 4.20 представлен расчет приведенной стоимости затрат и их приведение к единице «продукции», т.е. тонне известняка, добытой за весь период эксплуатации. Общий объем добычи известняка за анализируемый период по данному проекту составляет 14.383.800 тонн.

Таблица 4.20 - Потоки инвестиций и затрат на эксплуатацию известняка и вскрышных пород на карьере Муталь (составлено автором)

Название	Всего	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Затраты, у.е.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Инвестиции, у.е	694 519	5 153	25 753	5 153	5 153	153 763	5 153	5 153	5 153	5 153	74 279	5 153	5 153	5 153	5 153	384,041
дренаж, у.е.	617 219	-	20 600	-	-	148 610	-	-	-	-	69 126	-	-	-	-	378,883
рекультивация, у.е.	77 300	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 153	5 158
Расходы, у.е.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.20

[illegible]

Продолжение таблицы 4.20

[illegible]

Продолжение таблицы 4.20

[illegible]

Продолжение таблицы 4.20

Название	Всего	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
плата за использование минерального сырья, у.е.	2 731 484	113 940	119 637	125 334	167 112	175 658	184 203	189 900	199 395	208 890	208 890	208 890	208 890	208 890	208 890	202 965
проход по территории национального парка, у.е.	1 241 322	51 780	54 369	56 958	75 944	79 828	83 711	86 300	90 615	94 930	94 930	94 930	94 930	94 930	94 930	92 237
Совместные затраты карьеров, у.е.	2 137 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500	142 500
Общие издержки, у.е.	106 010 103	4 846 853	5 073 957	5 273 402	6 742 228	7 127 831	7 281 407	7 481 875	7 815 987	8 150 100	7 892 106	7 630 791	7 630 791	7 630 791	7 630 791	7 801 192
Ставка дисконтирования, %	8	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'		'	'	'	'

Продолжение таблицы 4.20

Название	Всего	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
коэффициент дисконтирования	-	1	0,9259259	0,8573388	0,7938322	0,7350299	0,6805832	0,6301696	0,5834900	0,5402690	0,5002490	0,4631935	0,4288829	0,3971138	0,3676979	0,3404610
Дисконтированные чистые издержки, у.е.	62 539 057	4 846 853	4 698 108	4 521 092	5 352 198	5 239 169	4 955 603	4 714 850	4 560 550	4 403 246	3 948 018	3 534 533	3 272 716	3 030 292	2 805 826	2 656 002
Количество в тоннах	14 383 800	600 000	630 000	660 000	880 000	925 000	970 000	1 000 000	1 050 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 068 000
Цена за единицу, у.е./тонна	4,35	8,08	7,46	6,85	6,08	5,66	5,11	4,71	4,34	4,00	3,59	3,21	2,98	2,75	2,55	2,49

4.3.4 Сравнение результатов проектного и базового вариантов месторождения «Муталь»

На основе расчетов, проведенных в предыдущих разделах, мы получили «статическую» и «динамическую» себестоимость эксплуатации известняка на карьере Муталь. Статическая себестоимость за тонну известняка составляет 7,56 у.е., а динамическая себестоимость за тонну известняка составляет 4,35 у.е.

Для определения технико-экономического эффекта от реализации проекта необходимо сравнить удельные затраты на отработку полезного ископаемого различных вариантов эксплуатации, а также технологические характеристики рассматриваемых систем разработки.

Дополнительная прибыль определяется как разница в себестоимости для вариантов предлагаемого и фактического (проектного).

Учитывая, что экономический анализ эксплуатации месторождения Муталь проводился с использованием динамического и статического подхода, необходимо определить как статическую (Δ_{C_c}) (4.12), так и динамическую (Δ_{C_d}) (4.13) разницу в себестоимости для рассматриваемых вариантов реализации проекта.

$$\Delta_{C_c} = C_{\text{баз}_c} - C_{\text{проект}_c}, \text{ у. е.}, \quad (4.12)$$

$$\Delta_{C_c} = 8,18 - 7,56 = 0,62, \text{ у. е.},$$

$$\Delta_{C_d} = C_{\text{баз}_d} - C_{\text{проект}_d}, \text{ у. е.}, \quad (4.13)$$

$$\Delta_{C_d} = 4,70 - 4,35 = 0,35, \text{ у. е.},$$

где $C_{\text{баз}_c}$ – статическая себестоимость базового варианта, у.е./т;

$C_{\text{проект}_c}$ – статическая себестоимость проектного варианта, у.е./т;

$C_{\text{баз}_d}$ – динамическая себестоимость базового варианта, у.е./т;

$C_{\text{проект}_d}$ – динамическая себестоимость проектного варианта, у.е./т;

На основе полученных величин разницы себестоимости можно определить статическую ($\Delta_{\text{п}_c}$) (4.14) и динамическую ($\Delta_{\text{п}_d}$) (4.15) дополнительную прибыль от реализации проектного варианта.

$$Дп_с = A_{ср} \cdot \Delta_{с_с}, \text{ у. е.}, \quad (4.14)$$

$$Дп_с = 958\,920 \cdot 0,62 = 594\,530,40 \text{ у. е.} \approx 56 \text{ млн руб}$$

$$Дп_д = A_{ср} \cdot \Delta_{с_д}, \text{ у. е.}, \quad (4.15)$$

$$Дп_д = 958\,920 \cdot 0,35 = 335\,622,00 \text{ у. е.} \approx 32 \text{ млн руб}$$

где $A_{ср}$ - средняя годовая производительность по полезному ископаемому, т.

Курс у.е. принят за 94 рубля.

Результаты сравнения технико-экономических показателей по базовому и проектному вариантам представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 - Техничко-экономические показатели реализации проекта (составлено автором)

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Базовый вариант	Проектный вариант
1	Годовая производительность по полезному ископаемому	т	958 920	958 920
2	Наличие БВР		+	-
3	Производительность добычного оборудования			
	до IV года эксплуатации	т/ч	420	460
	с V по XV год эксплуатации	т/ч	540	620
4	Количество транспортных машин			
	до IV года эксплуатации	шт.	6	5
	с V по XV год эксплуатации	шт.	8	7
5	Статическая себестоимость экономический эффект	у.е*./т млнруб.	8,18 -	7,56 56
6	Динамическая себестоимость экономический эффект	у.е*./т млнруб.	4,70 -	4,35 32
*Курс у.е. принят за 94 рубля				

4.4 Выводы по Главе 4

1. Условиям эксплуатации карьера ООО «Lafarge BFC (СРБ)» месторождения «Муталь» удовлетворяют комбайны: Wirtgen 2500 SM до IV года эксплуатации и Wirtgen 2200 SM с V по XV год эксплуатации при работе параллельными проходами по поточной схеме с прямой погрузкой известняка в самосвалы.

2. До IV года эксплуатации при суточной производительности карьера 5000 т/сутки известняка один комбайн Wirtgen 2500 SM будет загружен на 90 %, а

образующегося запаса его возможностей хватит для подготовки врубовых выработок этим комбайном по менее производительной челноковой схеме. в качестве вспомогательной технологической операции на карьере Муталь и будут и дальше применяться в разработке месторождения в случае выхода из строя одной из машин основного оборудования.

3. С V по XV год эксплуатации при суточной производительности карьера 5000 т/сутки известняка два комбайна Wirtgen 2500 SM будут загружены на 67 %, образующегося запаса их возможностей хватит для подготовки врубовых выработок, а также для выполнения вспомогательных технологических операций на карьере Муталь в случае выхода из строя одной из машин вспомогательного оборудования.

4. Внедрение безвзрывной технологии с применением фрезерных комбайнов Wirtgen 2500 SM и Wirtgen 2200 SM на карьере ООО «Lafarge BFC (СРБ)» позволит снизить себестоимость добычи и транспортировки известняка по сравнению с уже применяющимся на карьере вариантом технологии ведения горных работ на 8 %, а, следовательно, получить дополнительную прибыль в размере 56 млн руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой излагаются методы для определения параметров и показателей системы открытой разработки с использованием машин послойного фрезерования, учитывающие горнотехнические и горно-геологические условия разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья, позволяющих повысить безопасность, эффективность и достоверность проектных решений.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем:

1. На основе анализа методологии проектирования открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений установлено, что месторождения цементного сырья, характеризующиеся сложным строением разнокачественных пластов карбонатных пород, целесообразно отрабатывать послойной технологией, позволяющей избежать загрязнения полезного ископаемого и производить его селективную выемку.

2. Методы определения параметров карьеров при проектировании отработки машинами послойного фрезерования, учитывающие горнотехнические и горно-геологические условия сложноструктурных месторождений цементного сырья Республики Сербия, нуждаются в совершенствовании и корректировке. Существующая теоретическая база не позволяет принять во внимание стохастический характер исходной геологической информации качества полезного ископаемого, возможные изменения проектной базы данных во времени отработки карбонатных месторождений.

3. Разработана и обоснована методика определения параметров и показателей открытой разработки с использованием машин послойного фрезерования, учитывающая горно-геологические и горнотехнические условия сложноструктурных месторождений цементного сырья Республики Сербия, обеспечивающая повышение эксплуатационной производительности фрезерных комбайнов Surface Miner на 8-12 % и экономическую эффективность результатов реализации проектных решений.

4. На основе разработанной методики для определения параметров и показателей открытой разработки предложены технологические схемы ведения горных работ при использовании фрезерных горных комбайнов, позволяющие повысить эффективность и достоверность проектных решений.

5. При небольшой длине эксплуатационного блока комбайна SM (менее 150 м) рекомендуется челноковая схема отработки. В противном случае следует использовать технологические решения по реализации циклично-поточной или поточной технологии отработки.

6. Эксплуатационная производительность фрезерного комбайна представляет собой комплексную функцию, зависящую от множества переменных:

а) скорость перемещения комбайна в режиме активной отработки или холостого хода напрямую влияет на общее время, затраченное на выполнение технологической задачи, с учётом эффективности и безопасности, и является ключевым фактором повышения производительности;

б) более широкая заходка теоретически увеличивает производительность комбайна SM, однако требует большей мощности и может быть ограничена физико-механическими свойствами разрабатываемой породы;

в) мощность отрабатываемого слоя, то есть глубина, на которую комбайн проникает в породу за один проход, является еще одним важным параметром. Увеличение глубины среза также повышает нагрузку на оборудование и требует адекватной мощности;

г) твердость, абразивность и трещиноватость породы оказывают прямое воздействие на скорость выработки, износ режущего инструмента и общую стабильность работы комбайна;

д) организация горных работ, включая логистику, планирование и координацию действий различных единиц оборудования, оказывает значительное влияние на эксплуатационную производительность фрезерного комбайна. Эффективная организация позволяет минимизировать простои, оптимизировать маршруты и обеспечить непрерывный поток горной массы.

В совокупности все эти факторы определяют общую эффективность работы фрезерного комбайна, их учет и оптимизация являются необходимым условием для достижения максимальной производительности.

7. Производительность карьеров по добыче цементного сырья, разрабатывающих сложноструктурные месторождения Республики Сербия с использованием технологии послойного фрезерования, следует определять по разработанной методике, учитывающей скорость движения фронта горных работ, скорость движения заходки по длине фронта, мощность отрабатываемого слоя горных пород, ширину полосы фрезерования, длину фронта горных работ, вид принятой технологической схемы отработки.

8. Среди параметров системы разработки месторождения цементного сырья можно выделить 3 категории значимости: высокая степень влияния – длина эксплуатационного блока, мощность слоя отработки горным комбайном; средняя степень влияния – ширина заходки комбайна, скорость перемещения горного комбайна по длине заходки; низкая значимость – нормативный коэффициент потерь, скорость перемещения горного комбайна холостым ходом.

9. Карбонатные месторождения цементного сырья в Республики Сербия отличаются сложным строением, преимущественно представлены разнородными пластами известняков и мергеля с пропластками вскрышных пород. Выявленные особенности требуют предложения новых методологических и технологических решений, обеспечивающих повышение безопасности, эффективности и достоверности проектных решений.

10. Условиям эксплуатации карьера ООО «Lafarge BFC (СРБ)» месторождения «Муталь» удовлетворяют комбайны: Wirtgen 2500 SM и Wirtgen 2200 SM при работе параллельными проходами по поточной схеме с прямой погрузкой известняка в самосвалы. Внедрение безвзрывной технологии на карьере ООО «Lafarge BFC (СРБ)» позволит снизить себестоимость добычи и транспортировки известняка по сравнению с уже применяющимся на карьере вариантом технологии ведения горных работ на 8 % и получить дополнительную прибыль в размере 56 млн руб. в год.

Результаты работы могут использоваться при проектировании карьеров, планировании и организации горных работ на карьерах, отрабатывающих месторождения цементного сырья с использованием горных комбайнов послойного фрезерования.

Перспективным направлением дальнейшей работы следует считать развитие методологии проектирования карьеров по добыче цементного сырья в связи с совершенствованием безвзрывной техники для разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Материалы диссертации применены в учебном процессе при подготовке студентов специальности «Открытые горные работы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраамова, Н.С. Обоснование технологических схем открытой разработки месторождений карбонатных горных пород с помощью машин послойного фрезерования: Дис. канд. техн. наук 25.00.22 / Н.С. Авраамова. – Санкт-Петербург, 2006. – 120 с.
2. Авраамова, Н.С. Технологические схемы разработки наклонных залежей с использованием фрезерного комбайна / Н.С. Авраамова // Сборник «Проблемы машиноведения и машиностроения»: СЗТУ. – 2006. – Т. 35. – С. 149-152.
3. Агошков, М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр / М.И. Агошков // Горный журнал. – 1984. – № 3. – С. 3-6.
4. Агошков, М.И. Техничко - экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр / М.И. Агошков. – Москва : Недра, 1974. – 313 с.
5. Агошков, М.И. Учет фактора времени в горно - экономических расчетах / М.И. Агошков, Е.М. Козаков // Вопросы экономики. – 1985. – № 11. – С. 72-75.
6. Анистратов, Ю.И. Проектирование карьеров / Ю.И. Анистратов. – Москва : МГРИ, 1988. – 81 с.
7. Анистратов, Ю.И. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1 / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов; Анистратов К.Ю. ред. . – Москва : Система максимум, 2019. – 640 с.
8. Арсентьев, А.И. Горные работы в карьерах (основы теории) / А.И. Арсентьев. – Санкт-Петербург, 2006. – 121 с.
9. Арсентьев, А.И. Диалоги о горной науке / А.И. Арсентьев. – Санкт-Петербург : РИЦ СПГГИ, 1999. – 154 с.
10. Арсентьев, А.И. Производительность карьеров / А.И. Арсентьев. – Санкт-Петербург : РИЦ СПГГИ, 2002. – 85 с.
11. Арсентьев, А.И. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков. – Москва : Недра, 1994. – 336 с.

12. Арсентьев, А.И. Определение главных параметров карьера / А.И. Арсентьев, О.В. Шпанский, Г.П. Константинов, В.Л. Бложе. – Москва : Недра, 1976. – 216 с.
13. Астахов, А.С. Экономика горного предприятия. Горная микроэкономика / А.С. Астахов, Г.Л. Краснянский, Ю.Н. Малышев, Яновский А.Б. – Москва : Академии горных наук, 1997. – 279 с.
14. Баженов, М.В. Проблемы теории проектирования карьеров. / М.В. Баженов, С.И. Фомин. – Санкт-Петербург : СПГГИ, 1994. – 125 с.
15. Баранов, Е.Г. Опыт селективной разработки сложных месторождений. / Е.Г. Баранов, И.А. Тангаев. – Фрунзе : Илим, 1969. – 109 с.
16. Богачев, А.Ф. Управление запасами горной массы и надежность работы карьера / А.Ф. Богачев // Недра. – 1979. – С. 87-95.
17. Братчиков, Н.В. Технология безвзрывной добычи известняка / Н.В. Братчиков, И.В. Рубцов, М.Ю. Брычков // Цемент и его применение. – 2011. – № 1. – С. 1-3.
18. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – Москва : Высшая школа, 1999. – 576 с.
19. Виноградов, И.П. Определение потерь руды при проектировании технологии послойного фрезерования наклонных залежей сложного строения / И.П. Виноградов, И.В. Смелянский // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 2. – С. 184-188.
20. Виноградов, И.П. Анализ чувствительности параметров и показателей системы открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений с использованием машин послойного фрезерования / И.П. Виноградов, С.И. Фомин // Научно-технический и методологический журнал. Рациональное освоение недр. – 2019. – № 3. – С. 107-112.
21. Волков, И.М. Проектный анализ / И.М. Волков, М.В. Грачева. – Москва : Банки и Биржи, Юнити, 1998. – 323 с.
22. Галиев, Ж.К. Экономика предприятия / Ж.К. Галиев. – Москва : МГГУ, 2001. – 304 с.

23. Грабский, А.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов / А.А. Грабский // Горная Промышленность. – 2010. – Т. 92. – № 4. – С. 60-62.
24. Грачев, Ф.Г. Управление качеством сырья на горнорудных предприятиях / Ф.Г. Грачев. – Москва, 1977. – 208 с.
25. Зайцев, Г.Д., Ч.В.И. Оценка технологических и технических возможностей оборудования для безвзрывной добычи полезных ископаемых / Ч.В.И. Зайцев, Г.Д. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – № 2. – С. 222-227.
26. Иванов, В.В. Обоснование методов определения параметров и показателей открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / В.В. Иванов. – Санкт-Петербург, 2008. – 197 с.
27. Каркашадзе, Г.Г. Механическое разрушение горных пород / Г.Г. Каркашадзе. – Москва, 2004.
28. Квитка, В.В. Проектирование устойчивой технологической системы карьера / В.В. Квитка. – Ленинград : ЛГИ, 1988. – С. 61-64.
29. Кожевников, В.А. Комбайны Wirtgen Surface Miner на бокситовом руднике Фрия (Гвинея) / В.А. Кожевников, Н.В. Набока, Б.И. Новоселов и др. // Горная промышленность. – 2004. – № 1. – С. 45-46.
30. Лелен, А. Преимущество применения машин послойного фрезирования (SM) при безвзрывной открытой разработке месторождений цементного сырья / А. Лелен // 12-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее». – Тула : ТулГУ, . – С. 50-53.
31. Маттис, А.Р. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / А.Р. Маттис; В.Н. Опарин ред. . – Новосибирск : Изд - во СО РАН, 2007. – 337 с.
32. Мельников, Н.В. Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельников, А.И. Арсентьев. – Москва : Недра, 1979. – 636 с.

33. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – Москва : (Утверждены Госстроем России, Мин. экономики, Мин. финансов РФ), 1994. – 80 с.
34. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев) МПР РФ ГКЗ от 15 марта. – 1999. – 113-118 с.
35. Надежность в технике. Термины. – ГОСТ 13377 - 75, 1976. – 69-74 с.
36. Новожилов, М.Г. Высокопроизводительные глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, Л.Ю. Дриженко, А.. Маевский; М.Г. Новожилов ред. . – Москва : Недра, 1984. – 188 с.
37. Оксфордский толковый словарь. – Москва : Прогресс - Академия, 1995. – 752 с.
38. Пихлер, М. Испытания безвзрывной технологии добычных работ на Сокольско-Ситовском карьере известняка / М. Пихлер, В.А. Гуськов, О.А. Галигузов // Горная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 23-26.
39. Пихлер, М. Комбайн Wirtgen 2500 SM на известняковом карьере Foreman / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 50-52.
40. Пихлер, М. Направление совершенствования и результаты применения комбайнов Wirtgen Surface Miner на карьерах и разрезах мира / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2000. – № 3. – С. 42-45.
41. Пихлер, М. Опытнo-промышленная эксплуатация горного комбайна Wirtgen 2200 SM в сланцевом карьере KIVOLI / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 23-26.
42. Пихлер, М. Первые результаты работы горного комбайна Wirtgen 2500 SM в сланцевом карьере KIVOLI (Эстония) / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 20-22.
43. Пихлер, М. Решение вопросов экологии в рамках горных проектов по добыче бокситов / М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2005. –

№ 6. – С. 50-53.

44. Подэрни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров / Р.Ю. Подэрни. – Москва : МГГУ, 2007. – 680 с.

45. Райков, А.Б. Новый карьерный комбайн Wirtgen 2200 SM в Республике Гвинея / А.Б. Райков, А.Г. Шевченко, А.М. Панченко и др. // Горная промышленность. – 2002. – № 1. – С. 5-7.

46. Решетняк, С.П. Обоснование проектирования участков карьерных бортов без предохранительных берм / С.П. Решетняк // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование. М., изд. Горная книга. Отдельный выпуск. – 2015. – № 60-1. – С. 439-448.

47. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Ч.1. Производственные процессы: Учебник для вузов / В.В. Ржевский. – Москва : Недра, 1985. – 509 с.

48. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Ч.2. Технология и комплексная механизация: Учебник для вузов / В.В. Ржевский. – Москва : Недра, 1985. – 549 с.

49. Салманов, О.Н. Об оптимальных сроках отработки месторождений в условиях рыночной модели экономики / О.Н. Салманов // Горный журнал. – 1993. – № 6. – С. 9-11.

50. Салманов, О.Н. Определение уровня риска при разведке, оценке и проектировании разработки месторождений / О.Н. Салманов // Известия Вузов. Горный журнал. – 1996. – № 2. – С. 22-24.

51. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660377 Российская Федерация. Программа для вычисления чувствительности параметров и показателей системы открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений с использованием машин послойного фрезерования. Заявка № 2025618660: заявл. 15.04.2025: опубл. 23.04.2025 / С.И. Фомин, **А. Лелен**; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 16,3 КБ.

52. Справочник. Открытые горные работы / Р.С. Яруллина ред. . – Москва : Горное бюро, 1994. – 590 с.
53. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров. В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин. – Москва : Изд-во Академии горных наук, 2001. – 519 с.
54. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров.. – 3- е изд., перераб. и доп / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. – Москва : Высшая школа, 2009. – 694 с.
55. Трубецкой, К.Н. Метод и результаты исследований оптимизации стратегий освоения месторождений / К.Н. Трубецкой, А.А. Пешков, Н.А. Мацко // Горный вестник. – 1996. – № 4. – С. 79-84.
56. Фауль, А.А. Определение параметров и показателей открытой разработки месторождений нерудных строительных материалов с использованием мобильных дробильных комплексов : дис. ... канд. техн. наук. 25.00.21 / А.А. Фауль. – Санкт-Петербург, 2012. – 193 с.
57. Фомин, С.И. Обоснование методов оценки эффективности проектных решений при строительстве рудных карьеров : диссертация ... доктора технических наук : 25.00.21 / С.И. Фомин. – Санкт-Петербург, 2003. – 391 с.
58. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырье / С.И. Фомин. – Санкт-Петербург : Тема, 1999. – 169 с.
59. Фомин, С.И. Оценка влияния рыночных факторов на производительность карьеров / С.И. Фомин, М.В. Баженов // Горный журнал. – 1996. – № 11-12. – С. 28.
60. Фомин, С.И. Анализ безвзрывной технологии тонкослоевой выемки с применением фрезерных комбайнов при открытой разработке месторождений цементного сырья / С.И. Фомин, И.П. Виноградов // Цемент и его применение. – 2017. – № 4. – С. 42-44.
61. Фомин, С.И. Повышение безопасности горных работ при открытой разработке месторождений цементного сырья / С.И. Фомин, И.П. Виноградов // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – С. 324-332.

DOI: 10.25018/0236.

62. Фомин, С.И. Анализ опыта применения комбайнов послойного фрезерования при открытой разработке месторождений цементного сырья / С.И. Фомин, **А. Лелен** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 1. – С. 128-140. DOI: 10.25018/0236.

63. Фомин, С.И. Обоснование параметров эксплуатационного блока при разработке месторождений цементного сырья комбайнами послойного фрезирования / С.И. Фомин, **А. Лелен** // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3 (65). – С. 20-25.

64. Фомин, С.И. Определение производительности карьеров цементной промышленности, разрабатывающих минеральное сырье с использованием комбайнов послойного фрезерования sm / С.И. Фомин, **А. Лелен** // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 3 (131). – С. 122-127. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_122_127.

65. Фомин, С.И. Совершенствование методов определения потерь руды при проектировании разработки месторождения цементного сырья комбайнами послойного фрезерования / С.И. Фомин, **А. Лелен** // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 2. – С. 202-208. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4203.

66. Фомин, С.И. Оценка надежности проектных решений при определении параметров и показателей открытой разработки месторождений / С.И. Фомин, **А. Лелен**, А.С. Говоров // Маркшейдерия и Недропользование. – 2024. – № 5 (133). – С. 60-67.

67. Фомин, С.И. Оценка эффективности принятия проектных решений / С.И. Фомин, Д.В. Пасынков, А.С. Семенов // Записки Горного института. – 2009. – Т. 180. – С. 12-15.

68. Харченко, В.А. Рациональное природопользование в горной промышленности / В.А. Харченко; В.А. Харченко ред. . – Москва : Недра, 1998. – 154 с.

69. Холодняков, Г.А. Определение основных параметров открытой

разработки месторождений / Г.А. Холодныков // Наука. – 1988. – С. 22-25.

70. Холодныков, Г.А. Проектирование открытой разработки комплексных месторождений / Г.А. Холодныков // Издательство ЛГИ. – 1987. – С. 98-99.

71. Холодныков, Г.А. Кондиционная мощность пластов при малоотходной открытой разработке месторождений / Г.А. Холодныков, Н.В. Косенко // Сборник научных докладов 8-й Международной конференции «Экология и развитие общества». – Санкт-Петербург : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, . – С. 286-291.

72. Холодныков, Г.А. Рациональная технология раздельной выемки пластов сложного строения на открытых горных работах / Г.А. Холодныков, Н.В. Косенко, В.С. Авраамов // Сборник научных докладов 9-й Международной конференции «Экология и развитие общества». – Санкт-Петербург : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, . – С. 312-318.

73. Хохряков, В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок / В.С. Хохряков. – Екатеринбург : УГГА, 1996. – 180 с.

74. Хохряков, В.С. Автоматизированное проектирование карьеров / В.С. Хохряков, В.. Корнилков, А.Г. Неволин, В.М. Каплан. – Москва : УГГА, 1985. – 263 с.

75. Хохряков, В.С. Экономико - математическое моделирование и проектирование карьеров / В.С. Хохряков, Г.Г. Саканцев. – Москва : Недра, 1977. – 132 с.

76. Чан, Б.Д. Обоснование параметров технологических схем открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама : дис. ... канд. техн. наук. 25.00.22 / Б.Д. Чан. – Санкт-Петербург, 2019. – 208 с.

77. Чаплыгин, Н.Н. Научно - технический прогресс в горнодобывающей промышленности: проблемы обоснований направлений и реализации / Н.Н. Чаплыгин, Л.А. Сахарина, А.М. Левин; М. Н.Н. ред. . – Апатиты : КНЦ АН СССР, 1990. – 147 с.

78. Чебан, А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов / А.Ю. Чебан // Недропользование XXI век. – 2015. – Т. 55. – № 5. – С. 64-69.
79. Чебан, А.Ю. Применение фрезерных комбайнов в строительстве и на добыче строительных материалов / А.Ю. Чебан // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2012. – Т. 26. – № 3. – С. 105-108.
80. Чебан, А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки сложноструктурных месторождений с применением машин послойного фрезерования / А.Ю. Чебан, Г.В. Секисов, Н.П. Хрунина // Сборник трудов VII Международной научно-технич. конфер. «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». – Екатеринбург : УГГУ, 2018. – С. 176-181.
81. Швабенланд, Е.Е. О потенциале фрезерных комбайнов непрерывного действия при разработке месторождений открытым способом / Е.Е. Швабенланд // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 1. – С. 54-60.
82. Шевченко, А.Г. Безвзрывная разработка бокситовых руд комбайнами WirtgenSurfaceMiner расширяет сырьевую базу рудника Дебеле (Гвинея) / А.Г. Шевченко, М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич // Горная промышленность. – 2003. – № 2. – С. 44-45.
83. Шемякин, С.А. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов / С.А. Шемякин, Д.Н. Матвеев, А.Ю. Чебан // Горный журнал. – 2015. – С. 43-46.
84. Шешко, Е.Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых работ / Е.Е. Шешко. – Москва : МГУ, 2003. – 264 с.
85. Шитарев, В.Г. Параметры карьеров при комплексном использовании недр / В.Г. Шитарев, О.Н. Салманов // Недра. – 1990. – С. 95-97.
86. Шитов, Д.И. Исследование методов определения параметров карьера с учетом достоверности исходных данных: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. 05.15.03 / Д.И. Шитов. – Ленинград : Горный ин-т им. Г.В.

Плеханова, 1977. – 24 с.

87. Шитов, Д.И. Определение проектной производительности карьера с учетом ее вероятностного характера / Д.И. Шитов // Известия Вузов. Горный журнал. – 1981. – № 3. – С. 14.

88. Шпанский, О.В. Производительность и границы карьеров / О.В. Шпанский. – Ленинград : ЛГИ, 1983. – 99 с.

89. Шпанский, О.В. Развитие основ горно-геометрического моделирования карьеров при проектировании разработки крутопадающих месторождений. Автореферат дис. на соиск. учен. степ., д.т.н., С-Пб., СПГГИ, / О.В. Шпанский. – СПГГИ, 1999. – 46 с.

90. Шпанский, О.В. Проектирование производственной мощности карьеров / О.В. Шпанский, Д.Н. Лигоцкий, Д.В. Борисов. – Санкт-Петербург : СПГГИ, 2004. – 94 с.

91. Шпанский, О.В. Совершенствование методов проектирования производственной мощности карьеров по полезному ископаемому и горной массе / О.В. Шпанский, Д.Н. Лигоцкий, И.А. Ишкулова, К.С. Арзуманян // Горный журнал. – 2005. – № 4. – С. 9-17.

92. Щадов, В.М. Открытая разработка сложноструктурных угольных место-рождений Восточной Сибири и Дальнего Востока / В.М. Щадов. – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 298 с.

93. Щадов, В.М. Технологическо-организационные основы формирования стратегии развития открытой угледобычи: Автореф. дис. на соиск. уч.степ., докт.техн.наук. 25.00.22 / В.М. Щадов. – МГГУ, 2001. – 48 с.

94. Юматов, Б.П. Определение удельных, общих и приведенных капиталовложений для технико - экономических расчетов в области горного дела / Б.П. Юматов // Известия Вузов. Горный журнал. – 1961. – № 4. – С. 61.

95. Юматов, Б.П. Технология буровзрывных работ на карьерах цветной металлургии / Б.П. Юматов, Б.Н. Байков. – Москва : Недра, 1969. – 103 с.

96. Юматов, Б.П. Открытая разработка сложно - структурных месторождений цветных металлов / Б.П. Юматов, Б.Н. Байков, В.П. Смирнов. –

Недра, 1973. – 192 с.

97. Юматов, Б.П. Строительство и реконструкция рудных карьеров / Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин. – Москва : Недра, 1978. – 239 с.

98. Bralić, N. Cement Raw Material Reserve Calculation—Geological Sections vs. Structural Maps Approaches, Case Study from Southern Croatia / N. Bralić, T. Malvić // Minerals. – 2022. – Vol. 12. – № 8. – P. 1056. DOI: 10.3390/min12081056.

99. Busuyi, T. Geoscience Frontiers A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit / T. Busuyi, V. Oluwatosin, A. Emman // Geoscience Frontiers. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 243-253. DOI: 10.1016/j.gsf.2020.02.019.

100. Dagdelen, K. Optimum cement quarry scheduling algorithm / K. Dagdelen, M.W.A. Asad // Proceedings of the 30th symposium on application of computers and operations research in the mineral industry. – Phoenix : AZ: Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, 2002. – P. 697-709.

101. Gojković, N. Geomechanical Aspects Of The Openpit Mutalj External Landfill Design / N. Gojković, V. Čebašek, B. Dimitrijević, V. Rupar // 13th International Symposium Continuous Surface Mining ISCSM 2016 / V. Pavlovic et al. eds. . – Belgrade, 11-14.09.2016 : Yugoslav Opencast Mining Committee, 2016. – P. 33-34.

102. Jovanovic, B. Interaction of the end slope and contour construction / B. Jovanovic // Bulletin of mines. – 2016. – № CXI. – P. 1-2.

103. Jovanovic, B. Study on stability verification of the open pit and the external depository of Mutalj near Beočin / B. Jovanovic. – 2012. – 116 p.

104. Jovanović, B. Technical Project for Limestone and Overburden Exploitation at the Open Pit Mutalj - I Stage / B. Jovanović. – Mining Institute l.l.c. Belgrade, 2014. – 126 p.

105. Ramazan, S. Fundamental tree algorithm in optimising production scheduling for open pit mine design / S. Ramazan, K. Dagdelen, T.B. Johnson // Institution of Mining and Metallurgy. Transactions. Section A: Mining Technology. – 2005. – Vol. 114. – № 1. – P. 45-54. DOI: 10.1179/037178405X44511.

106. Rudawsky, O. Economic evaluation techniques for mining investment

projects / O. Rudawsky // Colorado School of Mines Mineral Industries Bulletin. – 1971. – № 1. – P. 15-19.

107. Saliba, Z. An application of simultaneous stochastic optimisation of an open-pit mining complex with tailings management / Z. Saliba, R. Dimitrakopoulos // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2020. – Vol. 34. – № 8. – P. 592-607. DOI: 10.1080/17480930.2019.1688954.

108. Simić, V. Ležište krečnjaka Mutalj kod Beočina [Месторождение Муталь у Беочина] / V. Simić, S. Knežević, D. Životić // Izgradnja. – 2004. – № 57. – P. 427-430.

109. Vu, T. Optimisation of long-term quarry production scheduling under geological uncertainty to supply raw materials to a cement plant / T. Vu, T. Bao, C. Drebenstedt et al. // Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy. – 2021. – Vol. 130. – № 3. – P. 146-158. DOI: 10.1080/25726668.2021.1894398.

110. Wirtgen group company. Economical mining of hard rock. Surface Miner 2500 SM. – Mode of access: [https://panafricangroup.com/pdf/2500 SM.pdf](https://panafricangroup.com/pdf/2500%20SM.pdf) (date of access: 01.04.2025). – [Electronic resource].

111. Wirtgen group company. Multipurpose machine for economical mining. Surface Miner 2200 SM. – Mode of access: <https://panafricangroup.com/pdf/2200SM.pdf> (date of access: 01.04.2025). – [Electronic resource].

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025660377

**Программа для вычисления чувствительности
параметров и показателей системы открытой
разработки сложноструктурных карбонатных
месторождений с использованием машин послойного
фрезерования**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-
Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Фомин Сергей Игоревич (RU), Лелен Алекса (RU)*



Заявка № 2025618660

Дата поступления 15 апреля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 23 апреля 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты о промышленном внедрении результатов диссертации



акционерное общество
по проектированию предприятий
нерудной промышленности

Адрес: 191144, Россия, г.Санкт-Петербург,
Старорусская ул., д.5/3
Тел: (812) 271-36-11
Факс: (812) 274-07-82
E-mail: gipronerud@mail.ru
Сайт: www.gipronerud.ru

ИНН 7825661565, КПП 784201001
р/счет 40702810555130140701
Северо-Западный банк ПАО «Сбербанк» г. Санкт-Петербург,
БИК 044030653, кор.сч.30101810500000000653
ОКПО 00283191, ОКВЭД 71.12

Утверждаю

Генеральный директор
АО «Гипронеруд»
Ларин Николай Сергеевич

Дата « 26 » ноября 2024 г.



АКТ
о внедрении результатов
кандидатской диссертации
Лелен Алексы

по научной специальности 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

специальная комиссия в составе: председатель Н.С. Ларин; члены комиссии: Е.А. Кукко, Бескровная А.Н., Рудакова Л.Г., составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование методов проектирования безвзрывной открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений (Республика Сербия)», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы в деятельности АО «Гипронеруд» при разработке проектной документации на разработку Сасаабытского месторождения в Республике Саха (Якутия) (лицензия ЯКУ 02197 ТЭ) в виде:

– Методики определения параметров и показателей системы открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений с использованием машин послойного фрезерования

Использование указанных результатов позволяет:

– Повысить безопасность, эффективность и достоверность проектных решений при проектировании карьеров по добыче цементного сырья, с учётом горно-технических и горно-геологических условий открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений, с использованием машин послойного фрезерования.

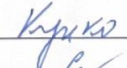
Председатель комиссии

Генеральный директор
АО «Гипронеруд»

 Н.С. Ларин

Члены комиссии:

Начальник

горно-геологического сектора  Е.А. Кукко

Начальник группы

горно-геологического сектора  А.Н. Бескровная

Инженер III кат.

горно-геологического сектора  Л.Г. Рудакова



АО «Гипроцветмет»
Звездный бульвар, д. 23, стр. 10, эт. 2, пом. 1
Москва, а/я 25, 129075
Тел.: +7 (495) 600-32-00, e-mail: office@giprocm.ru
ОКПО 00198404, ОГРН 1137746314640
ИНН/КПП 7717750345/771701001

Утверждаю

Управляющий директор

А.Д. Куранов

Дата « 29 » 01 2025 г.



АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертации аспиранта
Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II,
Лелен Алекса, обучающегося по научной специальности 2.8.7. Теоретические
основы проектирования горнотехнических систем.

Рабочая комиссия в составе: председателя комиссии - директора по инженерным изысканиям и полевым работам Тимохина Вадима Анатольевича, а также членов комиссии – начальника отдела горных работ Гордымова Александра Николаевича, ведущего инженера отдела горных работ Семенова Александра Сергеевича - составила настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование методов проектирования безвзрывной открытой разработки сложноструктурных карбонатных месторождений (Республика Сербия)», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы при ведении проектной и экспертной работы в деятельности АО «Гипроцветмет» при разработке технико-коммерческих предложений в части сопровождения проектирования открытых горных работ в части:

- определения параметров и показателей карьеров, учитывающих горнотехнические условия разработки сложноструктурных месторождений позволяющие повысить достоверность принятия проектных решений.

Использование указанных результатов позволяет повысить качество проектирования открытых горных работ, произвести достоверную оценку параметров и показателей карьеров, позволяющих повысить эффективность и достоверность реализации проектных решений, в условиях ограниченного объема стохастических исходных данных, при открытой разработке сложноструктурных месторождений.

По результатам совместных разработок получен 1 патент и опубликовано 5 статей.

Председатель комиссии

Директор по инженерным изысканиям
и полевым работам



Тимохин В.А.

Члены комиссии:

Начальник отдела горных работ



Гордымов А.Н.

Ведущий инженер отдела горных работ,
канд. техн.наук



Семенов А.С.