

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Навчально-науковий інститут природокористування  
Кафедра відкритих гірничих робіт**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
дипломної роботи магістра**

**Студента** Каштру Давід Нжемба Мукажі  
(прізвище та ініціали)

**Академічної групи** ГФ-184-18м

**Спеціальності** 184 Гірництво  
(код і назва спеціальності)

**Спеціалізації** «Відкрита розробка родовищ»

**За освітньо-професійною програмою** «Гірництво»  
**на тему:** Обґрунтування безвибухової технології розробки кімберлітових родовищ Анголи пошаровим фрезеруванням

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
роботи	доц. Череп А.Ю.			
розділів:	доц. Череп А.Ю.			
<b>Рецензент</b>	проф. Ковров О.С.			
<b>Нормоконтроль</b>	проф. Пчолкін Г.Д.			

Дніпро  
2019

Міністерство освіти і науки України  
 Національний технічний університет  
 «Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
 завідувач кафедри  
 відкритих гірничих робіт  
 \_\_\_\_\_ Собко Б.Ю.  
 «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019\_ року

### ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра

**Студента** Каштру Давід Нжемба Мукажі  
 (прізвище та ініціали)

**Академічної групи** ГФ-184-18М

**Спеціальності** 184 Гірництво  
 (код і назва спеціальності)

**Спеціалізації** «Відкрита розробка родовищ»

**За освітньо-професійною програмою** «Гірництво»  
**на тему:** Обґрунтування безвибухової технології розробки кімберлітових родовищ Анголи пошаровим фрезеруванням

### 1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 02.12.2019 № 2219-л

### 2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

**Об'єкт дослідження.** Розробка кімберлітових родовищ.

**Предмет дослідження.** Технологічні аспекти вилучення кімберлітових порід безвибуховим способом.

**Мета** – удосконалення безвибухової технології розробки кімберлітів механічним руйнуванням масиву шляхом пошарового фрезерування і наукове обґрунтування її параметрів.

#### **Вихідні дані для проведення роботи:**

- паспорта роботи обладнання з розробки вибоїв, які досліджуються у дипломній роботі;
- технічні характеристики обладнання, що використовується;
- результати розрахунку допустимих параметрів вибою при застосуванні гірничо-транспортного устаткування.

### 3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

**Наукова новизна роботи** полягає у встановленні залежності продуктивності фрезерного комбайна від глибини фрезерування, довжини робочого блоку, робочої швидкості комбайна і робочої маси самої машини. Продуктивність істотно знижується при підвищенні міцності породи.

**Практична значимість роботи** полягає в розробці технологічних схем використання машин пошарового фрезерування для транспортних і безтранспортних систем відкритої розробки. В результаті проведених досліджень встановлено, що продуктивність комбайна збільшується зі збільшенням глибини фрезерування від 100 мм до 250 мм в середньому на 30%. При врубі в нову заходку продуктивність комбайна зменшується на 25% зі збільшенням глибини врубу від 100 мм до 200 мм.

### 4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Магістерська робота виконана згідно наукових досліджень кафедри відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», відповідно до Кодексу України про надра, Гірничого закону України, Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та інших актів законодавства, які видаються відповідно до перелічених вище законів.

### 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок – закінчення)
Визначити можливу область застосування механічних способів руйнування та виймання скальних гірських порід.	14.10.2019-25.10.2019
Провести порівняльний аналіз існуючих гірничих машин, що працюють за безвибуховими технологіями на відкритих гірничих роботах за допомогою пошарового фрезерування.	26.10.2019-11.11.2019
Розробити та обґрунтувати технологічні схеми роботи машин пошарового фрезерування.	12.11.2019-29.11.2019
Визначити економічну ефективність використання машин пошарового фрезерування для умов кімберлітового родовища Катока, Ангола.	30.11.2019-15.12.2019

## 6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

**Економічний ефект.** Впровадження результатів роботи дозволяє знизити собівартість розробки кімберлітів за рахунок використання сучасної безвибухової технології з використанням в кар'єрі машин пошарового фрезерування.

**Соціальний ефект.** Використання сучасної гірничих комбайнів пошарового фрезерування на кімберлітових родовищах дозволяє виключити з процесу буро-вибухові роботи, що проводились в трубці, яка знаходиться неподалік від населених пунктів. Така технологія зменшує негативний вплив на довкілля та покращує умови проживання населення в цих районах.

## 7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Магістерська робота оформлюється відповідно з вимогами ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с.

Завдання видав \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

Термін подання дипломної роботи до ДЕК \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 14 рис., 7 табл., 31 літературне джерело.

**Об'єкт дослідження.** Розробка кімберлітових родовищ.

**Мета** – удосконалення безвибухової технології розробки кімберлітів механічним руйнуванням масиву шляхом пошарового фрезерування і наукове обґрунтування її параметрів.

У вступі підкреслюється актуальність переходу від буро-вибухових робіт на безвибухові технології розробки родовищ кімберлітів гірничими машинами пошарового фрезерування із застосуванням автомобільного транспорту.

Перший розділ містить огляд літературних джерел та аналіз даних щодо сучасного стану та перспектив розвитку технології відкритої розробки кімберлітових родовищ.

У другому розділі проаналізовані способи руйнування міцних гірських порід та умови ефективного використання машин пошарового фрезерування та проведена оцінка їх ефективного використання на відкритих гірничих роботах.

У третьому розділі проаналізовані заходи з охорони праці та санітарного забезпечення експлуатації розкривних та видобувних робіт на при відкритій розробці родовищ кімберлітів з використанням буро-вибухових робіт, а також складений план безпечного виконання гірничих робіт.

У четвертому розділі розроблені технологічні схеми відпрацювання міцних гірських порід машинами пошарового фрезерування з використанням автомобільного транспорту та безтранспортні схеми видобутку.

У економічній частині розраховано економічний ефект від впровадження запропонованої технології пошарового фрезерування гірських порід.

У висновках приведені результати магістерської роботи та визначенні перспективи реалізації запропонованих технологічних рішень.

**КАР'ЄР, ПОШАРОВЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ, БЕЗВИБУХОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.**

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ И ОСОБЕННОСТЯХ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ.....	10
1.1 Исследование коренных месторождений алмазов и технологии их отработки открытым способом.....	10
1.2. Анализ технической литературы, проектных работ и научных исследований по проблеме открытой разработки алмазоносных месторождений.....	19
1.3. Анализ существующего и перспективного оборудования непрерывного действия для безвзрывной технологии выемки кимберлитов .....	22
Выводы по разделу.....	28
2. ОБОСНОВАНИЕ БЕЗВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ.....	29
2.1. Анализ способов разрушения крепких пород на открытых горных работах .....	29
2.2. Условия эффективного применения машин послойного фрезерования при разработке кимберлитов.....	37
2.3. Исследование зависимостей параметров фрезерных комбайнов от свойств массива и природных условий месторождения.....	41
Выводы по разделу.....	53
3. ОХРАНА ТРУДА.....	55
3.1 Общие требования по охране труда.....	55
3.2 Мероприятия по снижению шумов и вибрации.....	56
3.3 Противоаварийная защита и безопасность ведения работ.....	59
3.4 Организация буро-взрывных работ.....	60
Выводы по разделу.....	62
4 ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРУБКИ КАТОКА.....	63
4.1. Анализ и основные параметры разработки трубки Катока.....	36
4.2. Обоснование экономической эффективности внедрения фрезерного комбайна «Wirtgen» 2600SM.....	66
Выводы по разделу.....	69
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	72

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Проблема изыскания высокопроизводительных технологий разработки кимберлитовых месторождений, обеспечивающих полное извлечение из недр полезного ископаемого при обеспечении сохранности природной целостности и ценности кристаллов алмазов является актуальной. В настоящее время разработка этих месторождений в Анголе производится с помощью буровзрывной технологии подготовки кимберлита и выемки одноковшовыми экскаваторами, при которой значительная часть особенно крупных алмазов подвергается разрушению. Это ведет к снижению качества кристаллического сырья и его потребительской стоимости.

Природные условия Ангольских кимберлитов характеризуются объемным весом 2,3-2,6 т/м, сильной и средней трещиноватостью, прочностью на одноосное сжатие от 2 до 90 МПа, сопротивлением резанию от 10 до 46 МПа, модулем упругости от 300 до 1100 МПа. Опыт современных разработок кимберлитовых месторождений показал возможность механического рыхления кимберлитов бульдозерно-рыхлительными агрегатами. Однако, его широкое применение ограничено зонами с повышенной трещиноватостью пониженной прочностью. Одновременное применение буровзрывной технологии и механического рыхления на небольших по площади рудных горизонтах создает большие трудности и снижает производственную мощность карьера.

В настоящее время в промышленном и дорожном строительстве, а также на открытых горных работах при разработке плотных и полускальных пород применяются комбайны с рабочим органом, позволяющим производить разработку массива слоями путем фрезерования.

Принцип работы этих машин и диапазон свойств разрабатываемых горных пород позволяет предположить его эффективное применение для высокопроизводительной безвзрывной разработки кимберлита с целью сохранности природной целостности кристаллов алмазов. Развитие фрезеровательной техники и активное распространение опыта их применения на

горных предприятиях делают актуальными исследования эффективности горных работ на алмазных месторождениях с помощью фрезерных комбайнов и определении оптимальных параметров технологии горных работ на карьерах.

**Цель магистерской работы** – усовершенствование безвзрывной технологии разработки кимберлитов механическим разрушением массива путем послойного фрезерования и научное обоснование ее параметров.

**Объект исследования** – разработка кимберлитовых месторождений.

**Предмет исследования.** Технологические аспекты извлечения кимберлитовых пород безвзрывным способом.

**Задачи исследования:**

1. Определение возможной области применения механических способов разрушения и выемки кимберлитовых горных пород.

2. Провести сравнительный анализ существующих горных машин различных конструкций, способными работать по безвзрывным технологиям или при помощи послойно-слоевого фрезерования для горных пород различной крепости.

3. Разработать и обосновать технологические схемы работы машин послойного фрезерования.

4. Определить экономическую эффективность применения машин послойного фрезерования для условий месторождения кимберлитов Катока.

**Научная новизна работы** заключается в установлении зависимости производительности фрезерного комбайна от глубины фрезерования, длины рабочего блока, рабочей скорости комбайна и рабочей массы самой машины. Производительность существенно снижается при повышении прочности породы.

**Методы исследований.** Для рассмотрения поставленных задач использовались: методы научного анализа, теоретических исследований и практики проектных и производственных организаций; горно-геометрические расчеты; метод вариантов для сравнения и выбора технологических схем

безвзрывной разработки месторождений полезных ископаемых.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке технологических схем использования машин послойного фрезерования для транспортных и бестранспортных систем открытой разработки. В результате проведенных исследований установлено, что производительность комбайна увеличивается с увеличением глубины фрезерования от 100 мм до 250 мм в среднем на 30%. При врубе в новую заходку производительность комбайна уменьшается на 25% с увеличением глубины вруба от 100 мм до 200 мм.

# 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ И ОСОБЕННОСТЯХ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ

## 1.1 Исследование коренных месторождений алмазов и технологии их отработки открытым способом

Алмазная горнодобывающая промышленность Катока, занимает доминирующее место в промышленном производстве. Ангола является регионом сосредоточения наибольшего количества коренных и россыпных месторождений алмазов. Это обусловлено тем, что в тектонической инфраструктуре материка большое значение имеют древние архейские (2,5 млрд лет) и палеопротерозойские (1,8-2,0 млрд лет) кратоны, которые являются наиболее благоприятными структурами для образования кимберлитов и их алмазоносных фаций.

В теории и практике открытой разработки крутопадающих месторождений наиболее широко и детально исследованы вопросы определения основных параметров карьера, вскрытия глубоких горизонтов месторождения и обоснования технологии их разработки для залежей большого простирания (более 2000 м). Коренные месторождения алмазов Анголы относятся к штокообразным (трубообразным) диаметром 600-900 м. Они отличаются относительно небольшими размерами карьерного поля, большим простиранием рудной залежи по глубине (500 м и более) и сложной структурой залегания покрывающих и вмещающих пород с зональным изменением прочностных характеристик массивов горных пород как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. В настоящее время крупнейшим алмазодобывающим предприятием Анголы является горнорудное общество «Катока», которое находится в провинции Южная Лунда. Анализ показывает, что месторождение «Катока» является типичным практически для всех коренных месторождений Анголы. Поэтому успешное освоение трубки «Катока» и других кимберлитовых месторождений

определяет экономическое благосостояние республики Ангола в целом.

Большая часть Анголы расположена на Западе Касаи-Ангольского щита Африканской платформы, сложенного нижнедокембрийскими гранитогнейсами, гнейсами и кристаллическими сланцами, а также метавулканогенно-осадочными толщами, с которыми связаны магнетит-гематитовые руды [1, 2]. Эти комплексы нарушены крупным габбро-анортозитовым массивом Кунене (2100 млн лет) и перекрыты верхнепротерозойским массивом на Востоке, где они образуют эпиплатформенные складчатые пояса Западного Конго и Катании. С этими отложениями связаны осадочные железные и марганцевые руды, стратиформное и жильное полиметаллическое оруденение. В центральной и восточной части страны развит маломощный чехол, сложенный континентальными отложениями каменно-угольного, пермского и мезокайнозойского возрастов, к которым приурочены проявления бурого угля, алмазоносные конгломераты и россыпи. В пределах прибрежно-морских впадин – Нижнеконголезской и Кванзы – развиты осадочные отложения мезокайнозойского возраста с месторождениями нефти и газа, фосфоритов, каменной соли, гипса и серы. От побережья через центральную часть страны в северо-восточном направлении проходит серия региональных разломов, контролирующая размещение карбонатитовых массивов (с медными и редкометальными оруденениями) и алмазоносных кимберлитовых трубок мезозойского возраста [3, 4].

Месторождения алмазов Анголы представлены кимберлитовыми трубками и россыпями, сосредоточенными на Северо-Востоке страны. Прогнозные запасы оцениваются в 310-350 млн кар, наиболее крупные трубки – «Катока», Камафука и Камазамбо. [2, 5].

В мировом алмазодобывающем и бриллиантовом комплексе (АБК) актуальные проблемы связаны с истощением богатых аллювиальных и коренных источников алмазов, вызывающим нестабильность рыночной конъюнктуры и обострение конкуренции потребителей сырья за

качественные алмазы. В старых алмазонасных провинциях – Трансваальско-Калахарийской, Австралийской и Центрально-Южносибирской (Якутской) открытия новых коренных месторождений стали редкостью, а прирост запасов руды и алмазов составил серьёзную проблему для развития алмазодобычи и загрузки горно-обогатительных комбинатов (ГОК) (Милашев, 2004-б). К примеру, на крупнейшем в мире алмазодобывающем руднике Аргайл (Австралия) добыча алмазов, достигшая пика в 43 млн. кар. в 1996 г., сократилась к 2004 г. на 50%, а в 2011 г. составила всего 17% от пиковой – 7,8 млн. кар. Представление о масштабах алмазодобычи и тенденциях мирового рынка алмазов до мирового финансового кризиса (2004– 2007 г.г.) и после него (2010–2014 гг.) дают рис. 1 и 2 и данные табл. 1.1 и 1.2.

Прогнозируется, что в 2016 г.г. производство природных алмазов в стоимостном выражении стабилизируется на уровне 17 млрд. долл. США, а спрос на них будет опережать объёмы производства. Об этом говорит и рост среднемировой цены на алмазы в 2013 г. до 181,8 долл./кар. – на 80% по отношению к цене 2010 г., при снижении производства до 130,48 млн. кар. и росте его стоимости до 14,1 млрд. долл. США (12,0 млрд. долл. в 2010 г.) (Табл.1.1). Соотношение объёмов производства и спроса на рынке сырых алмазов в прошедшее пятилетие и прогноз на перспективу до 2020 г. отражено на Рис.1.1, а. К вводу в эксплуатацию в период 2015-2020 г.г. готовится всего несколько новых рудников в Канаде, Австралии и Анголе.

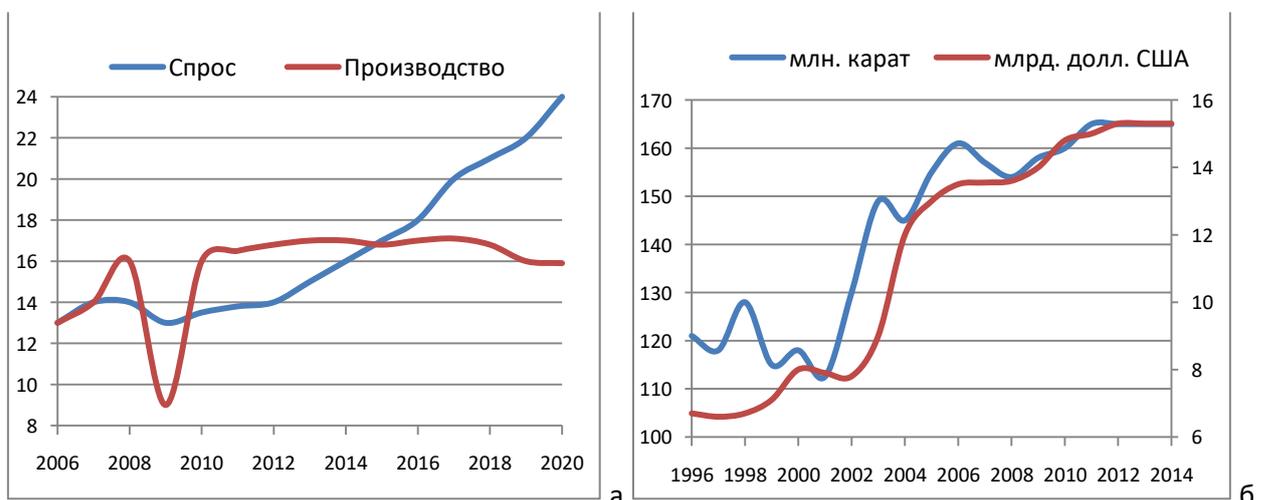


Рис. 1.1. Динамика объёмов спроса и производства сырых алмазов в 2006-2014 г.г. и прогноз до 2020 г., в млрд. долл. США (а); динамика мировой добычи природных алмазов (млн. кар./млрд. долл. США) в 1996-2013 г.г. и прогноз до 2014 г. (б).

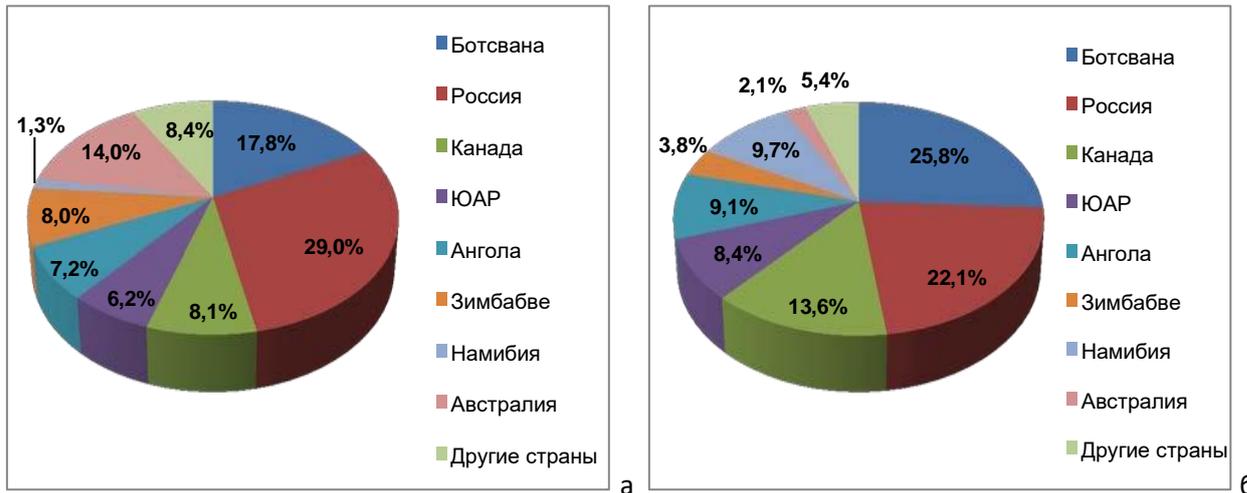


Рис. 1.2. Добыча алмазов в мире в 2013 г., % от общего объёма добычи (130,48 млн. кар) (а); % от общей суммы реализации (14,09 млрд. долл. США) (б)

В настоящее время в мире насчитывается около 3 тыс. месторождений алмазов, из которых разрабатывается только 50. Выявленные ресурсы их составляют более 5 млрд. карат, в том числе около 1 млрд. карат – разведанные запасы. Основные ресурсы алмазов находятся на территории Намибии (20%), Анголы (16,0%), Канады (14,0%), Ботсваны (12,0%), Австралии (10,0 %), России (8,0%), Конго (6,0%) и ЮАР (4,0%). Запасы коренных месторождений составляют 84,5 % от мировых запасов алмазов, остальные 15,5% приходятся на россыпи [6].

Основными источниками алмазов служат кимберлитовые трубки, запасы которых активно разрабатываются крупными алмазодобывающими компаниями. Прогнозируется увеличение объема добычи в 2018 г. до 17,0 млрд. долл. США, что отражено на рис.1, а. Объем мировой добычи по странам-производителям природных алмазов в 2017 г. представлен на рис. 1.2 и в табл.1.1 [7].

Таблица 1.1

Мировая добыча алмазного сырья по странам в 2014/2017 гг.

Место в мире	Страна	Стоимость млн. долл. США	Доля на рынке по стоимости, %	Объем добычи (млн. кар.)	Доля на рынке по добыче, %	Средняя цена, долл./кар.
Добыча алмазов в 2014/2017 гг.						
1	Ботсвана	2590,0/3630,0	21,6/25,8	22,00/23,19	16,5/17,8	117,7/156,5
2	Россия	2380,0/3110,0	19,8/22,1	34,86/37,88	26,2/29,0	68,3/82,1
3	Канада	2300,0/1910,0	19,2/13,6	11,80/10,56	8,9/8,1	201,7/180,9
4	ЮАР	1800,0/1190,0	15,0/8,4	13,70/8,14	10,3/6,2	131,4/146,2
5	Ангола	976,3/1280,0	8,1/9,1	8,37/9,36	6,3/7,2	116,6/136,8
6	Зимбабве	339,8/540,0	2,8/3,8	8,44/10,40	6,3/8,0	40,3/51,9
6	Намибия	744,0/1360,0	6,2/9,7	2,50/1,69	1,9/1,3	297,6/804,7
8	Австралия	251,7/300,0	2,1/2,1	18,70/16,03	14,0/12,3	20,3/24,4
9	Лесото	-	-	-	-	(1816,0)
10	Другие страны	618,2/700,0	5,2/5,4	12,75/13,23	9,6/10,1	48,5/52,9
	Итого, 2010/2013 гг.	12000/14090	100/100	33,12/130,48	100/100	100,4/181,8 *
* - без учёта цены алмазов Лесото (1816,0 долл./кар.)						
Экспорт/импорт, алмазы и бриллианты, 2010 г.						

В 1916 г. в стране впервые обнаружены россыпи алмазов, ставшие основным объектом разработки. В 1970 г. в Анголе насчитывалось 42 алмазодобывающих района, в каждом из которых действовало небольшое предприятие по добыче и обогащению алмазоносной породы. До 1975 г в стране ежегодно добывалось не более 2,4 млн кар алмазов.

Одним из крупнейших коренных месторождений алмазов в мире является кимберлитовая трубка «Катока» [8]. Она расположена на северо-западе провинции Южная Лунда, в северо-восточной Анголе в 35 милях к северу от города Сауримо (административного центра провинции) и в 780 километрах к востоку от Луанды, столицы Республики Ангола.



Рис. 1.3. Кимберлитовая трубка Катока.

Трубка является изометрической и имеет размерность 900 x 900 м. Общие точки контакта с окружающими породами четко выражены до глубины 130-150 м. Угол падения залежи составляет  $75^{\circ}$ - $85^{\circ}$ . Вскрышные породы в пределах карьерного поля делятся на два слоя. Толща верхнего слоя представлена песками и является относительно стабильной, составляя около 20 метров. Песок, как правило, плотный, имеет прослойку гравия до 1 м. Нижний слой представлен в основном гнейсами. Вмещающими породами на трубке являются гнейсы, сильно выветрелые на отметке +970 м. Плотность гнейсов значительно возрастает с отметки +960 м. Периферийная часть трубки, которая эксплуатируется сегодня, представлена кимберлитовыми порфирами, цвета которых изменяются в диапазоне от красного до зеленого. Кора выветривания характеризуется низкой плотностью и высокой трещиноватостью. Плотность кимберлита возрастает с глубиной до  $2,2 \text{ т/м}^3$ . Проникновение воды из песков крайне неравномерно.

Трубка Катока (Catoca) расположена на правом берегу левого притока

р. Шикапа – р. Лова. Она входит в число крупнейших кимберлитовых месторождений мира по размерам и разведанным запасам алмазов. После открытия трубки в 1968 г. компания ДИАМАНГ приступила к её разведке, которую закончила в 1972 г. Было пробурено 127 разведочных скважин диаметром до 88 мм глубиной от 50 до 270 м и 105 скважин диаметром 1,25-1,52 м до глубины 23-115 м с отбором проб и оценены запасы руды и алмазов до глубины 100 м. Большая часть разведочных скважин вскрыла осадочно-вулканогенные отложения с низкими содержаниями алмазов, и их запасы были оценены, как незначительные. При проведении ГРО «Катока» геолого-разведочных работ на трубке в период 1998-2002 гг. были пробурены 3 скважины диаметром 172 мм глубиной более 600 м и 8 – более 400 м, 38 скважин достигли глубины более 200 м и 56 скважин диаметром 224 мм достигли глубины 100 м. Всего было пробурено 78 разведочных скважин, отобрано более 1500 штуфов и более 2200 образцов кимберлитов на аналитические исследования, а также более 1200 керновых геологических проб для изучения алмазоносности руд месторождения. В настоящее время продолжается доразведка глубоких горизонтов трубки в интервале 600-800 м. Форма трубки в плане округлая, размеры на поверхности 915×990 м, площадь – 63,6 га. Трубка сужается с глубиной, с падением бортов рудного тела к её центру от 25-30° до 80-85°. На глубине около 400 м размеры её составляют 360×430 м, а площадь поперечного сечения уменьшается в 4,5 раза – до 13,6 га. Вмещающими породами являются гнейсы, контакт которых с кимберлитами резкий. Гнейсы на контакте слабо изменены и сильно трещиноваты, трещины заполнены кальцитом или кимберлитом в виде тонких прожилков, многочисленны зеркала скольжения по контакту с кимберлитом. Более 80% площади трубки было перекрыто песчаниками формации Калахари мощностью до 40 м и песчаниками мощностью до 140 м. Трубка Катока отличается сложным геологическим строением и существенной петролого-минералогической гетерогенностью пород. Она является слабо эродированным палеовулканом с хорошо сохранившейся кратерной частью,

сложенным полигенными комплексами пород кимберлитовой формации, различными по вещественному составу, петрофизическим свойствам и степени алмазоносности.

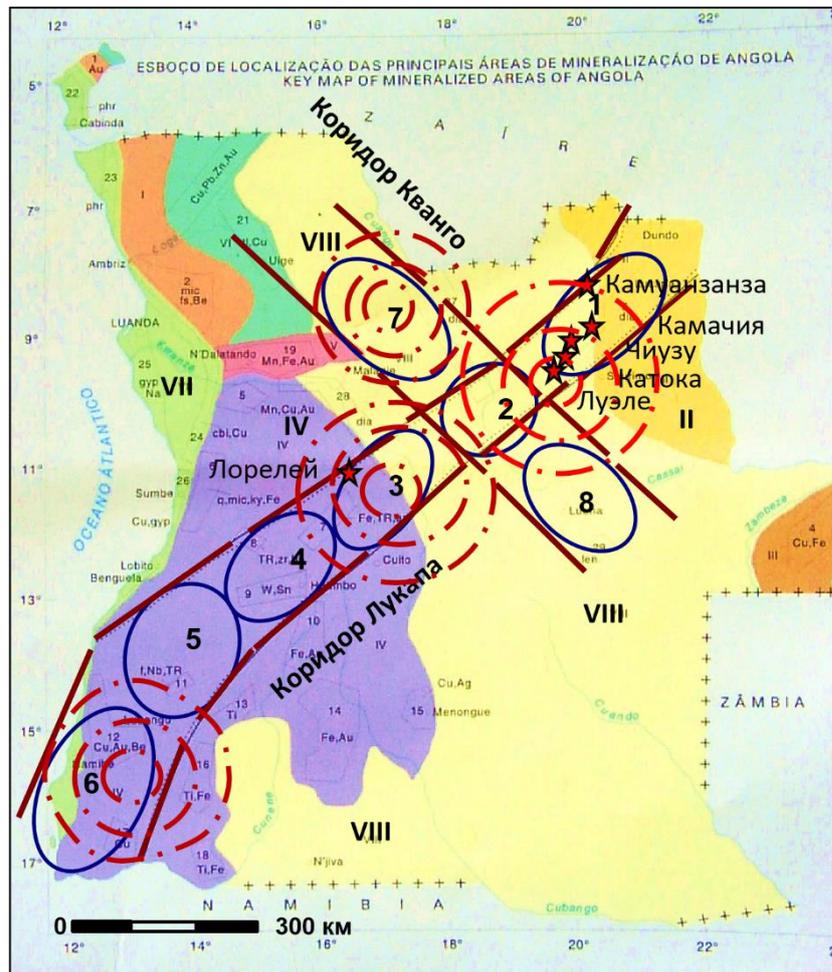


Рис. 1.4. Схема расположения кимберлитовых районов Анголы (Araujo et al., 1998; Манкенда, 1989; Вунда, 2010). Основа – Карта минеральных ресурсов Анголы, 1998. *AR щиты*: II – Касаи; IV – Ангольский; *периокеанические впадины*: VII – Кванза; *континентальные впадины*: VIII – Конго-Окаванго; *кимберлитовые районы (клаймы)*: 1 – Лунда; 2 – Кукумби; 3 – Кванза; 4 – Лонга; 5 – Катумбела; 6 – Кунене; 7 – Кванго; 8 – Калахари; *границы коридоров Лукапа и Кванго* – обозначены коричневой пунктирной линией; *месторождения кимберлитов* обозначены звездочкой; *кольцевые разломы Сауримской региональной структуры* – красные линии; *кольцевые разломы структур Кванза (3), Кунене (6) и Кванго (7)* – бордовые линии [9].

По производству алмазов Ангола занимает третье место среди африканских стран после ЮАР и Ботсваны. Алмазная промышленность страны начала быстро развиваться в 2002 г.

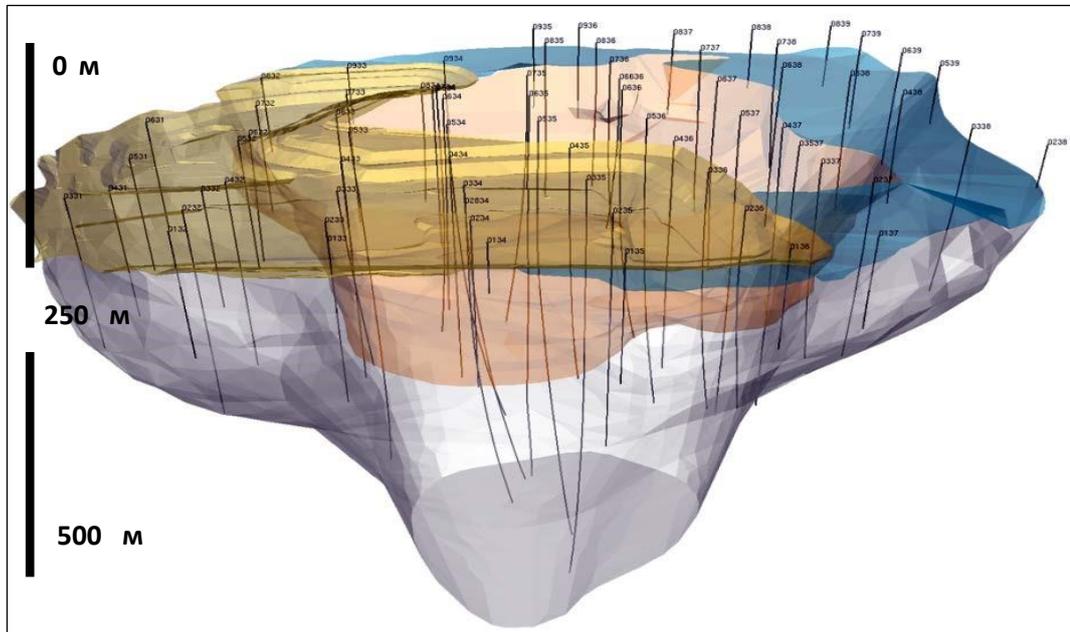


Рисунок 1.4. 3-D модель кимберлитовой трубки Катока по данным до глубины 500 м. Чёрные линии – геологоразведочные скважины

Анализ горно-геологических условий залегания коренных и россыпных месторождений Республики Ангола показывает, что большинство из них перспективны для промышленного освоения открытым способом разработки. Предварительные исследования показали, что наиболее перспективными являются кимберлитовые трубки «Камафука», «Катока», «Кекеле», «Камитонгу-1», «Камитонгу-2», «Камутуэ», «Камачия».

Успешное освоение трубки «Катока» и других кимберлитовых месторождений определяет экономическое благосостояние республики Ангола. В результате проведенных геологических исследований ресурсы трубки «Катока» до глубины 600 м оценены в 189 млн кар алмазов общей стоимостью около 11 млрд дол.

По производству алмазов Ангола занимает третье место среди африканских стран, в которых производится их добыча. Кимберлитовая трубка «Катока» является одним из крупнейших коренных месторождений

мира наиболее перспективной для промышленного освоения наряду с кимберлитовыми месторождениями «Камафука», «Кекеле», «Камитонгу-1», «Камитонгу-2», «Камутуэ», «Камачия».

1.2. Анализ технической литературы, проектных работ и научных исследований по проблеме открытой разработки алмазоносных месторождений

Разработка кимберлитовых трубок является одним из приоритетных направлений в освоении месторождений полезных ископаемых Анголы. В настоящее время основные объемы добычи производятся открытым способом, где глубина действующих алмазоносных карьеров в среднем достигает 270 м. Максимальная проектная глубина карьеров составляет 600-700 м. В связи с этим практически все кимберлитовые карьеры находятся в стадии реконструкции и рассчитаны на предельную по горнотехническим условиям глубину и производительность по добыче руды. При этом скорость понижения горных работ увеличена с 11,6-15 до 20-24,5 м/год, т. е. более чем в два раза. Продольные уклоны транспортных берм, прежде всего в глубинных частях карьеров, увеличены с 8 до 15-25%. Карьеры отрабатываются поэтапно путем использования промежуточных контуров, количество которых достигает на крупных карьерах 4-5 [10]. При этом одним из перспективных направлений является разработка новых конструкций нерабочих бортов карьеров с учетом технологического или искусственного упрочнения массива горных пород. Это позволит снизить средний коэффициент вскрыши.

В работах [11, 12] отмечено, что штокообразные залежи полезных ископаемых отличаются относительно небольшими размерами карьерного поля по поверхности. Тем не менее, глубина их разработки достигает 500 и более метров. Уменьшение объемов выемки пород вскрыши в этих условиях производится путем увеличения угла откоса нерабочих бортов, что может

быть обеспечено поэтапным развитием горных работ, панельным способом разработки уступов и специальной заоткоской со значительным увеличением их высоты.

Авторами [13] в ходе исследований было установлено, что предельная глубина открытых горных работ для крупных кимберлитовых карьеров может достигать 850 метров. Однако освоение таких глубин открытым способом технически трудно осуществимо, так как требует значительного увеличения имеющихся горно-транспортных мощностей на относительно непродолжительный отрезок времени. В этих условиях целесообразно использование потенциала открытого способа разработки для проведения углубочных работ ниже проектного дна карьера с минимально возможным разнесом его бортов путем использования специальной технологии и горного оборудования.

Как известно, при разработке крутопадающих месторождений открытым способом затраты на добычу с глубиной увеличиваются и требуют повышения затрат на их извлечение и транспортировку. Решение, в этом случае, заключается в поиске комплекса научно-технических решений, обеспечивающих предотвращение или уменьшение негативного влияния роста глубины карьера на технико-экономические показатели разработки.

Кимберлитовая руда представляет собой брекчию, сцементированную серпантин-карбонатной основной массой. Ценность алмазных месторождений определяется как содержанием, так и качеством алмазов. Среди кристаллов выделяются несколько тысяч сортов, отличающихся по крупности, форме, структуре, механическим и другим физическим свойствам, наличием или отсутствием включений примесей и прочее. Крупность кристаллов, как правило, является определяющим фактором ценности. Для каждого месторождения характерно определенное распределение алмазов по крупности. Средняя цена карата в одних месторождениях может быть во много раз выше, чем в других. Однако природное распределение алмазов по ценности месторождения отличается от распределения, получаемого после

добычи и переработки руды. Это объясняется изменением качества кристаллов при добыче и переработке руды.

Совершенствованием технологии добычи с целью сохранения природных качеств кристаллов, а следовательно, их ценностью занимались многие ученые: Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, Ю.И. Анистратов, Е.Г. Баранов, Ж.В. Бунин, А.И. Хонукаев, и др.

Исследования и опыт эксплуатации в основном сводились к совершенствованию буровзрывного способа подготовки кимберлитов к выемке путем использования низкоплотных взрывчатых веществ. Однако содержание технологии взрывной подготовки не позволяет в полной мере исключить взрывное воздействие на кристаллы алмазов в массиве и их повреждение.

На карьере Удачинского ГОКа была опробована технология уменьшения прочности массива предварительным разупрочнением кимберлитов естественными высокоминерализованными водами. Однако, использование щадящих взрывчатых веществ и ослабление прочности кимберлитов минерализованными водами имеют ограниченные области применения.

Перспективной является разработка кимберлитов без взрывных работ одноковшовыми гидравлическими экскаваторами с повышенными усилиями резания.

В настоящее время при проведении подземных горных выработок на транспортном и промышленном строительстве используют комбайны с фрезерными рабочими органами для механического разрушения горных пород.

Одной из машин этого класса является комбайн с горизонтальной фрезой для послойного разрушения, обеспечивающий одновременную выемку и погрузку плотных и полускальных горных пород.

Опыт использования таких комбайнов на карьерах строительных материалов для производства щебня за рубежом и на отечественных карьерах

позволяет предположить, что в природных условиях Якутских месторождений можно успешно их использовать для разработки кимберлита по безвзрывной непрерывной технологии.

Для создания безвзрывной технологии разработки кимберлита комбайнами с послойным фрезерованием, позволяющим исключить взрывное нарушение кристаллов необходимо было решить следующие задачи:

- анализ существующего и перспективного оборудования непрерывного действия для безвзрывной технологии;
- установление зависимостей параметров работы фрезерных комбайнов от свойств массива кимберлита и природных условий месторождений;
- экспериментальные исследования процесса разрушения кимберлита, экскавации и погрузки в средства транспорта фрезерными комбайнами;
- определение рациональных параметров технологии разработки кимберлитов при послойном фрезеровании для условий Ангольских месторождений;
- определение эффективности безвзрывной технологии разработки кимберлита на карьере трубки «Катока» послойным фрезерованием.

### 1.3 Анализ существующего и перспективного оборудования непрерывного действия для безвзрывной технологии выемки кимберлитов

Область разработки месторождений открытым способом в последнее десятилетие характеризуется ускорением разработок и внедрением за рубежом новых поколений оборудования, поиском эффективной техники и технологии с целью снижения затрат на добычу полезных ископаемых и улучшения экологической обстановки на карьерах,

При разработке крепких горных пород совершенствование техники и технологии происходит в направлении прямой экскавации горных пород из массива путем резания или разрушения массива по естественной трещиноватости.

Исследования последних лет доказывают ошибочность мнения о бесперспективности механического способа разрушения ввиду высокого абразивного износа рабочего инструмента, большой энергоемкости процесса и необходимости опережающего увеличения энергосиловых и массогабаритных параметров горной техники. Использование новых конструктивных материалов и методов упрочнения рабочих поверхностей механизмов и инструментов горных машин, применение гидропривода в силовых установках и использование физико-механических способов воздействия на горный массив открывает новые перспективы создания и освоения в практике открытых горных работ мощных выемочно-погрузочных машин, использующих принципы механического воздействия на разрабатываемый горный массив.

В конце 70-х начале 80-х годов за рубежом заметно возрос интерес к оборудованию, позволяющему обеспечить высокую производительность и поточность, базирующемуся на безвзрывном разрушении массива пород и принципах комбайновой добычи, обеспечивающей технологические процессы отделения от массива дробления и погрузки горной массы. В результате проведения исследовательских и опытно-конструкторских работ рядом машиностроительных фирм США, Германии, Австрии и Англии разработаны и созданы фрезерные и шарошечные комбайны различных типов для подземных и открытых горных работ.

В настоящее время используются свыше 2000 стреловых комбайнов с помощью которых проходят ежегодно более тысячи км подземных выработок. В породах с коэффициентом крепости 12-14 ед. по шкале М.М. Протодяконова скорость проходки выработок диаметром 2-6 м стреловыми комбайнами в 2 раза выше, чем при буровзрывном способе, а расходы на 13 % ниже.

Буровые комбайны роторного типа для проходки подземных выработок на полное сечение применяются в породах прочностью до 280 МПа. Средняя скорость проходки составляет 10-15 м/сутки при диаметре выработок до 8-12

м. Мощность комбайнов достигает 500-600 кВт. Ориентировочный срок эксплуатации комбайнов – около 10 лет, а средняя величина проходки за время его полной амортизации порядка 10 км выработок.

Производительность мощного комбайна может быть оценена примерно в 300-500 т/ч, что дает основание считать комбайновую технологию приемлемой по производительности для открытых работ при их количестве в 10-20 единиц на крупных карьерах с годовой мощностью по горной массе 15-30 млн. м<sup>3</sup>.

Учитывая возможности увеличения производительности вследствие роста единичной мощности, безвзрывная комбайновая технология на открытых горных работах может рассматриваться как перспективная для пород не только средней, но и высокой крепости, а также как реальная альтернатива технологии со взрывным дроблением массива горных пород.

Первые машины для поточной выемки относительно крепких пород появились в США в пятидесятые годы. Вначале это был отвальный плуг, а несколько позже многоковшовый экскаватор. В 70-х годах Горное Бюро США осуществило программу исследований и конструктивных разработок оборудования, целью которой являлось обеспечение поточной технологии добычи полезных ископаемых открытым способом. На основе опыта разработки и применения шахтных добычных и проходческих комбайнов, а также оборудования для дорожного и аэродромного строительства был разработан ряд образцов комбайнов непрерывного действия послыного фрезерования для карьеров, получивших название Continuous Surface Miner (CSM) и многослойного фрезерования (стреловые комбайны).

Первые комбайны CSM появились на рынке в начале 80-х годов. Несколько позже были созданы добычные комбайны с роторным рабочим органом ковшового типа (серии Satterwhite whell) и струговым рабочим органом.

Добычные комбайны для открытых работ помимо обеспечения высокой мобильности и селективности обработки забоев позволяют достичь высокого

уровня поточности горного производства в сочетании с автоматизацией добычных, погрузочных и транспортных операций при возможности использования дистанционного управления. Комбайновая технология формирует целый комплекс предпосылок для обеспечения экологической чистоты технологических процессов и повышения экономической эффективности открытых горных работ.

Одной из самых актуальных задач открытой разработки является внедрение безвзрывных технологий выемки скальных горных пород, которые позволяют не только снизить расходы взрывчатых веществ, повысить безопасность в процессе их использования, транспортировки и хранения, но и решить ряд проблем, связанных с обеспечением качества полезного ископаемого, разработкой комплексных месторождений, а также с загрязнением окружающей среды [14, 15, 16].

Необходимость снижения неблагоприятного воздействия на окружающую среду таких факторов как ударные волны, шум, пыль или разлет кусков взорванных пород, а также повышение безопасности производства и производительности труда, контроля фракционного состава взорванных пород являются решающими факторами в пользу альтернативных методов способов разработки скальных пород [17, 18, 19].

Кроме того, стандартное выемочное оборудование для производства открытых горных работ не обеспечивает эффективную селективную разработку сложноструктурных залежей минерального сырья, что приводит к его потерям и засорению в процессе выемки, увеличению масштабов производства работ и, как следствие, увеличению площадей нарушенных земель.

С помощью карьерных комбайнов можно внедрить поточную технологию отработки месторождения с различной структурой и крепостью слагающих пород. Комбайновая выемка, в отличие от способа с применением буровзрывных работ, совмещает в одном процессе отбойку, дробление и погрузку пород. Наряду с экономическими преимуществами, этот способ

обеспечивает разработку пород и необходимый для поточной технологии фракционный состав горной массы за счет более эффективного использования кливажа и создаваемых комбайнами при отработке слоев обнажений, высотой, равной мощности фрезеруемого слоя, образующихся при параллельных проходах комбайна в процессе разработки массива [20].

Отпадает необходимость ведения буровзрывных работ, а вместе с ними - доставки ВМ, строительства базисного и расходного складов ВВ, применения ВВ с соответствующими негативными последствиями выброса в атмосферу вредных газообразных продуктов взрыва и потерь природных качеств алмазных кристаллов, использование буровых станков, исключаются простои оборудования, его нерациональное перемещение при массовых взрывах и т.д. Появляется возможность качественного и полного извлечения полезного ископаемого, исключения влияния взрывных работ на устойчивость уступов и бортов карьеров, что обеспечивает возможность их отстройки под более крутыми углами с уменьшенным объемом вскрышных пород, снижение текущего коэффициента вскрыши в связи с сокращением ширины рабочих площадок ввиду отсутствия развала горной массы, сокращение срока и объема горнокапитальных и подготовительных работ. Повышается безопасность ведения работ.

Для уменьшения влияния технологии производства горных работ на качественные показатели минерального сырья целый ряд фирм ведут интенсивные работы по созданию нового высокопроизводительного оборудования непрерывного действия для открытых разработок.

Наиболее известны следующие типы подобных машин:

- фирма Wirtgen – карьерные комбайны серии SM;
- фирма Huron Manufacturing – карьерный комбайн Easy-Miner;
- фирма Krupp – экскавационная машина КЗМ;
- фирма Alpine Westfalia – карьерные комбайны серии Vasm;
- фирма Eickhoff – комбайн ET -450-Q;

- фирма Rahco – комбайн CME;
- фирма McNally – комбайн WL-50;
- фирма CMI – комбайны серии TR и PR;
- фирма Unit Rig – комбайн Unimatic.

Технология производства открытых горных работ с использованием машин нового технического уровня в наибольшей мере удовлетворяет требованиям ресурсосбережения, обеспечивает минимизацию экологических нарушений, полноту выемки и высокое качество извлечения минерального сырья в зонах, где запрещено производство взрывных работ [21, 22 9, 13].

Одним из важнейших преимуществ машин класса CSM является их возможность обрабатывать породы в широком диапазоне крепости от 50 до 100 МПа, что позволяет при разработке угля, гипса, кимберлитов и карбонатных пород отказаться от использования буровзрывных работ. Экономическая эффективность использования этих машин прямо зависит от общей производительности комплекса.

Согласно анализу зарубежных источников, обработка кимберлитовых участков на зарубежных карьерах достаточно консервативна – с помощью взрывного дробления, в отдельных случаях – механическими рыхлителями. Таким образом, идею использования фрезерных комбайнов при добыче алмазного сырья открытым способом следует считать одним из приоритетных направлений. Основываясь на положительных результатах опытно-промышленных испытаний проходческого комбайна ГПКС при разработке кимберлитовых зон восточного рудного тела трубки «Сытыканская» Айхальская ГОКа (Россия), показавших, что по сравнению с БВР методом резания удастся избежать снижения качества алмазных кристаллов на 15-20%, т.е. следует ожидать большого экономического эффекта от внедрения фрезерных комбайнов на алмазных карьерах.

## Выводы

1. Установлено, что алмазная горнодобывающая промышленность занимает доминирующее место в промышленном производстве Анголы, где сосредоточено одно из наибольших скоплений коренных и россыпных месторождений алмазов.

2. Проанализированы литературные источники, которые указывают на приоритетность разработки кимберлитовых трубок Анголы. В настоящее время основные объемы добычи производятся открытым способом, где глубина действующих алмазоносных карьеров в среднем достигает 270 м. Максимальная проектная глубина карьеров составляет 600-700 м. В связи с этим практически все кимберлитовые карьеры находятся в стадии реконструкции и рассчитаны на предельную по горнотехническим условиям глубину и производительность по добыче руды

3. В ходе теоретических исследований установлено, что при разработке крепких горных пород совершенствование техники и технологии происходит в направлении прямой экскавации горных пород из массива путем резания или разрушения массива по естественной трещиноватости. В связи с этим произведен анализ существующего и перспективного оборудования непрерывного действия для безвзрывной технологии выемки кимберлитов.

## 2. ОБОСНОВАНИЕ БЕЗВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

### 2.1. Анализ способов разрушения крепких пород на открытых горных работах

Добычные комбайны послойного фрезерования типа CSM с центральным креплением рабочего органа обеспечивают большую стабильность работы и расширяет область применения машин по крепости пород. Аналогом этих комбайнов явились так называемые дорожные машины для строительства дорожного полотна и взлетно-посадочных полос аэродромов. Комбайны типа CSM (Continuous Surface Miner) представляют собой компактный мобильный агрегат с небольшой глубиной фрезерования, реализующий технологические процессы механического отделения породы от массива методом резания, дробления и погрузки горной массы. Рабочий орган включает в себя шнековый барабан, оснащенный штыревыми резцами, расположенными по винтовой линии и армированными вставками из кобальто-вольфрамового твердого сплава. Кроме рабочего органа компоновка узлов комбайна обязательно включает гусеничные шасси, опорную раму, привод, кабину, перегружатель, разгрузочный конвейер, электро- и гидросистему.

При работе комбайна типа CSM забоем является поверхность площадки уступа. В отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, которые при выемке блоков работают почти стационарно, комбайн послойного фрезерования представляет собой мобильное устройство для отработки поверхности массива горных пород с относительно высокой скоростью перемещения. Разработка пород этими машинами может осуществляться на любых месторождениях с относительно большой площадью. Если площадь отработки небольшая, то из-за потерь времени на развороты и подачу машины к следующей заходке ее производительность уменьшается. При направлении резания вверх по слою усилие, противодействуя фрезерному валику,

направлено вниз, в результате чего резцы прижимаются к разрабатываемой породе. Это обеспечивает хорошую отбойку, но с образованием большого количества мелочи. В мягких породах фреза может действовать сверху вниз, но производительность при этом снижается. Усилия противодействия в данном случае направлены вверх, значит комбайн должен обладать массой, необходимой для внедрения в породу.

В случае применения фрезерных комбайнов типа CSM для добычи кимберлитовой руды на карьерах коренных месторождений алмазов, ввиду требований технологии рудоподготовки кимберлитовой массы в бесшаровых мельницах в режиме самоизмельчения к фракционному составу кимберлитовой руды, предъявляются особые требования, т.к. фрезерование обеспечивает малую крупность продукта разрушения - выход фракции кусков размером 200-300 мм составляет 5-8 %.

В качестве транспортных средств с комбайнами типа CSM наиболее часто применяются автосамосвалы, углевозы, но возможны их сочетания с конвейерным транспортом через подвижные бункеры или межступенные перегружатели, а также технология отгрузки породы в штабели для последующей ее погрузки экскаваторами или колесными погрузчиками в транспортные средства.

Использование машин CSM позволяет формировать на карьерах гибкие (интегрированные) технологии, предполагающие отработку относительно мощных (компактных) зон полезного ископаемого с применением традиционной технологии, а сложноструктурные зоны – с помощью машин для слоевой выемки. При этом на разрабатываемых машинами CSM залежах с последовательной селекцией пропластков предполагается извлечение не только основного полезного ископаемого, но и попутного полезного ископаемого, имеющего хозяйственное значение.

Ожидаемая эффективность от применения гибких технологий на карьерах будет заключаться в следующем:

- в резком уменьшении засоренности полезного ископаемого;

- в снижении обогащения (в 1,5-3 раза);
- в исключении буровзрывных работ;
- в отсутствии необходимости дробления полезного ископаемого;
- в снижении затрат на транспортировку и добычу;
- в обеспечении возможности добычи попутных полезных ископаемых;
- в повышении качества формирования бортов карьеров в конечном положении.

Применение машин CSM предполагает послойную выемку природного массива с использованием забоев-площадок. При фрезеровании машины перемещаются по фронту со значительной скоростью (от 5 до 15 м/мин). Технология открытых горных работ, основанная на их применении, имеет следующие недостатки:

- необходимость использования дизельных энергетических установок и гидропривода для обеспечения автономности перемещения машин, что снижает ресурс последних и вызывает высокие эксплуатационные расходы;
- необходимость создания фронта горных работ значительной (1,5-2 км) протяженности для уменьшения потерь времени на врезку машин в торцах вынимаемых полос;
- необходимость применения автотранспорта в технологических схемах.

В связи с перечисленными недостатками машин CSM некоторые фирмы создали стреловые комбайны, обеспечивающие традиционную (уступную) технологию ведения открытых горных работ при безвзрывной селективной выемке.

Создан ряд роторных экскаваторов для разработки непрочных скальных пород. Используя принцип режущего ротора, фирма «Крупп» выпустила машины КСМ с фронтальным расположением четырех роторных колес, которые при анализе способов разрушения пород оценке подлежат не только экономические показатели и экологическая безопасность, но и селективность

разработки; возможность работать на уклонах, отстраивать наклонные съезды, следуя гипсометрии пласта; гранулометрический состав горной массы (наличие не только крупных, негабаритных кусков породы, но и мелких частиц, часто относимых к потерям), в отдельных случаях форма осколков породы.

В настоящее время скальные породы различной крепости разрабатываются роторными экскаваторами специального исполнения, мощными одноковшовыми экскаваторами с гидроприводом, в том числе с активными зубьями, мехлопатами, горными комбайнами. Некоторые из перечисленных видов оборудования способны только разрыхлять породу, другие выполняют несколько процессов. Экскаваторы - рыхление, выемку и погрузку, а комбайны, измельчают породу до размера – 300 мм, а часто и мельче, практически заменяют 1-2 стадии дробления. разрабатывают породы прочностью 20-30 МПа, а в отдельных случаях 70 МПа, высота разрабатываемого уступа 3 м (табл. 2.1).

Таблица 2.1

## Техническая характеристика машин КСМ

<i>Наименование параметров</i>	<i>Модификация машины</i>	
	<i>КСМ-2000</i>	<i>КСМ-4000</i>
Техническая производительность, т/ч	1750	3500
Диаметр роторного колеса, м	3,55	3,66
Максимальная ширина заходки, м	5,6	7,16
Число оборотов рабочего колеса, об/мин	10	9,5
Мощность привода ротора, кВт	360	720
Ширина конвейерной ленты, м:		
поперечный конвейер	1,0	1,4
главный конвейер	1,4	1,8
Скорость движения ленты, м/с	3,5	3,8
Рабочая масса, т	190	380

Сфера применения методов добычи, основанных на принципе черпания, ограничивается рыхлыми породами, а также более крепкими породами с сильно выраженной трещиноватостью. Фактором, предполагающим применение отрывных или ударных методов, также является наличие высокой плотности плоскостей раздела при значительной глубине воздействия.

Заметное развитие во всем мире приобретает идея эксплуатации на

карьерях малогабаритных машин - горных комбайнов. Изготовлены специально для открытых горных работ или переделанные из проходческих комбайнов машины различных конструкций: с режущими дисками, колесами и цепями, одной или двумя вращающимися фрезами. Ряд моделей предназначен для разработки торцевого забоя. Рабочий орган таких машин устанавливается на штангах. Однако на открытых горных работах наибольшее распространение получили машины, забоем которых служит площадка уступа. Они имеют более низкие показатели по метало- и энергоемкости. Рабочий орган этих комбайнов – фреза цилиндрической формы, на поверхности которой по винтовой линии размещены резцы. Такие комбайны способны разрабатывать природный массив слоями от 1 до 60 см с одновременным дроблением и погрузкой полезного ископаемого, это позволяет не только обеспечить поточность выемки, погрузки и дробления, но и улучшить качество добываемого полезного ископаемого за счет снижения засорения.

Высокопроизводительные комбайны для открытых горных работ предлагаются фирмой «Wirtgen». Специально для горной промышленности созданы модели 1900 SM, 2100 SM, 2600 SM, 3000SM и последняя 4200SM (цифры обозначают ширину барабана в мм). Четыре первые модели имеют два задних гусеничных тракта и один передний, модель 4200 SM – по паре гусеничных трактов спереди и сзади. Между передними и задними гусеницами расположен горизонтально режущий орган, представляющий собой фрезу, армированную твердосплавными зубцами (рис. 2.1). Когда машина продвигается вперед и обрабатывает слой на определенную глубину, дробленное полезное ископаемое направляется по спирали барабана режущего органа на боковой конвейер, оттуда на погрузочный конвейер, расположенный в хвостовой части машины. Техническая характеристика фрезерных комбайнов фирмы «Wirtgen» приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Техническая характеристика комбайнов для  
открытых работ фирмы «Wirtgen»

Тип	Ширина заходки, мм	Глубина фрезерования, мм	Мощность привода, кВт	Рабочая масса, т	Преодолеваемый уклон, град	Максимальный поперечный уклон, град	Производительность, м <sup>3</sup> /ч
2200 SM	2200	0 - 300	708	52,6	20	8	750
2600 SM	2600	0 - 650	783	111,6	20	8	1200
4200 SM	4200	0 - 830	1194	191	20	8	2300

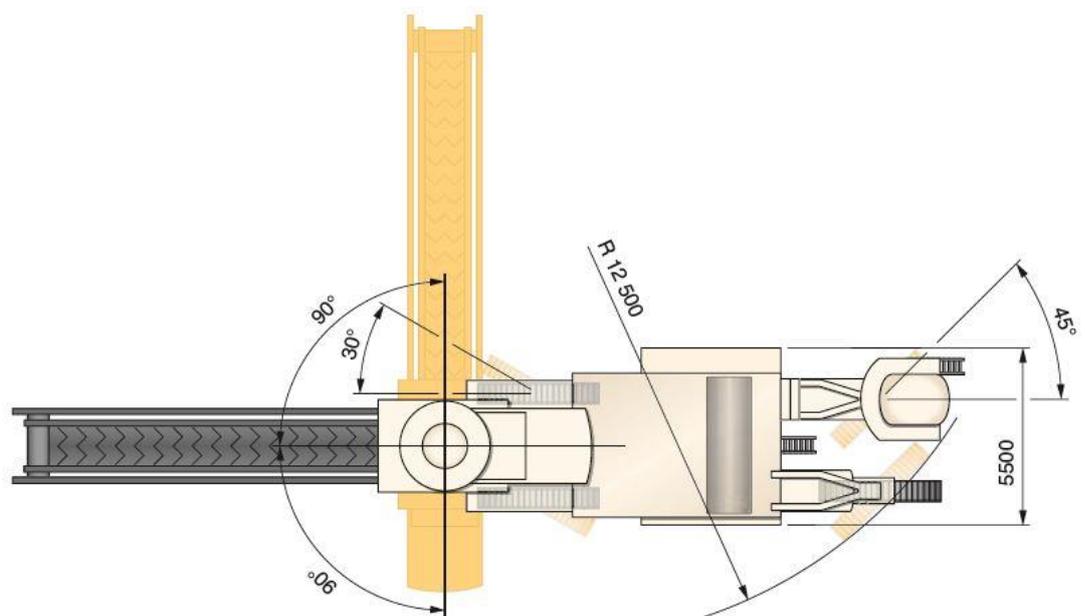
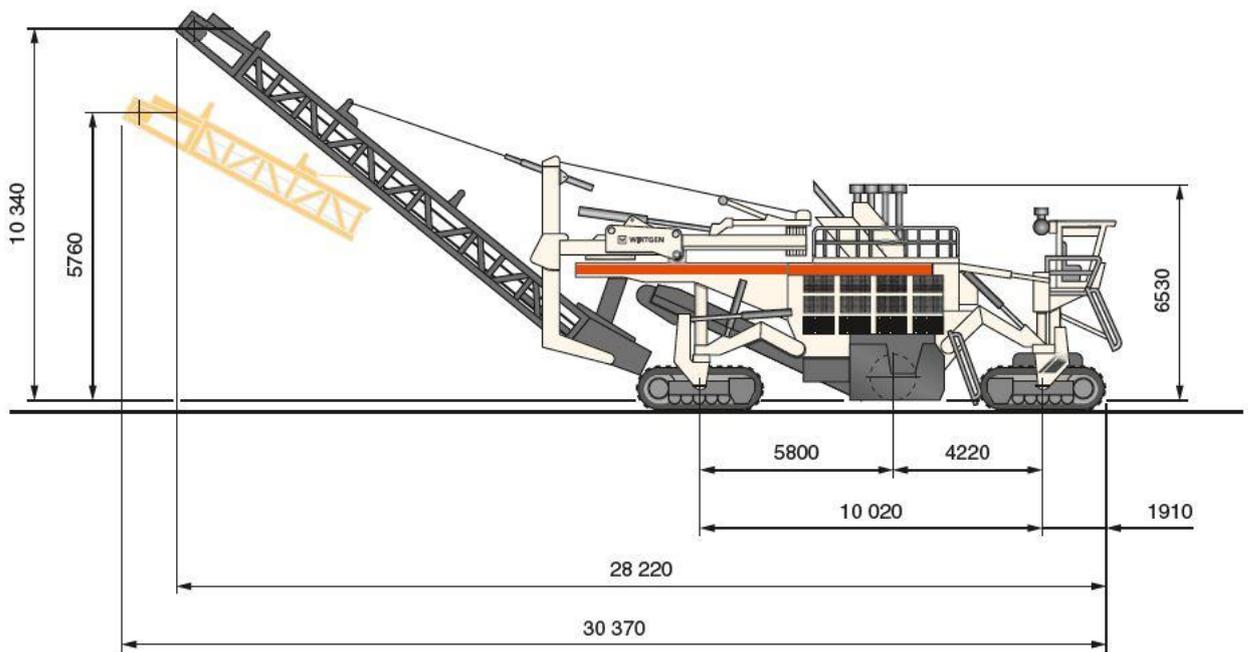


Рис. 2.1 Конструктивно-компоновочная схема машины фирмы «Wirtgen» 4200 SM

Использование машин послойного фрезерования дает возможность внедрения оригинальных технологических схем селективной отработки.

В настоящее время фрезерные машины фирмы «Wirtgen» используются для отработки угольных пластов, известняка, гипса, кимберлитов и других полезных ископаемых.

Чтобы оценить эффективность применения разных комплексов оборудования, выпускаемого в различных странах, предлагаются результаты расчетов по основным ценообразующим показателям (тал. 2.5) [20].

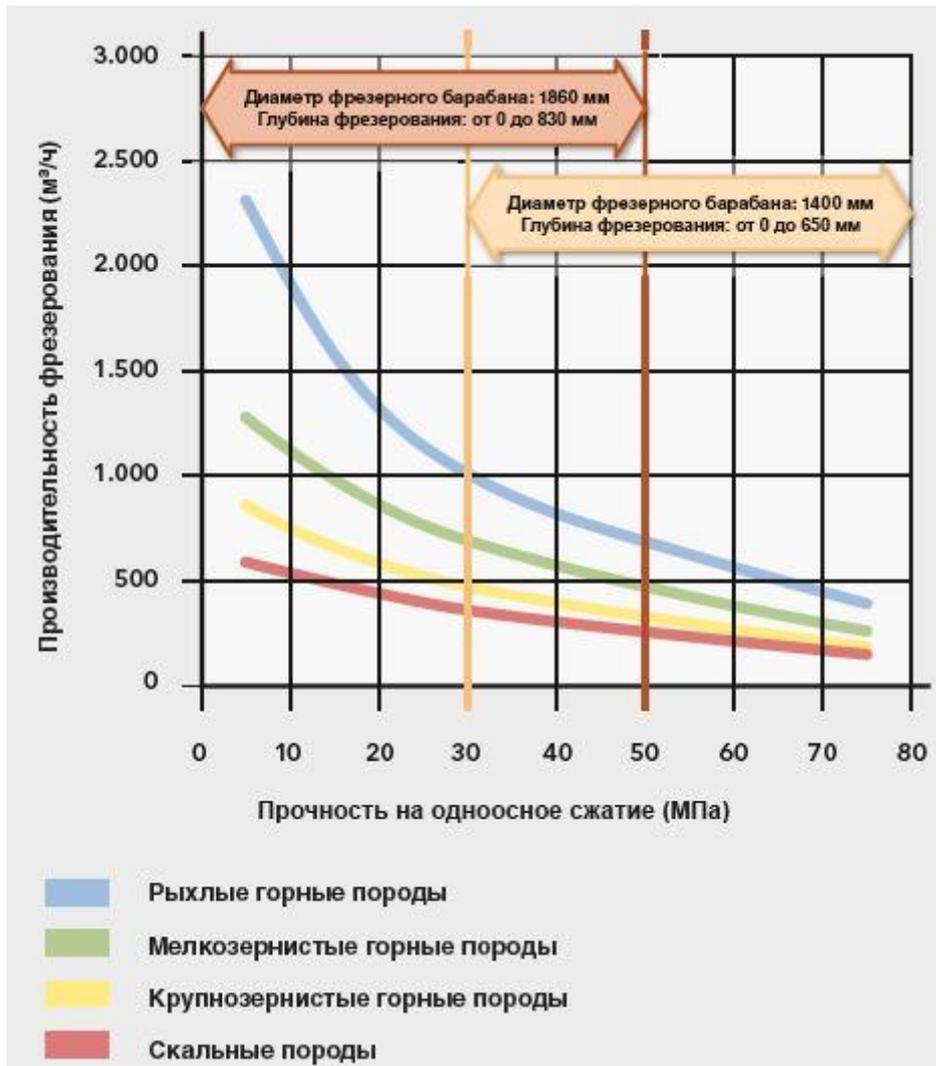


Рис. 2.2. Производительность фрезерования машины «Wirtgen» 4200 SM

Каждый способ разрушения имеет рациональную область использования. Она определяется характеристикой пород (прочность на сжатие и растяжение, блочность, абразивность) и требованиями к сохранности природной структуры массива для обеспечения качества добываемого полезного ископаемого. По сравнению с взрывным способом к достоинствам механических обычно относят большую безопасность и экологичность. При послойной выемке в благоприятных условиях, т.е. при разработке пластообразных залежей, сложенных разнотипными непрочными породами механические способы рыхления имеют преимущества перед взрывными [23].

При сравнении нескольких вариантов подготовки полезного ископаемого к выемке надо иметь в виду, что каждый способ имеет технологические особенности. Если рассматривать применение мехлопат с активными зубьями или роторных экскаваторов с высоким усилием черпания, то это не вносит изменения в технологию ведения горных работ. Исключение же взрывоподготовки накладывает ограничение на высоту уступа - не более высоты черпания, но позволяет уменьшить ширину рабочей площадки, а следовательно угол откоса рабочего борта карьера [24, 25], Использование рыхлителей, гидромолотов, комбайнов предполагает выемку тонких слоев (от нескольких метров до нескольких сантиметров), что ведет к увеличению ширины рабочей зоны и уменьшению угла откоса рабочего борта карьера.

Таблица 2.3

## Техническая характеристика оборудования

Оборудование	Производительность, т/ч	Масса, т	Мощность двигателей, кВт	Удельные показатели	
				Металлоемк ость	Энергоемк ость
Роторный экскаватор Krupp	1750	190	925	0,12	0,53
Комбайн Easy-Miner	1633	108	895	0,1	0,55
Комбайн Wirtgen	390	31	559	0,08	0,2

В настоящее время в горной промышленности существенно ограничены

инвестиции, поэтому одной из важнейших задач является совершенствование технологии, в которой используется оборудование с уменьшенными линейными размерами. Такое оборудование (табл. 2.3) имеет меньшие удельные металло- и энергоёмкость, а следовательно, оно значительно дешевле.

Таким образом, современные технологии разработки скальных пород на карьерах в основном базируются на применении буровзрывных работ. Механические способы разрушения используются в ограниченном объеме, преимущественно при разработке осадочных пород. Различными компаниями предложено значительное количество машин, которые способны разрушать скальные породы. Многие из этих машин способны выполнять несколько технологических процессов. Наиболее надежным и экономичным является комбайн, у которого рабочий орган жестко прикреплен к корпусу.

## 2.2. Условия эффективного применения машин послойного фрезерования при разработке кимберлитов

При конструировании и разработке новой техники и технологии открытых горных работ приоритетное значение придается решению проблем ресурсосбережения, полноты и качества выемки полезного ископаемого, снижению затрат, росту производительности труда и исключению из технологического цикла производства горных работ процессов, оказывающих негативное влияние на состояние окружающей среды, снижению рисков производственного травматизма [18, 26].

Решение этих проблем в значительной степени могут обеспечить послойно-полосовые безвзрывные технологии отработки массивов горных пород с возможностью использования конвейерного транспорта и селективной выемки полезного ископаемого [23, 27]

Техническое обеспечение таких технологий представляется возможным за счет использования машин типа «Surface Miner» (SM). Последние десятилетия характеризуются активным поиском оптимальных

конструктивно-компоновочных решений при создании различными машиностроительными фирмами экскавационной техники класса SM. В соответствии с перспективными идеями создан целый класс машин нового типа «Continuous Surface Miner» (CSM) для безвзрывной высокоселективной отработки полезного ископаемого и вскрышных пород. Технология производства открытых горных работ с использованием машин нового технического уровня в наибольшей мере удовлетворяет требованиям ресурсосбережения, обеспечивает минимизацию экологической нагрузки, полноту извлечения и высокое качество минерального сырья.

При проектировании машин CSM используется принцип отбойки горных пород «холодными» фрезами, заимствованный из металлообработки и получивший широкое применение в конструкциях подземных проходческих комбайнов. Рабочие органы машин осуществляют отбойку полезного ископаемого посредством резцов различных конструкций [28, 29].

Согласно расчетам, применение машин CSM на карьерах позволит:

- улучшить потребительские качества полезного ископаемого за счет регулирования гранулометрического состава отбиваемого материала;
- резко уменьшить засоренность полезного ископаемого и, как следствие, снизить (в 1,5-2,5 раза) объемы вторичных переделов;
- исключить комплекс буровых и взрывных работ;
- сохранить качество и природные характеристики минерального сырья;
- снизить затраты на транспортирование и добычу;
- обеспечить возможности извлечения попутных полезных ископаемых из вмещающих пород;
- повысить качество формирования стационарных бортов на предельном контуре.

В зависимости от конструкции и способа работы машины CSM можно подразделить на следующие типы: шнеково-фрезерные машины; машины с

роторными колесами, расположенными спереди или сзади машины; стреловые фрезерные комбайны; фронтальные роторные агрегаты.

При работе комбайна типа CSM забоем является поверхность площадки уступа. В отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, которые при выемке блоков работают почти стационарно, комбайн послойного фрезерования представляет собой мобильное устройство для отработки поверхности массива горных пород с относительно высокой скоростью перемещения.

Таблица 2.4

Систематизация выемочно-погрузочных комбайнов непрерывного действия (действующие модели)

Конструктивное исполнение комбайна	Расположение рабочей) органа	Тип рабочего оборудования	Вид стружек
<i>Комбайн с фрезерным рабочим органом</i>	центральное с жестким креплением	барабан с резцами	однослойные стружки
	впереди машины с жестким креплением	барабан с режущими кромками	однослойные стружки
<i>Комбайн со струговым рабочим органом</i>	сбоку вертикально или в центре горизонтально	струг с резцами	однослойные стружки
<i>Комбайн с роторным рабочим органом</i>	впереди машины	ковшовый	однослойные стружки
<i>Стреловый комбайн с фрезерным рабочим органом</i>	на одной стреле	две продольные режущие головки	многослойные стружки
	на двух стрелах	по одной поперечной режущей головке	то же
	на гидроцилиндре	барабан с резцами	то же
	на гидроцилиндре	барабан с резцами	то же

Разработка пород этими машинами может осуществляться на любых месторождениях с относительно большой площадью. Если площадь отработки небольшая, то из-за потерь времени на развороты и подачу машины к следующей заходке ее производительность уменьшается. При направлении резания вверх по слою усилие, противодействуя фрезерному валику, направлено вниз, в результате чего резцы прижимаются к разрабатываемой породе. Это обеспечивает хорошую отбойку, но с образованием большого

количества мелочи. В мягких породах фреза может действовать сверху вниз, но производительность при этом снижается. Усилия противодействия в данном случае направлены вверх, значит комбайн должен обладать массой, необходимой для внедрения в породу.

В случае применения фрезерных комбайнов типа CSM для добычи кимберлитовой руды на карьерах коренных месторождений алмазов, ввиду требований технологии рудоподготовки кимберлитовой массы в бесшаровых мельницах в режиме самоизмельчения к фракционному составу кимберлитовой руды, предъявляются особые требования, т.к. фрезерование обеспечивает малую крупность продукта разрушения выход фракции кусков размером 200-300 мм составляет 5-8%.

В качестве транспортных средств с комбайнами типа CSM наиболее часто применяются автосамосвалы, углевозы, но возможны их сочетания с конвейерным транспортом через подвижные бункеры или межступенные перегружатели, а также технология отгрузки породы в штабели для последующей ее погрузки экскаваторами или колесными погрузчиками в транспортные средства.

На горных работах наибольшее распространение получили машины, забоем которых служит площадка уступа. Они имеют более низкие показатели по металло- и энергоемкости. Комбайны такой конструкции фирмы «Wirtgen» могут разрабатывать породы прочностью до 150 МПа, включая абразивные пески. Однако, известны случаи применения комбайнов при отработке отдельных слоев пород прочностью около 200 МПа. Производительность таких машин в расчетных условиях эксплуатации составляет от 200 до 1250 м<sup>3</sup>/час интенсивно снижается по мере увеличения прочностных характеристик горного массива [17].

### 2.3 Исследование зависимостей параметров фрезерных комбайнов от свойств массива и природных условий месторождения

Исследования проводились в сравнении с традиционными буровзрывными технологиями в аналогичных условиях с целью определения области применения фрезерных комбайнов для разработки крепких горных пород. Установлена зависимость производительности комбайна от глубины фрезерования, длины рабочего блока, рабочей скорости комбайна и рабочей массы самой машины. Данные испытаний фрезерного комбайна Wirtgen 2600SM при добыче прочных вязких гипсов показали, что его производительность существенно снижается при повышении прочности породы (рис. 2.3) и глубине фрезерования (рис. 2.4). Независимо от свойств массива производительность комбайна увеличивается при увеличении длины блока фрезерования и рабочей скорости перемещения. Сравнение массы и производительности фрезерных комбайнов, роторных и гидравлических экскаваторов показывает: что рабочий вес фрезерных комбайнов при аналогичной его производительности значительно ниже.

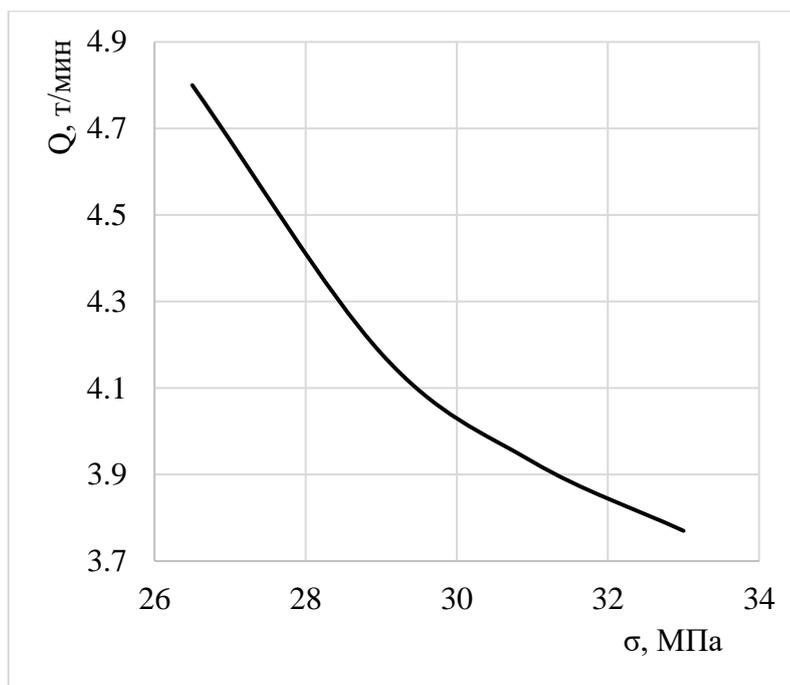


Рис. 2.3. Зависимость производительности комбайна Wirtgen 2600 SM от прочности породы

Результаты исследований показали, что областью применения фрезерных комбайнов при достаточно высокой производительности являются горные породы прочностью от 15 до 80 МПа (рис. 2.5).

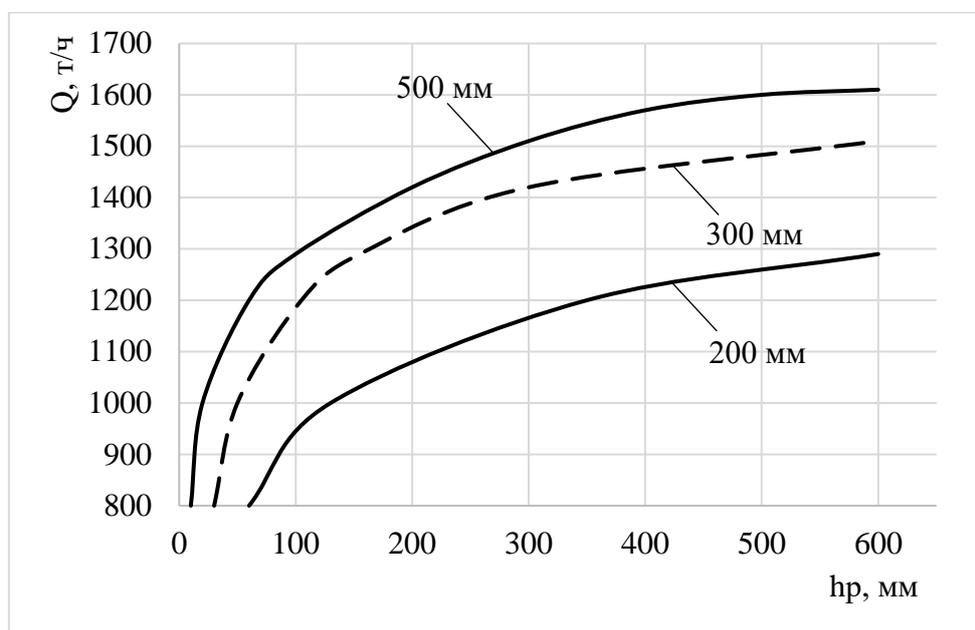


Рис. 2.4. Зависимость производительности  $Q$  фрезерного комбайна от длины блока  $L$  и глубины фрезерования  $h_p$

Анализ производственных расходов на эксплуатацию комбайнов по данным американских исследователей показывает, что наименьшие затраты обеспечиваются при использовании комбайнов в комплексе с конвейерным транспортом.

На опытном блоке карьера Катока проведена горнотехническая часть комплекса опытно-промышленных испытаний комбайна непрерывного действия SM-2600 фирмы Wirtgen.

До начала испытаний комбайном был разработан слой рудной массы мощностью 1,5-2,0 м, представляющий собой часть массива, нарушенного буровзрывными работами на вышележащем горизонте.

В ходе работ производился хронометраж работы комбайна при погрузке в штабели, отсыпаемые на поверхности опытного блока или при сбрасывании рудной массы на поверхность нижележащего уступа.

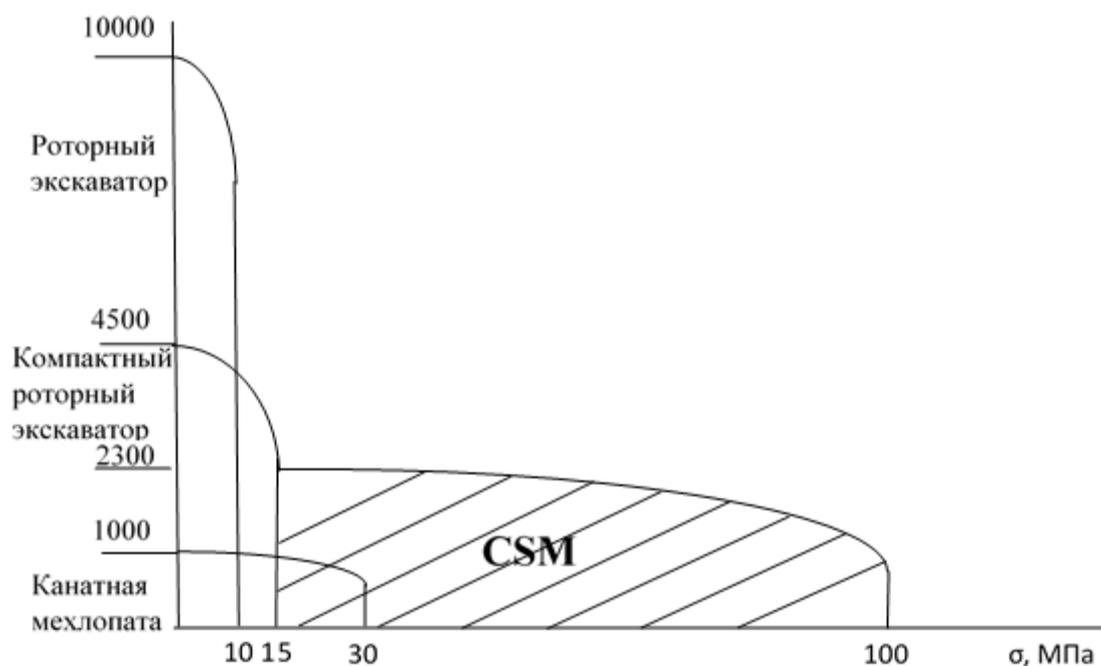


Рис. 2.5 Область применения выемочно-погрузочной техники для карьеров в зависимости от прочности горных пород

Рабочий участок забоя для оценки изменения производительности разбивался на пикеты через каждые 5 м. Для каждого пикета в процессе хронометража фиксировалось время прохождения участка забоя между пикетами и средняя глубина стружки, а также ширина заходки.

Все замеры, произведенные в ходе первых испытаний, сводятся к четырем наиболее характерным случаям.

1. Замеры производились при средней глубине фрезерования от 100 до 130 мм и ширине обрабатываемой заходки 263 см. Производительность по мере отработки изменялась от 210 до 300 м<sup>3</sup>/час, принимая минимальные значения при отработке наиболее крепких пород. Средняя техническая производительность по заходке составила 233 м<sup>3</sup>/час.

2. Замеры производились при средней глубине фрезерования от 190 до 230 мм и ширине обрабатываемой заходки 263 см. Производительность по мере отработки заходки изменялась от 200 до 360 м<sup>3</sup>/час. Средняя техническая производительность по данной заходке составила 258 м<sup>3</sup>/час.

3. Хронометраж производился при постоянной глубине фрезерования –

240 мм и ширине обрабатываемой заходки 263 см. Стабильная глубина фрезерования была достигнута за счет хорошей зачистки поверхности забоя при обработке вышележащего слоя. Максимальные значения текущей производительности в данном случае находятся в пределах 400-450 м<sup>3</sup>/час. минимальные значения – в пределах 240-300 м<sup>3</sup>/час. Средняя производительность составила 336 м<sup>3</sup>/час.

4. Хронометраж производился при средней глубине фрезерования от 200 до 220 мм и ширине обрабатываемой заходки 263 см. Наиболее характерные значения текущей производительности от 180 до 250 м<sup>3</sup>/час. Средняя техническая производительность комбайна по данной заходке составила 217 м<sup>3</sup>/час.

Средняя техническая производительность комбайна по всем замерам составила 275 м<sup>3</sup>/час. При этом обработка рудного массива при максимальных значениях глубины фрезерования (от 230 до 250 мм) позволяет достигать производительности 300-330 м<sup>3</sup>/час, обработка массива при глубине фрезерования от 150 до 200 мм производится при средней производительности 230-260 м<sup>3</sup>/час.

Замеры показали, что глубина резания комбайна SM-2600 при нормальной работе составляет 200-250 мм. Максимальная достигает значения  $h_{pmax}=265$  мм. При глубине заходки  $h_p=270$  мм комбайн останавливается. Для определения влияния глубины резания на производительность комбайна часть заходов обрабатывалась глубиной 100-150 мм. Время обработки участка между пикетами колеблется от 13 до 36 сек, т.е. производительность составила 194-350 м<sup>3</sup>/час.

В результате статистических расчетов установлено, что среднее значение производительности из всей совокупности случайных значений серии замеров  $Q_i$  составляет  $Q_{cp.l}=314,8$  м<sup>3</sup>/час. Размах варьирования случайных значений составляет  $Q_{min}=110$  м<sup>3</sup>/час,  $Q_{max}=820$  м<sup>3</sup>/час.

Анализ изменения производительности по мере подвигания комбайна по забою показывает повышение производительности в зоне 20-25 пикетов,

где отрабатывалась приконтактная зона, характеризующаяся сильно трещиноватой разновидностью кимберлитов прочностью не более 18,0-25,0 МПа.

Корреляционный анализ данных не позволил установить зависимость производительности комбайна от свойств пород, что прежде всего объясняется усреднением значений данных прочности кимберлитов, отсутствием существенной разницы в прочностных характеристиках кимберлитов на рассматриваемом участке забоя.

Установлено, что при нарезке новой серии заходок, то есть при врубе, производительность комбайна существенно зависит от толщины стружки. Так при толщине стружки  $h_3=19-20$  см средняя производительность при заходке составила  $Q_1=98$  м<sup>3</sup>/час, а при  $h_3=9-11$  см.  $Q_2=241$  м<sup>3</sup>/час, то есть на 22% выше. По наблюдениям за работой комбайна это явление объясняется тем, что при работе на максимальной или близкой к ней глубине резания происходит отрыв достаточно больших кусков породы, которые при подаче на загрузочный стол додрабливаются фрезой. В этом случае сравнительно велико сопротивление резанию. В частности, при глубинах резания 25-27 см комбайн резко замедляет рабочий ход и машинисту приходится поднимать фрезу.

Таким образом, в ходе испытаний при отработке заходок с максимальной глубиной фрезерования (230-250 мм) техническая производительность комбайна составляет 300-330 м<sup>3</sup>/час. При глубине фрезерования от 150 до 200 мм техническая производительность составляет 230-260 м<sup>3</sup>/час.

В результате проведенных исследований установлено, что производительность комбайна увеличивается с увеличением глубины фрезерования от 100 мм до 250 мм в среднем на 30%. При врубе в новую заходку производительность комбайна уменьшается на 25% с увеличением глубины вруба от 100 мм до 200 мм.

Анализ результатов выполненных эксплуатационных исследований (в производственных условиях) позволил установить, что максимальная

производительность комбайна достигается при глубине фрезерования 0,6-0,8  $h_{фmax}$ .

Исходя из полученных данных в результате опытно-промышленных испытаний произведен расчет значений эксплуатационной производительности комбайна SM-2600: часовой  $Q_{ч}$ , сменной  $Q_{см}$  и годовой  $Q_{г}$ .

Эксплуатационная производительность комбайна для Ангольских месторождений алмазов рассчитана, исходя из установленной средней технической производительности  $Q_{ср}=315$  м<sup>3</sup>/час. Соответственно для длины забоя  $L_3=150-200$  м сменная эксплуатационная производительность комбайна SM-2600 составляет:

- при погрузке в автотранспорт  $Q_{т}=1700-1800$  м<sup>3</sup>/см;
- при погрузке в штабель  $Q=2100-2200$  м<sup>3</sup>/см.

Расчет произведен при продолжительности смены  $T_{см}=12$  часов принятый режим для карьера трубки Катока.

Часовая эксплуатационная производительность –  $Q_{час}=140-145$  м<sup>3</sup>/час;  
 $Q_{час}=175-180$  м /час соответственно при погрузке в автотранспорт и штабели.

Учитывая, что количество рабочих часов в месяц составляет  $T_{м}=550$  часов, месячная производительность комбайна составит  $Q_{мес}=77000-100000$  м<sup>3</sup>/мес. Годовая производительность комбайна составит год 920000-1200000 м<sup>3</sup>/год.

В ходе отработки блока комбайном SM-2600 формировался ступенчатый откос вышележащего уступа. Данный уступ в ходе дальнейшего развития горных работ на карьере Катока будет обрабатываться по традиционной технологии с применением буровзрывных работ. При небольших значениях откоса ступенчатого уступа (40-45<sup>0</sup>), сформированного комбайном до начала испытаний, возникнет проблема взрывания части массива, расположенной ниже линии пологого ступенчатого откоса. Для устранения этой проблемы необходимо увеличить угол откоса формируемого комбайном ступенчатого уступа. Процесс формирования откоса уступа комбайном фрезерного типа существенно отличается от принятых в настоящее

время на карьерах способов. Поэтому было уделено особое внимание при проведении экспериментальных исследований.

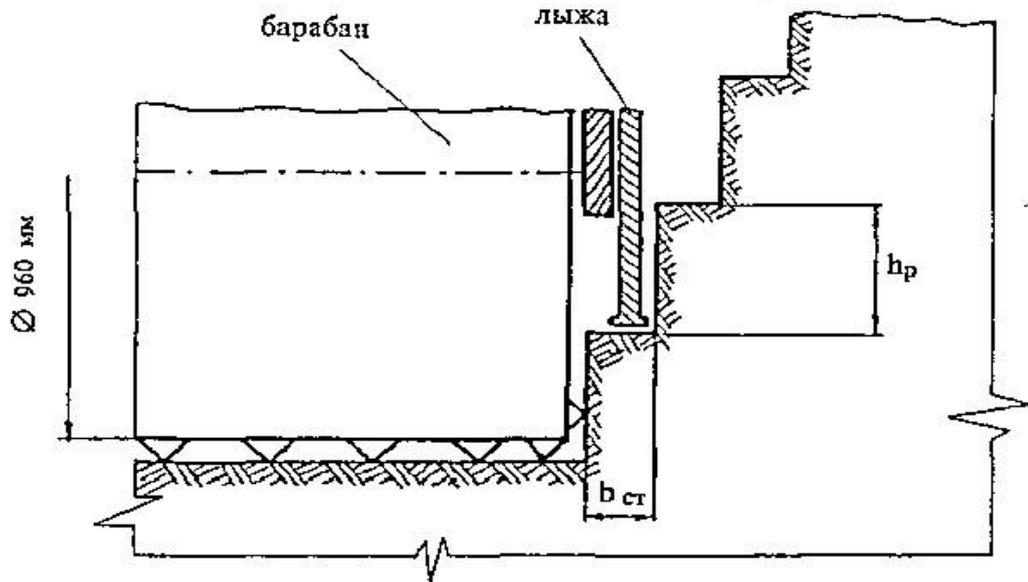


Рис. 2.6. Схема формирования уступа фрезерованием.

Формирование откоса уступа осуществляется комбайном в процессе обработки первых (по отношению к откосу вышележащего уступа) заходок. Откос уступа имеет ступенчатую форму (рис. 2.6). Результирующий угол откоса уступа зависит от глубины резания комбайна и ширины ступеньки между смежными заходками. Глубина резания для данного типа комбайна SM-2600  $h_p=200-250$  мм.

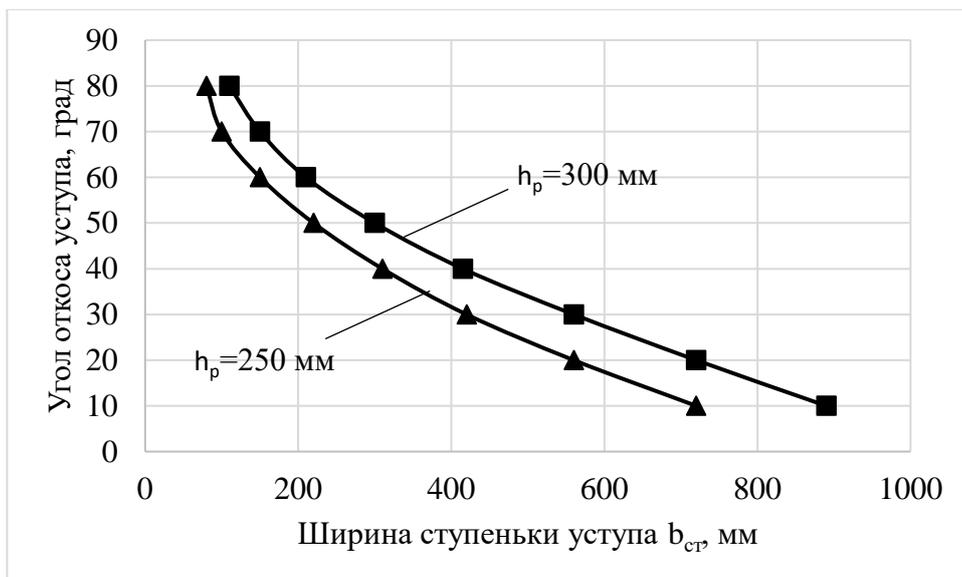


Рис. 2.7. Зависимость угла откоса уступа от ширины ступеньки уступа

Ширина ступеньки  $b_{ст}$  определяется как конструктивными параметрами комбайна, так и мастерством машиниста. Конструктивно зависит от ширины лыжи, предохраняющей рабочий орган, барабан, и расстояния ее до режущей кромки барабана.

При работе с лыжами ширина ступени  $b_{ст}$  составляет не менее 20 см, что ведет к образованию откоса уступа при  $h_p=200-250$  мм близким к  $45^\circ$ . Угол откоса зависит от ширины ступеньки и глубины резания (рис. 2.7, 2.8).

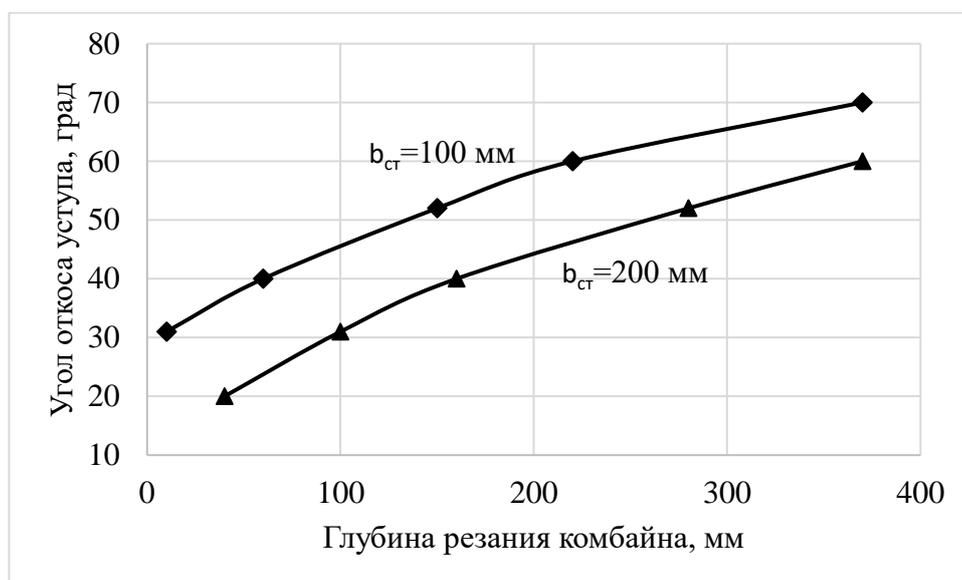


Рис. 2.8. Зависимость угла откоса уступа от глубины резания комбайна (SM-2600)

В соответствии с принятыми параметрами горных работ угол откоса рабочего уступа составляет  $70-75^\circ$ . Уменьшение же угла ведет к увеличению линии наименьшего сопротивления, уменьшению рабочего борта карьера, соответственно (что касается руды) к уменьшению объемов подготовленных запасов и сокращению рабочих площадей для самого комбайна. В случае работы со снятой защитной плитой ширина ступеньки  $b_{ст}$  сокращается до 10-15 см. Тогда угол откоса при максимальной глубине резания для SM-2600 составляет соответственно 60-68% что близко к требуемому. Однако, процедура снятия плиты требует времени, что снижает производительность

комбайна.

Вместе с тем, необходимо заметить, что конструктивные параметры других, более мощных комбайнов фирмы Wirtgen, позволяют формировать более круглые углы за счет большей глубины резания. Так, SM-3000 имеет глубину резания  $h_p=400$  мм, SM-3500 –  $h_p=560$  мм. Соответственно, формируемый угол откоса при таких высотах ступенек составляет для SM-3000 при  $B=200$  мм –  $63^\circ$ , для SM-3500 –  $75^\circ$ .

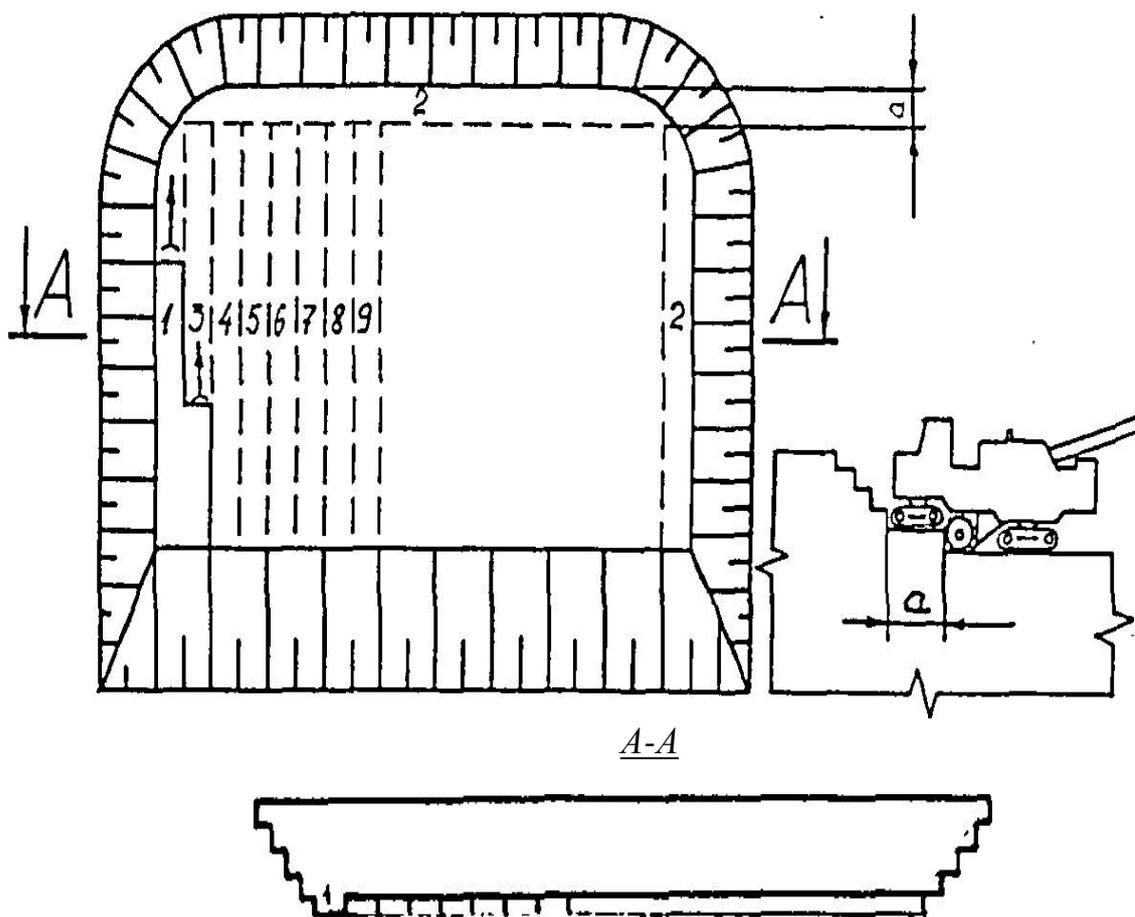


Рис. 2.9. Схема обработки при челночном движении комбайна.

Таким образом, в ходе экспериментов практически установлено, что по мере понижения забоя комбайном может быть сформирован ступенчатый откос вышележащего уступа с углом до  $68^\circ$ . Такая величина угла откоса уступа может быть достигнута за счет обработки смежных со ступенчатым откосом заходов с максимальной (для комбайна 2600-SM) глубиной фрезерования – 25 см с формированием ступенек высотой 25 см и шириной 10 см. Данная

величина откоса формируемого комбайном ступенчатого уступа позволит эффективно провести буровзрывные работы на вышележащем вскрышном уступе. Таким образом, технология горных работ с применением комбайна 2600-SM совмещается по вскрыше с традиционно используемой технологией на карьере тр. Катока.

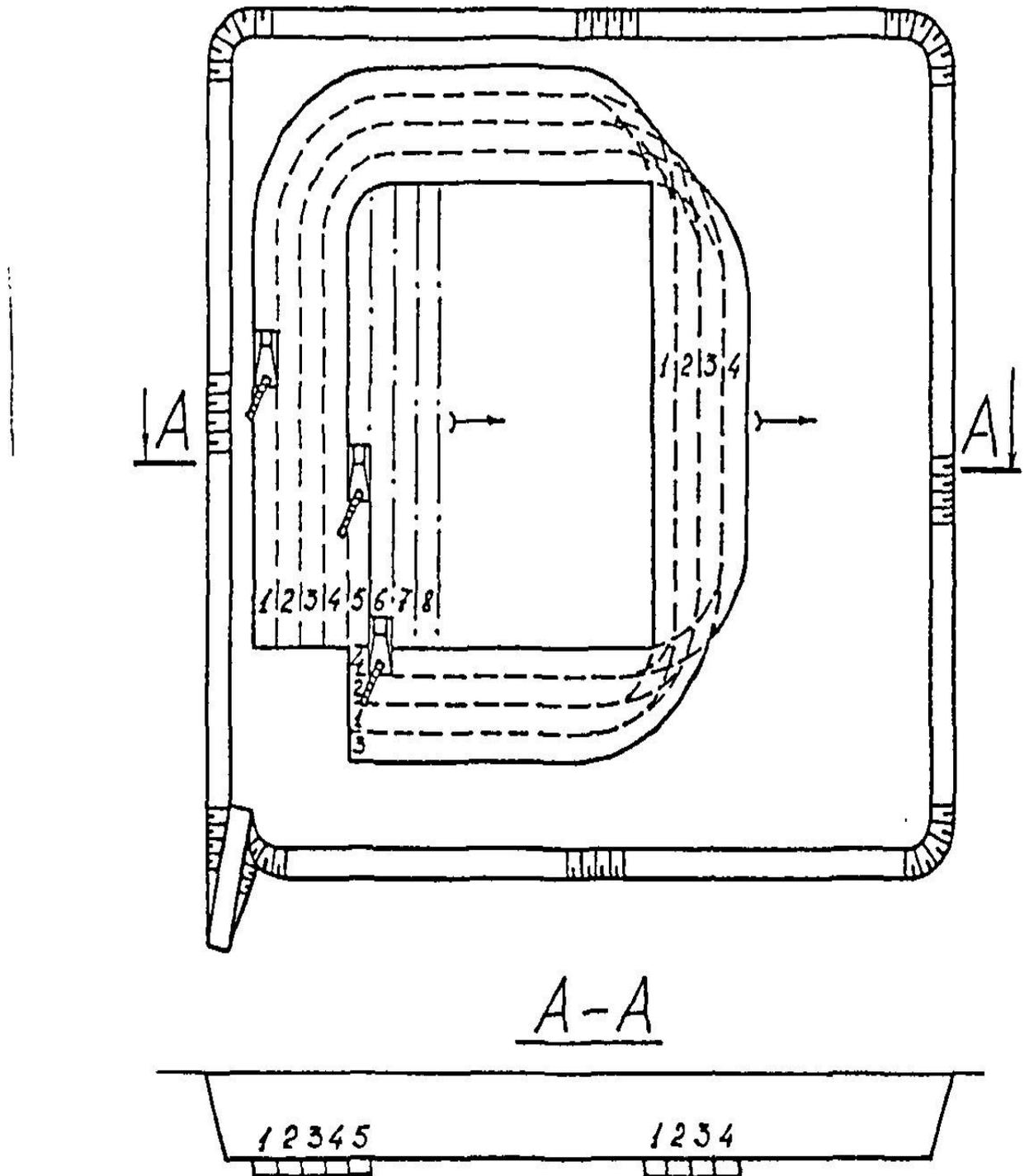


Рис. 2.10. Отработка горизонтов при челночно-круговом движении комбайна.

Технологически работа фрезерных комбайнов возможна параллельными заходками (челночная), по кругу или спирали (круговая), комбинированная (челочно-круговая). По челночной схеме (рис. 2.9) движение комбайна возможно вдоль забоя и поперек забоя. Преимуществом челночной схемы является возможность работы на блоках, ограниченных в размерах, минимальная ширина рабочих площадок, независимая работа нескольких комбайнов на одном блоке. К недостаткам челночной схемы следует отнести значительные потери рабочего времени на перегоны к месту проведения очередной заходки или на маневры (разворот).

Время маневров комбайна для установки на очередную заходку составляет 5,17 мин. За это время при движении холостым ходом при скорости 20-30 м/мин комбайн проделает путь длиной 105-155 м при среднем – 130 м. Исследования показывают, что производительность комбайна при работе по челночной схеме возрастает с увеличением длины блока. Обработка экспериментальных и теоретических исследований показывает, что при длине блока менее 130 м целесообразно перегонять комбайн холостым ходом на очередную заходку, а при длине блока 130 м – использовать разворот. Следует учитывать, что радиус разворота комбайна 2600-СМ составляет 12,5 м, поэтому длина блока при работе по челночной схеме с учетом маневров и параметров комбайна должна составлять 155 м, а минимальная ширина 25 м при полном развороте и 15 м при развороте по тупиковой схеме.

Преимуществами кольцевой схемы являются минимальные потери рабочего времени, а, следовательно, максимальная производительность комбайна, ввиду уменьшения количества маневров (рис. 2.10). К недостаткам следует отнести увеличение параметров разрабатываемого блока и ширины площадки. Кроме этого, кольцевая схема возможна при наличии пионерного блока, проведенного по челночной схеме, т.е. работа комбайна в целом предусматривает комбинированную технологию разработки.

Пионерный блок может иметь различную форму в зависимости от рабочей зоны. По комбинированной схеме минимальная ширина пионерного

блока должна быть не менее 25 м, обеспечивая полный разворот комбайна и его дальнейшую работу по спиральной схеме. Длина блока должна быть определена исходя из максимальной производительности комбайна в течение смены.

Для разработки блока шириной 25 м комбайн проходит 10 заходов. Результаты расчетов и анализ экспериментальных исследований позволили установить зависимость сменной производительности комбайна от длины пионерного блока. Установлено, что с увеличением длины пионерного блока сменная производительность комбайна уменьшается. Минимальная длина блока обеспечивает скорейший переход на спиральную схему и максимальную производительность в течение смены по комбинированной схеме.

Максимальная длина блока для условий тр. Катока, при которой целесообразно переходить на кольцевую схему работы составляет 140 м. Блок длиной 140 м и шириной 25 м обрабатывается по челночной схеме в течение 5 часов 43 минут, т.е. не более половины сменного рабочего времени.

При работе комбайна с транспортными средствами длину блока следует принимать краткой расстоянию, на котором происходит полная загрузка автосамосвала. Так, время загрузки автосамосвала (40 т) составляет 3,5 мин. За это время комбайн проделает путь длиной 35 м. Следовательно, минимальная длина блока, обеспечивающая максимальную производительность в течение смены при работе комбайна в навал составляет 25 м, а при работе комбайна с автосамосвалами – не менее 35 м, но кратной длине, на которой происходит полная загрузка транспортного средства.

При разработке месторождений возможны различные параметры рабочих зон карьеров. Формирование рабочей зоны производится, исходя из производительности карьера в соответствии с природными условиями. При повышении производительности тр. Катока по руде с 7,5 до 10 млн. т/год. Такая производительность по руде может быть обеспечена шестью комбайнами 2600 SM. При условии, что в работе находятся два добычных

уступа, рабочая площадь по руде в течение года составит 150 тыс. м<sup>2</sup>, т.е. каждый комбайн обрабатывает 25 тыс. м<sup>2</sup>.

Максимальная производительность комбайна достигается при комбинированной схеме работы. Поэтому необходимо определение длины пионерного блока в конкретных условиях для каждого комбайна. Минимальная ширина пионерного блока составляет  $2R_p$ . По спиральной схеме развитие рабочей зоны равномерно возрастает по длине и ширине до  $S=25$  тыс. м<sup>2</sup>.

Ширина рабочей площадки тр. Катока составляет 60 м. При работе по комбинированной схеме длина пионерного блока составит 380 м, обрабатываемого блока  $L_{бл}=415$  м. Длина рабочей зоны для трех комбайнов на каждом горизонте составит 11245 м. При работе на трех уступах рабочая площадь для каждого комбайна составит  $S=16100$  м<sup>2</sup>, длина пионерного блока  $L_{бл.п}=230$  м, длина обрабатываемого блока – 265 м.

## Выводы

1. Исследование горной техники для обработки разных типов пород позволило установить, что в отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, которые при выемке блоков работают почти стационарно, комбайн послойного фрезерования представляет собой мобильное устройство для обработки поверхности массива горных пород с относительно высокой скоростью перемещения. Разработка пород этими машинами может осуществляться на любых месторождениях с относительно большой площадью без предварительной подготовки буровзрывными работами.

2. В соответствии с перспективными идеями создан целый класс машин нового типа «Continuous Surface Miner» (CSM) для безвзрывной высокоселективной обработки полезного ископаемого и вскрышных пород. Технология производства открытых горных работ с использованием машин нового технического уровня в наибольшей мере удовлетворяет требованиям

ресурсосбережения, обеспечивает минимизацию экологической нагрузки, полноту извлечения и высокое качество минерального сырья.

3. Результаты исследований показали, что областью применения фрезерных комбайнов при достаточно высокой производительности являются горные породы прочностью от 15 до 80 Мпа. В результате проведенных исследований установлено, что производительность комбайна увеличивается с увеличением глубины фрезерования от 100 мм до 250 мм в среднем на 30%. При врубе в новую заходку производительность комбайна уменьшается на 25% с увеличением глубины вруба от 100 мм до 200 мм.

4. В ходе экспериментов практически установлено, что мере понижения забоя комбайном может быть сформирован ступенчатый откос вышележащего уступа с углом до  $68^{\circ}$ . Такая величина угла откоса уступа может быть достигнута за счет отработки смежных со ступенчатым откосом заходок с максимальной (для комбайна 2600-SM) глубиной фрезерования – 25 см с формированием ступенек высотой 25 см и шириной 10 см. Данная величина откоса формируемого комбайном ступенчатого уступа позволит эффективно провести буровзрывные работы на вышележащем вскрышном уступе. Таким образом, технология горных работ с применением комбайна 2600-SM совмещается по вскрыше с традиционно используемой технологией на трубке Катока.

### 3. ОХРАНА ТРУДА

#### 3.1 Общие требования по охране труда

В этом разделе приведены основные составляющие охраны труда и техники безопасности, касающиеся работы карьера и отвалов.

Обеспечение работников санитарно-бытовыми помещениями, медицинским и оздоровительно-профилактическим обслуживанием осуществляется по следующей схеме.

Сформированной штат работников обеспечивается санитарно-бытовыми помещениями, ранее построенными, действующих в настоящее время. Медицинское обслуживание осуществляется в поликлинике на промплощадке комбината. Обеспечение питанием осуществляется через сеть действующих столовых, передвижных столовых, а также действующих на комбинате пунктах для приема пищи, оборудованных холодильниками, кипятильниками и обеспечены горячей и холодной водой.

Проектом предусматривается обеспечение работников спецодеждой, обувью, специальными защитными приспособлениями, местными инструкциями и нормами, разработанными и утвержденными руководством предприятия.

Доставка работников к рабочим местам осуществляется имеющимся специализированным автотранспортом предприятия. Проезд работников комбината от мест постоянного проживания на промплощадка горно-обогатительного комбината осуществляется транспортом общегородского пользования и частично автобусами предприятия.

При ведении горных работ в карьере и на отвалах происходит пылеобразование при нагрузке горной массы в транспортные средства, разгрузке и укладке ее в отвалы, бурении взрывных скважин, сдувании пыли с бортов карьера.

Для снижения количества пыли в районе рабочих мест проектом предусмотрены:

- полив водой (орошение) экскаваторных забоев, на перегрузочных площадках и на отвалах установками и специальными поливочными автомашинами, расход воды 30 л на 1 м<sup>3</sup> горной массы, периодичность орошения забоев летом, сухой жаркий период - 2 раза в сутки в течение 90 суток, в остальное время года - 1 раз в сутки в течение 200 суток;

- мероприятия по сокращению вредных выбросов в атмосферу и снижения влияния сейсмических колебаний при проведении массовых взрывов в карьере;

- пылеулавливания при бурении скважин воздушно-водяным смесью предусмотрено установками, комплексно поставляются с буровыми станками;

- полив автодорог и площадок в забоях нагрузки горной массы в соответствии с нормами технологического проектирования горнодобывающих предприятий;

- поддержание герметичности кабин машинистов горнотранспортного оборудования.

Проектом предусмотрено приобретение нового серийно выпускается горнотранспортного оборудования, которое по своим характеристикам соответствует требованиям по герметичности кабин, не допускает проникновения пыли внутрь. Для действующего оборудования предусматривается выполнение графиков планово-предупредительных ремонтов оборудования с обязательной проверкой изоляции и герметичности кабин, регулярным уборкой кабин от пыли. При заказе нового горнотранспортного оборудования комбината в комплект поставки необходимо включать оснащение кабин кондиционерами. Что касается действующих в настоящее время машин и механизмов, работающих в карьере, с целью снижения температуры в кабинах этих машин, то они подлежат дооборудованию кондиционерами.

В условиях круглосуточной работы глубоких карьеров со многими рабочими горизонтами, применение большегрузных транспортных средств, погрузочных механизмов с большой емкостью ковша, интенсивной загрузкой

транспортных коммуникаций с одновременным выполнением буровых работ, что характерно для рассматриваемого карьера, проектом предусматривается ряд мер по предотвращению травматизма трудящихся.

При этом определяющим является соблюдение работающим персоналом требований "Правил охраны труда при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом".

### 3.2 Мероприятия по снижению шумов и вибрации

Источниками шума в карьере является автомобильный, экскаваторы, бульдозеры, буровые станки, хозяйственная техника и другое оборудование, которое периодически работает в карьере. Шум в карьере классифицируется как широкополосный, непостоянный, колеблющийся по времени и зависит непосредственно от периодически работающего в карьере оборудования в течение смены.

По временным характеристикам шум характеризуется как непостоянен. Непостоянный шум представляется как прерывистый в зависимости от цикличности работает в карьере оборудования, импульсные проявления шума отсутствуют. Шум на рабочих местах горнотранспортного оборудования не должен превышать предельно допустимый уровень (80 дБА).

Организация работ на карьере по предотвращению и уменьшению шума на рабочих местах и окружающей территории предполагается осуществлять в соответствии с требованием указанных ранее и других нормативных документов, дополняющих требования в области общего контроля и измерений.

Жилая застройка от границы карьера в отработанном виде по поверхности находится за пределами санитарно-защитной зоны, свидетельствует о достаточной ее удаленности от источников шума, в связи с чем нет необходимости предусматривать специальные меры по устройству экранирующих препятствий. Кроме того, источники шума сосредоточены в

карьере, поэтому естественной преградой на пути распространения шума является борта карьера, отвалы, а также поверхность, поросшая травой или покрыта снегом.

Другой мерой по защите от шума применение в проекте типового серийно выпускается оборудования и транспортных средств, которые по шумовым характеристикам соответствуют нормативным параметрам. Шумовые характеристики этого оборудования или предельные их значения должны указываться в паспорте или Руководством по их эксплуатации, должно контролироваться соответствующими службами при его приобретении. Для поддержания оборудования в рабочем, исправном состоянии на предприятии имеется соответствующая ремонтная служба и штаты обслуживающего персонала.

Администрация комбината осуществляет на основании материалов: изменения уровней шума и вибрации на рабочих местах с повышенным уровнем шума и вибрации своевременное обеспечение рабочих индивидуальными средствами защиты, предусмотрев для этого необходимо финансирование на их приобретение за счет текущих расходов. Выполнение проектных работ для указанных выше мер не требуется.

Источником вибрации рабочих мест, влияет на обслуживающий персонал, есть экскаваторы, работающие на нагрузке горной массы, буровые станки, бульдозеры.

С целью создания комфортных условий для обслуживающего персонала перечисленное оборудование оснащается вибро- и шумопоглощающими прокладками под сиденьями машинистов, персонал обеспечивается специальной обувью и ковриками.

Рассмотрена вибрация в данном случае классифицируется как общая, которая передается через опорные поверхности на тело сидящего человека, и подразделяется на следующие категории:

- категория 1 - транспортная вибрация, которая действует на человека на рабочем месте при движении бульдозеров;

- категория 2 - транспортно-технологическая вибрация, которая действует на человека на рабочих местах экскаваторов, буровых станков;

По временным характеристикам вибрации рабочих мест относится к непостоянной, прерывистой, которая образуется при работе оборудования.

Организация работ по предотвращению и уменьшению вибрации рабочих мест предполагается осуществлять в соответствии с требованиями. Вибрация. Общие требования "и другими документами, дополняют их в сфере контроля измерений средств индивидуальной защиты.

Работы по измерениям шума и вибрации рабочих мест на карьере осуществляются по графику, утвержденному руководством горно-обогатительного комплекса.

С целью снижения уровня вибрации на рабочих местах проектом предусматриваются следующие организационно-технические мероприятия:

- приобретение нового серийно выпускается оборудования и транспортных средств, которые по своим характеристикам соответствуют нормативным требованиям по уровню вибрации, вместо работающего, износ которого составит 50-90%;

- при приобретении нового серийно выпускаемое оборудование, ответственный персонал обязан осуществлять проверку наличия вибрационных характеристик в паспорте, а при эксплуатации - выполнять контроль с целью соответствия этих вибрационных характеристик паспортным или нормированным;

- своевременное проведение планового и предупредительного ремонта оборудования с обязательным после строительным контролем вибрационных характеристик, к работе должно допускаться только исправное оборудование, соответствующее требованиям санитарных норм вибрации рабочих мест.

При выполнении указанных мероприятий достигаются нормированные уровни производственной вибрации.

### 3.3 Противоаварийная защита и безопасность ведения работ

При проектировании горных работ были предусмотрены следующие горнотехнические параметры и мероприятия, обеспечивающие безопасность горных работ.

Высоты уступов карьера принятые в соответствии с параметрами экскаваторов.

В связи с наличием на отдельных участках бортов зон неблагоприятно ориентированных трещин вероятность возникновения деформаций откосов уступов в карьере оценивается, как возможна и поэтому проектом предусмотрено осуществление систематического маркшейдерского и гидрогеологического контроля их состояния. Для этого предполагается создание Службы смещения горных пород.

Существующая сеть маркшейдерских и гидрогеологических наблюдательных станций в количественном отношении и в плановом расположении в сочетании с систематическим визуальным наблюдением за состоянием откосов уступов и бортов оценивается как вполне информативна и позволяет с удовлетворительной точностью выявлять зоны развития деформационных процессов и своевременно предупреждать их развитие. При погашении уступов остаются меры бермы шириной 12, 15 м, что обеспечивает их механизированная очистка и безопасные условия работы.

Для создания безопасных условий работы в постоянных бортов предполагается систематическое очистки предохранительных берм с помощью бульдозеров или специальных погрузчиков и оборка верхних откосов от нависаний с помощью телескопических вышек. Для передвижения персонала с уступа на уступ предусматривается устройство лестницы с перилами. Расстояние и места их расположения устанавливаются планом развития горных работ.

Для обеспечения устойчивых проектных откосов постоянных бортов карьера предполагается контурное взрывание скважин уменьшенного

диаметра. Выполнение буро-взрывных работ в карьере проводится по специальным проектам, утверждаемым руководством комбината, в которых предусматриваются меры безопасности и вывода работников за взрывоопасной зоны в момент взрыва. Взрывоопасная зона в карьере составляет 750 м. Взрывные работы в карьере осуществляются специализированным цехом производства взрывных работ, имеющих соответствующую лицензию и допуск к применению указанных выше взрывчатых веществ.

Для наблюдения за состоянием отвалов и бортов карьера организована специальная служба смещения.

В соответствии с законодательством Украины об охране труда и пожарной безопасности проектом предусматривается организация профессиональной подготовки трудящихся с целью получения ими знаний по технике безопасности и получения необходимых навыков труда на рабочих местах в соответствии с технологическим процессом производства, а также обеспечение их санитарно-бытовым, медицинским и оздоровительно-профилактическим обслуживанием, обеспечение обувью и спецодеждой, создание нормальных условий труда на рабочих местах, обеспечения пожарной безопасности рабочих мест.

Таким образом, принятые в проекте технические решения обеспечивают эксплуатационную надежность и безопасность ведения работ по предлагаемым техническим решениям.

### 3.4 Организация буро-взрывных работ

Перед началом заряжания на границах опасной зоны должны быть выставлены посты, обеспечивающие ее охрану, а люди, не занятые заряжанием, выведены в безопасные места лицом технического надзора или по его поручению бригадиром (звеньевым). Часовым запрещается поручать любую работу, не связанную с выполнением прямых обязанностей.

В опасную зону разрешается проход лиц технического надзора предприятия и работников контролирующих органов. С начала введения боевиков - при подрыве с применением электродетонаторов и с начала монтажа взрывной сети - при подрыве ДШ устанавливается опасная зона, определенная расчетом в проекте. Посты на ее границах выставляются при наличии людей, не связанных с проведением массового взрыва.

При производстве взрывных работ обязательная подача звуковых, а в темное время, кроме того, и световых сигналов для оповещения людей. Запрещается подача сигналов голосом, а также с применением взрывчатых материалов.

Значение и порядок подачи сигналов:

а) первый сигнал - «Предупредительный» (один продолжительный). Сигнал подается перед зарядкой. После окончания работ по заряданию и удалении связанных с этим лиц, подрывники приступают к монтажу взрывной сети;

б) второй сигнал - «Боевой» (два продолжительных). По этому сигналу проводится взрыв;

в) третий сигнал - «Отбой» (три коротких). Означает окончание взрывных работ.

Сигналы должны подаваться взрывателем (старшим взрывателем), выполняющих взрывные работы, а при массовых взрывах - специально назначенным работником предприятия.

Способы представления и назначения сигналов, время проведения взрывных работ должны быть доведены до сведения работников предприятия, а при производстве взрывных работ на земной поверхности - также к местному населению.

Допуск людей к месту взрыва может разрешаться лицом технического надзора только после того, как им будет установлено совместно с взрывателем, что работа в месте взрыва безопасна.

При массовом взрыве должны устанавливаться посты ВГСЧ, которые

осуществляют контроль за содержанием ядовитых продуктов взрыва в карьере. Количество постов определяет командир ВГСЧ и руководитель карьера.

В обязанности постов ВГСЧ входят:

- а) контроль за загазованностью воздуха на уступах;
- б) обзор состояния уступов.

Допуск постов ВГСЧ в пределы опасной зоны может проводиться не ранее, чем через 15 мин. После взрыва.

### *Производственно-бытовые помещения*

На карьере должен быть, оборудованный в соответствии с общими санитарными нормами, закрытый туалет.

Медицинское обслуживание работающих на карьере обеспечивается ближайшей лечебной учреждением. На горных машинах должны быть аптечки первой медицинской помощи.

### Выводы

1. Рассмотрены общие требования по охране труда при ведении горных работ на предприятиях горнодобывающей отрасли.
2. Выявлены основные источники шума и вибраций в карьере, а также меры по их снижению.
3. Приведенные нормы по противоаварийной защите и безопасности ведения работ и рассмотрен организация ведения буровзрывных работ.

## 4. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРУБКИ КАТОКА

### 4.1. Анализ и основные параметры разработки трубки Катока

В период с сентября по декабрь 2018 года на карьере Катока проводились опытно-промышленные работы по отработке одинаковых участков рудного тела традиционным буровзрывным и механическим рыхлением с помощью комбайна SM-2600.

В период выполнения экспериментальных работ эксплуатация комбайна осуществлялась в оптимальном режиме. Для работы комбайна была выбрана рабочая площадка на горизонте 530 м с размерами в плане 80 м x 160 м. Подача автотранспорта под загрузку комбайном осуществлялась бесперебойно и практически простои комбайна из-за его отсутствия были полностью исключены.

На данном этапе была осуществлена отработка контрольного блока буровзрывным способом, произведена переработка подготовленной руды на обогатительной фабрике и получена партия алмазной продукции. Для получения статистически однородных оценок и физико-механических свойств руды, контрольный блок располагался строго под опытным, отработанным ранее комбайном.

Взрывание контрольного блока было осуществлено в два этапа. При планировании взрыва контрольного блока принимались типовые параметры буровзрывных работ. Сетка скважин на контрольном блоке составила 6x6 м, удельный расход ВВ 0,645 кг/м<sup>3</sup>.

Для производства взрывных работ на контрольном блоке было израсходовано 50144 кг ВВ.

Взорванный объем кимберлитовой руды составил 77,7 тыс. м<sup>3</sup>.

Отгрузка руды с контрольного блока осуществлялась экскаватором типа прямая лопата. Руда с контрольного блока карьера «Катока» вывозилась на

рудный склад 40 и 70,5 – тонными автосамосвалами.

В период проведения экспериментальных работ была осуществлена оценка гранулометрического состава руды, получаемой при механическом рыхлении и буровзрывных работах. Анализ представленных кривых показывает, что при механическом рыхлении руды отмечается недостаточный выход крупной фракции +100 мм, необходимой для эффективной работы мельниц самоизмельчения. Конструкцией комбайна и методикой его испытаний предусматривается работа комбайна с увеличенным шагом расстановки резцов на рабочем барабане. Следует ожидать, что при этом должен существенно увеличиться выход фракции +100 мм.

Применение мобильного выемочно-погрузочного комбайна SM-2600 непрерывного действия позволяет заменить несколько технологических операций, выполняемых при традиционном буровзрывном способе добычи кимберлитовой руды. При использовании комбайна на добыче руды можно полностью исключить следующие технологические процессы:

- ✓ бурение;
- ✓ зарядание;
- ✓ взрывание;
- ✓ экскавацию.

Отпадает необходимость ведения буровзрывных работ, а вместе с тем сокращается численность буровых станков, зарядного оборудования, экскаваторов и в целом уменьшается численность работающего персонала.

Анализ результатов исследований сохранности кристаллов проведенных экспериментов по безвзрывной технологии отработки кимберлитовых руд показал, что выход размерно-весовых групп алмазов имеет стабильный характер и определяется повышенной долей нижних классов при взрыве и наоборот крупных алмазов при фрезеровании комбайнами. Граница перехода определяется классом 1,72 мм и средним весом одного кристалла 0,0793 мг.

Это дает основание сделать вывод о наличии при взрыве техногенного

разрушения алмазов и перехода их в виде обломков и осколков в более низкие размерно-весовые группы. Это подтверждается также и распределением средних цен за один карат, которое имеет обратную картину. При комбайновой добыче они выше в нижних классах. Такое распределение цен подтверждает, что при взрывах повреждаются алмазы, имеющие повышенную макродефектность (включая трещины, пластические деформации, коричневый цвет) алмазы с сильным внутренним напряжением и с низким содержанием азота. При этом алмазы с “правильным“ кристалломорфологическим обликом и внутренним строением достаточно стабильны при обеих технологиях.

Таким образом разрушение кимберлитовых руд фрезерными комбайнами обеспечивает повышение сохранности алмазов на 7-10%, что подтверждается большим выходом наименее прочных кристаллов и бесцветных с высоким напряжением.

Результаты сравнения рассматриваемых способов добычи кимберлитовой руды по удельным затратам представлены в табл. 3.1.

Анализ таблицы показывает, что удельные затраты по горным переделам при добыче руды комбайном ниже, чем при традиционном способе. При переработке кимберлитовой руды, добытой комбайном удельные затраты электроэнергии на самоизмельчение несколько выше, чем при самоизмельчении руды взрывным способом. Однако, в случае подачи в мельницу самоизмельчения крупнокусковой фракции дробящих тел из разрыхленного взрывом массива разница в удельных затратах энергии на измельчение будет минимальной. Исходя из вышеизложенного следует, что стоимостные затраты на добычу руды комбайном SM-2600 будут ниже, чем при традиционном (буровзрывном) способе добычи за счет сокращения численности рабочего персонала и количества технологического оборудования.

Кроме изложенного выше, использование механического способа добычи руды позволит получить следующие преимущества в целом при

отработке карьера.

1. Отпадает необходимость ведения буровзрывных работ на рудных горизонтах.
2. Улучшится экологическая обстановка в районе карьера, снизятся простои карьера.
3. Будет исключено отрицательное влияние массовых взрывов на отстраиваемые уступы карьера, что обеспечит возможность их отстройки под более крутыми углами с увеличением объемов выемки руды.

#### 4.2. Обоснование экономической эффективности внедрения фрезерного комбайна «Wirtgen» 2600SM

Для определения экономической эффективности предлагаемой технологии разработки 10000 тыс. т кимберлитов в год трубки Катока, рассмотрены два варианта.

1. По существующей технологии, с применением буровзрывных работ и мехлопаты.
2. Без применения буровзрывных работ с использованием фрезерного комбайна Wirtgen 2600 SM (исключается необходимость 1-ой и 2-ой стадии дробления кимберлитов на дробильно-сортировочной фабрике).

Транспортировка кимберлитовой руды в обоих вариантах технологии осуществляется одним и тем же количеством 40-тонных самосвалов (15 шт).

Внедрение безвзрывной технологии с применением фрезерного комбайна Wirtgen 2600 SM на трубке Катока позволит снизить себестоимость добычи и транспортировки кимберлитовой руды по сравнению с традиционной технологией буровзрывных работ на 62% с 9,41 до 5,85 Долл. США/м<sup>3</sup>, а следовательно, получить дополнительный доход от реализации в размере около 35 млн. долл. США в год.

Основным капиталовложением для внедрения новой технологии являются средства на приобретение фрезерных комбайнов – 2,3 млн. долл.

США за 1 единицу. Для обеспечения необходимого объема горных работ требуется 6 фрезерных комбайнов Wirtgen 2600 SM.

Таблица 4.2

## Калькуляция эксплуатационных затрат

№ п/п	Статьи затрат	Сумма затрат, Долл. США/м <sup>3</sup>		Отклонения, Долл. США/м <sup>3</sup>
		С применением мехлопаты	С применением фрезерного комбайна	
1	Амортизация	0,75	0,7	-0,05
2	Ремонт	0,075	0,07	-0,005
3	Заработная плата + Начисления	0,31	0,23	-0,08
5	Электроэнергия	0,7	0	-0,7
6	Топливо	2,9	4,85	1,95
7	Буровзрывные работы	3,1	0	-3,1
8	<b>Всего</b>	<b>9,41</b>	<b>5,85</b>	<b>-3,56</b>

Общие капитальные затраты составляют 13,8 млн. Долл. США

Срок окупаемости капиталовложений на внедрение фрезерного комбайна «Wirtgen» 2600SM:

$$T = \frac{13,8}{35} = 0,4, \text{ года}$$

Такая окупаемость капитальных вложений удовлетворяет современным требованиям к инвестициям в горнодобывающей промышленности. Следовательно, выбранная безвзрывная технология добычи известняков на месторождении Бас Конго является целесообразной.

## Выводы

1. Анализ результатов исследований сохранности кристаллов проведенных экспериментов по безвзрывной технологии отработки кимберлитовых руд показал, что выход размерно-весовых групп алмазов имеет стабильный характер и определяется повышенной долей нижних классов при взрыве и наоборот крупных алмазов при фрезеровании комбайнами. Граница перехода определяется классом 1,72 мм и средним весом одного кристалла 0,0793 мг.

2. Установлено, что при взрыве происходит разрушение алмазов и перехода их в виде обломков и осколков в более низкие размерно-весовые группы. При комбайновой добыче они выше в нижних классах. При взрывах повреждаются алмазы, имеющие повышенную макродефектность (включая трещины, пластические деформации). При этом алмазы с “правильным” кристалло-морфологическим обликом и внутренним строением достаточно стабильны при обеих технологиях.

3. Внедрение безвзрывной технологии с применением фрезерного комбайна Wirtgen 2600 SM на трубке Катока позволит снизить себестоимость добычи и транспортировки кимберлитовой руды по сравнению с традиционной технологией буровзрывных работ на 62% с 9,41 до 5,85 Долл. США/м<sup>3</sup>, а следовательно, получить дополнительный доход от реализации в размере около 35 млн. долл. США в год. Срок окупаемости капиталовложений на внедрение фрезерного комбайна «Wirtgen» 2600SM около 5 месяцев.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что алмазная горнодобывающая промышленность занимает доминирующее место в промышленном производстве Анголы. Анализ литературы показывает на приоритетность разработки кимберлитовых трубок Анголы и интенсификацию добычи кимберлитовых руд открытым способом.

2. Произведен анализ существующего и перспективного оборудования непрерывного действия для безвзрывной технологии выемки кимберлитов. В ходе теоретических исследований установлено, что при разработке крепких горных пород совершенствование техники и технологии происходит в направлении прямой экскавации горных пород из массива путем резания или разрушения массива по естественной трещиноватости.

3. Исследование горной техники для отработки разных типов пород позволило установить, что комбайн послойного фрезерования представляет собой мобильное устройство для отработки поверхности массива горных пород с относительно высокой скоростью перемещения. Разработка пород этими машинами может осуществляться на любых месторождениях с относительно большой площадью без предварительной подготовки буровзрывными работами.

4. Технология производства открытых горных работ с использованием машин нового технического уровня в наибольшей мере удовлетворяет требованиям ресурсосбережения, обеспечивает минимизацию экологической нагрузки, полноту извлечения и высокое качество минерального сырья.

5. Результаты исследований показали, что областью применения фрезерных комбайнов при достаточно высокой производительности являются горные породы прочностью от 15 до 80 Мпа, а производительность комбайна увеличивается с увеличением глубины фрезерования от 100 мм до 250 мм в среднем на 30%.

6. В результате расчетов установлено, что мере понижения забоя комбайном может быть сформирован ступенчатый откос вышележащего уступа с углом до  $68^{\circ}$ . Такая величина угла откоса уступа может быть достигнута за счет отработки заходов с максимальной (для комбайна 2600-SM) глубиной фрезерования – 25 см.

7. Анализ результатов исследований сохранности кристаллов кимберлитовых руд добытых по безвзрывной технологии показал, что выход размерно-весовых групп алмазов имеет стабильный характер и определяется повышенной долей нижних классов при взрыве и наоборот крупных алмазов при фрезеровании комбайнами. Установлено, что при взрыве повреждаются алмазы, имеющие повышенную макродефектность (включая трещины, пластические деформации). При этом алмазы с “правильным“ кристалло-морфологическим обликом и внутренним строением достаточно стабильны при обеих технологиях.

8. Внедрение безвзрывной технологии с применением фрезерного комбайна Wirtgen 2600 SM на трубке Катока позволит снизить себестоимость добычи и транспортировки кимберлитовой руды по сравнению с традиционной технологией буровзрывных работ на 62% с 9,41 до 5,85 Долл. США/м<sup>3</sup>, а следовательно, получить дополнительный доход от реализации в размере около 35 млн. долл. США в год. Срок окупаемости капиталовложений на внедрение фрезерного комбайна «Wirtgen» 2600SM около 5 месяцев.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарь С., Файрузов Р. Физические параметры геологической среды и оптимальный комплекс геофизических методов для поисков кимберлитовых тел в северо-восточной части республики Ангола // В сб.: Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (АЛМАЗЫ-50). С-Петербург, Издво ВСЕГЕИ, 2004, с. 66-69.
2. Ганга Ж., Герасимов С., Зинченко В. и др. Проект «Катока» – успех российских горно-обогатительных технологий в алмазодобывающей промышленности Анголы. // Горный журнал, №7, 2005, с.с.64-66.
3. Герни Д., Мур Р. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами кратона Калахари. // Известия ВУЗов, Геология и разведка, №2, 1984, с.с. 12-24. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия. Тр. И-та геол.и геоф. СО АН СССР, вып. 271, Новосибирск, 1975, 271 с.
4. Деч В., Зинченко В., Глебовицкий В. Распределение содержаний алмазов, как отражение процессов самоорганизации в кимберлитах трубки Катока (Ангола) // ЗРМО, ч. СXXXVII, вып. 1, 2008, с. 11-21.
5. Даркович Г., Кубалов В., Зуев А. Строительство алмазодобывающего предприятия «Камачия-Камажику» // Горный Журнал, №7, 2005, с.112-113.
6. Зинченко В. Кимберлиты северо-востока Анголы. Геологическое строение, алмазоносность, алмазы. Saarbrucken, Palmarium Academic Publishing, 2014, 240 с.
7. Режим доступа: [https://www.auction-house.ru/news\\_analytics/rynok-almazov-mira/](https://www.auction-house.ru/news_analytics/rynok-almazov-mira/)
8. Зинченко В. Алмазы кимберлитовой трубки Катока//Региональная геология и металлогения, 2007-б, №30-31, с.с.153-161.
9. Зинченко В., Дулапчий Е., Феликс Ж. и др. Структурно-тектонический контроль проявлений кимберлитового магматизма на северо-

востоке республики Ангола//Региональная геология и металлогения, №47, 2011, с.с.107-114.

10. Казола А.Д. Состояние и перспективы открытой разработки алмазоносных месторождений республики Ангола / А.Д. Казола // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – № 39. – С. 46-51.

11. Носыко С., Ротман А. Специфика кимберлитового магматизма и перспективы алмазоносности северо-востока Анголы. В сб.: «Геологические аспекты минеральносырьевой базы акционерной компании АЛРОСА: современное состояние, перспективы, решения», г. Мирный, 2003, С.102-108.

12. Ротман А., Зинчук Н., Носыко С. и др. Основные генетические типы алмазных проявлений на северо-востоке Анголы // В сб.: «Геология алмазов – настоящее и будущее», Воронежский Госуниверситет, 2005, С. 594-609.

13. А.М. Маевский , Н.В. Несвитайло А.Д. Казола. Научные аспекты доработки карьерных полей и перехода с открытых горных работ на подземные // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение» – Алматы: КазНТУ, 2014. – С. 203– 206.

14. Авраамова Н.С. Технологические схемы разработки наклонных залежей с использованием фрезерного комбайна. // Сб. «Проблемы машиноведения и машиностроения»: СЗТУ, 2006. - № 35. С. 149-152.

15. Ермаков С.А., Хосоев Д.В. Технолого-экологическая оценка безвзрывной разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-1. С. 56-58.

16. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. - М.: 1974.

17. Литвинов А.Р. Области и условия эффективного применения

машин послойного фрезерования // Горный вестник. - 1998. - № 6. - С. 22-28.

18. Трубецкой К.Н., Панкевич Ю.Б. Новая техника и технология разработки скальных пород на карьерах строительных материалов с помощью рыхлителей. - М., 1975.

19. Трубецкой К.Н., Панкевич Ю.Б. Современные методы открытых работ месторождений карбонатного сырья за рубежом. - М., 1973.

20. Б. Шимм, П. Дженге Опыт применения горных комбайнов на угольных разрезах мира // Горная промышленность. - 1999. - 23. - С. 46-52.

21. Кожевников В.А., Набока Н.В., Панкевич Ю.Б. Комбайны Wirtgen SM на бокситовом руднике Фрия (Гвинея) // Горная промышленность. - 2004. - №1. - С. 45-46.

22. Ложников А.В. Перспективы применения безвзрывных способов разработки крепких горных пород на карьерах // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2015 (90). Частина 2. - С.87-92.

23. Панкевич Ю.Б., М. Пихлер. Комбайн Wirtgen 2500 SM на известняковом карьере Foreman // Горная промышленность. - 2003, - №6, - С. 50-52.

24. Лабутин В.Н., Ческидов В.И., Зайцев Г.Д. Опыт и перспективы применения на открытых горных работах безвзрывных технологий разработки массивов горных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 1. № 1. С. 182-190.

25. Ржевский В.В. Открытые горные работы, Ч.1. - М.: 1985.

26. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. - М.: 1980.

27. Кожевников В.А., Набока Н.В., Панкевич Ю.Б. Комбайны Wirtgen SM на бокситовом руднике Фрия (Гвинея) // Горная промышленность. - 2004. - №1. - С. 45-46.

28. Сафронов В.П., Зайцев Ю.В., Сафронов В.В. Эффективность использования оборудования для реализации безвзрывных технологий добычи известняков и доломитов // Известия Тульского государственного

университета. Технические науки. – 2015. – Вып. 7, Ч2. С.89-99.

29. Чебан А.Ю. Совершенствование безвзрывных циклично-поточных технологий добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т.14, №2. – С. 5-9.

30. Структура і правила оформлення. К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с.

31. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки.