

На правах рукописи

**ПАЦКЕВИЧ Петр Геннадьевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КОРЕННЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОНОСНЫХ  
КИМБЕРЛИТОВ С КОМБАЙНОВОЙ ВЫЕМКОЙ И  
ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО  
ПРОСТРАНСТВА**

**Специальность: 25.00.22 – «Геотехнология (подземная,  
открытая и строительная)»**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Москва 2011**

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте проблем комплексного освоения недр РАН (УРАН ИПКОН РАН),  
отдел геотехнологических проблем комплексного освоения недр,  
лаборатория геотехнологий глубоких горизонтов месторождений твердых  
полезных ископаемых

Научный руководитель	доктор технических наук Айнбиндер Игорь Израилевич
Официальные оппоненты	профессор, доктор технических наук Панфилов Евгений Иванович  кандидат технических наук Корнеев Сергей Александрович
Ведущая организация	Общество с ограниченной ответственностью «Санкт-Петербургская горная проектно- инжиниринговая компания» (ООО «ПитерГОРпроект»)

Защита состоится 29 июня 2011 г. в 10<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр РАН: 111020, Москва, Е-20, Крюковский тупик, 4, факс: (495) 360 8960.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр РАН.

Автореферат разослан «    » мая 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
докт. техн. наук

Милетенко И.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** С момента образования в нашей стране в середине 50-х годов прошлого века алмазодобывающей промышленности и по настоящее время основную часть алмазоносных кимберлитов извлекают открытым способом. В дальнейшем восполнение выбывающей минерально-сырьевой базы алмазодобывающей промышленности будет обеспечиваться за счет расширения удельного веса подземного способа добычи.

Качество добываемого сырья существенно зависит от принятого способа разрушения руд. Теоретически и экспериментально доказано, что механический способ выемки кимберлитов комбайнами способствует росту стоимости продукции на 10-14 % за счет повышения выхода крупных фракций алмазов. Поэтому при разработке кимберлитовых месторождений с высокой ценностью руды применяется геотехнология с комбайновой выемкой руды и закладкой выработанного пространства.

В ближайшей перспективе подземным способом будут разрабатывать участки месторождений кимберлитов, характеризующихся большей сложностью горно-геологических условий – расположенные на значительной глубине, вблизи водоносных горизонтов и выработанных пространств карьеров.

Поэтому изыскание решений, позволяющих обеспечить высокопроизводительную работу комбайновых комплексов и эффективность подземных горных работ при освоении месторождений кимберлитов в широком диапазоне условий разработки, является актуальной научной и практической задачей.

**Целью работы** является обоснование рациональных параметров геотехнологии с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства, обеспечивающих высокую эффективность подземной разработки коренных месторождений кимберлитов в усложняющихся условиях разработки.

**Идея работы** заключается в повышении эффективности использования комбайнов при разработке месторождений кимберлитов за счет выбора параметров геотехнологии с учетом взаимосвязей технологических и геомеханических процессов разработки.

**Методы исследований** включают обобщение и систематизацию первичной геоинформации, анализ мирового опыта разработки коренных месторождений алмазоносных кимберлитов, математическое моделирование геомеханических процессов с применением компьютерных технологий, натурные исследования в шахтных условиях, опытно-промышленные испытания и внедрение предлагаемых технологий на рудниках АК «АЛРОСА».

**Объект исследований** – коренные месторождения алмазоносных кимберлитов Якутии.

### **Защищаемые положения:**

1. Структура геотехнологии разработки коренных месторождений кимберлитов с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства определяется следующими параметрами: направление развития горных работ по вертикали, порядок выемки запасов в слое, число рабочих уровней в пределах фронта очистных работ, количество стадий формирования очистных выработок.

2. Параметры фронта очистных работ определяются с учетом вариации производительности комбайна, изменчивости формы рудного тела, порядка выемки запасов, количества добычных комплексов в одновременной эксплуатации и размеров очистных выработок.

3. Порядок выемки запасов практически не влияет на максимальную величину и распределение повышенных сжимающих напряжений в зоне влияния горных работ, которые определяются соотношением деформационных свойств рудного, породного и закладочного массивов, но оказывает существенное влияние на величину растягивающих напряжений, деформаций и вертикальных смещений.

4. При ведении работ вблизи выработанных пространств карьеров и водоносных горизонтов, в зависимости от линейных размеров месторождения в плане, следует применять выемку клинообразным фронтом в восходящем порядке с приданием кровле выработок наиболее устойчивой сводообразной формы, либо послонную выемку в восходящем порядке с разнесением добычных участков по вертикали.

**Достоверность научных положений** и выводов подтверждается представительностью используемой в расчетах информации; удовлетворительной сходимостью результатов расчетов и данных экспериментальных исследований в натурных условиях; апробацией результатов на производстве и в широком кругу специалистов.

### **Научная новизна** заключается в:

- систематизации геотехнологии разработки кимберлитовых рудных тел с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства, позволяющей выбирать наиболее производительные варианты ведения горных работ в зависимости от природных и технологических факторов.

- разработке методики определения параметров фронта очистных работ, обеспечивающих максимальную производительность комбайнового добычного комплекса и интенсивность подземных горных работ.

- выявлении закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зоне ведения очистных работ в зависимости от порядка и последовательности отработки запасов, позволяющих обосновать параметры геотехнологии, обеспечивающие безопасное ведение горных работ.

- совершенствовании методики расчета эксплуатационной производительности комбайна за счет учета влияния площади сечения, формируемой за один ход комбайна.

**Практическая значимость** работы состоит в разработке нового подхода к обоснованию параметров геотехнологии разработки коренных месторождений кимберлитов с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства, позволяющего за счет определения порядка и последовательности выемки запасов, параметров очистных выработок, применения разработанных технологических схем с двустадийным формированием очистных выработок повысить эффективность и безопасность горных работ в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий разработки и внедрении разработанных технических решений на подземных рудниках АК «АЛРОСА».

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований использованы при разработке программ-методик и локальных проектов на проведение опытно-промышленных испытаний слоевой системы разработки с увеличенными параметрами очистных выработок на подземных рудниках «Интернациональный» и «Мир» и при корректировке проектных решений отработки запасов блока № 1 рудника «Мир», а также при разработке технологической инструкции по применению слоевой системы разработки на подземных рудниках «АК «АЛРОСА».

**Апробация работы.** Основные научные положения и результаты исследований докладывались на конференциях: «Неделя горняка» (Москва, 2005, 2009), «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2007), Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2005, 2008, 2010), «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (Новосибирск, 2010), «Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений» (Мирный, 2011).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 91 наименования, приложения и содержит 154 страницы, 41 таблицу, 43 рисунка.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Практика разработки кимберлитовых месторождений показывает, что их отработку в России и за рубежом ведут комбинированным способом, применяя последовательную схему ведения горных работ. На первом этапе осуществляют выемку карьерных запасов. Затем, после постановки карьера в граничные контуры, начинают подземную разработку оставшихся подкарьерных и прибортовых запасов.

За рубежом в основном применяют технологии с принудительным обрушением руды либо с самообрушением, при этом потери полезного

ископаемого в недрах, как правило, составляют около 20 %, а разубоживание – 20-30 %, однако низкая ценность руды делает оправданными такие показатели.

В ближайшее десятилетие в нашей стране подземным способом будут обрабатывать трубки с высокой либо средней ценностью руды, поэтому наибольшее применение найдут слоевые системы разработки с закладкой, преимущественно с комбайновой выемкой, которые обеспечивают высокое извлечение и сохранность алмазов, поэтому опыт подземной разработки зарубежных кимберлитовых трубок с невысокой ценностью руды системами с обрушением неприменим для отечественных месторождений.

Характерной особенностью алмазоносных месторождений России является разнообразие условий залегания кимберлитовых трубок, их размеров и форм, наличие горно-геологических факторов, осложняющих условия разработки. К ним, прежде всего, относятся: высокая степень обводненности ряда месторождений, наличие нефте- и газопроявлений во вмещающих породах, зачастую низкая прочность руд и пород, высокая засоленность подземных вод и наличие в них растворенного сероводорода.

Результаты проведенных ранее исследований, отраженные в работах академиков М.И. Агошкова, Н.В. Мельникова, К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.М. Бронникова, Д.Р. Каплунова, а также И.И. Айнбиндера, Л.И. Бурцева, Н.Ф. Замесова, В.А. Звекова, Н.К. Звонарева, М.А. Иофиса, В.Н. Калмыкова, В.И. Клишина, Н.П. Крамскова, С.В. Кузнецова, Е.В. Кузьмина, И.А. Мальцевой, Ю.И. Родионова, М.В. Рыльниковой, И.Н. Савича, А.А. Смирнова, А.Р. Узбековой и других ученых, дают возможность определить основные положения по подземной разработке запасов отечественных кимберлитовых месторождений.

В то же время недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с влиянием осложняющих разработку природных и техногенных факторов на выбор параметров геотехнологии с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства.

Следовательно, приоритетным направлением развития геотехнологии разработки коренных месторождений кимберлитов является обоснование геотехнологических и геомеханических параметров разработки, позволяющих обеспечить высокую производительность добычных комплексов, а также устойчивость горных выработок, рудного массива, вмещающих пород и закладки.

Поставленная цель и идея работы позволили сформулировать следующие задачи исследований:

1. Систематизация геотехнологии с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства с учетом особенностей разработки месторождений кимберлитов.

2. Изучение влияния основных горно-геологических, горнотехнических и технологических факторов на производительность комбайновых комплексов и интенсивность разработки кимберлитовых месторождений.

3. Исследование особенностей развития геомеханических процессов подземной геотехнологии с комбайновой выемкой и закладкой.

4. Обоснование методики выбора технологических схем очистной выемки с учетом геомеханических, горно-геологических и горнотехнических факторов.

5. Обоснование параметров технологии выемки запасов трубки «Интернациональная» с закладкой выработанного пространства и комбайновой отбойкой, обеспечивающих эффективное и безопасное ведение подземных горных работ.

Геотехнология отработки коренных месторождений кимберлитов с комбайновой выемкой и закладкой выработанного пространства предусматривает применение одного из вариантов слоевой системы разработки с закладкой выработанного пространства и характеризуется следующими параметрами: 1) Порядок и последовательность выемки запасов; 2) Размеры выемочных участков по горизонтали и вертикали; 3) Размеры очистных выработок и технология их формирования; 4) Количество добычных комплексов в одновременной эксплуатации; 5) Прочностные и деформационные характеристики закладочного массива. 6) Геомеханические параметры, обусловленные ведением работ вблизи водоносных горизонтов и выработанных пространств карьеров.

С целью ее исследования, обоснования условий и рациональных областей ее применения, определения показателей производительности и интенсивности горных работ выполнена систематизация технологических схем комбайновой выемки.

С учетом особенности применения комбайнов в условиях ограниченных по площади рудных тел, необходимости полноты выемки запасов, физико-механических свойств кимберлитов в качестве признаков приняты: направление выемки слоев в пределах этажа (подэтажа, секции); порядок выемки очистных заходов в слое; число уровней ведения очистных работ в пределах фронта; количество стадий формирования очистной заходки (табл. 1).

Возможная годовая производительность фронта очистных работ ( $A_{ф.з.}$ ) определяется количеством одновременно работающих комплексов технологического оборудования и их производительностью:

$$A_{ф.з.} = N_{к.к.} \times A_{к.к.}, \text{ т/год} \quad (1)$$

где  $A_{к.к.}$  – годовая производительность комбайнового комплекса, т/год;  $N_{к.к.}$  – количество комбайновых комплексов, шт.

**Таблица 1 – Базовые типы технологических схем**

Направление выемки слоев в пределах этажа, подэтажа, секции	Порядок выемки в слое	Количество уровней ведения очистных работ	Количество стадий формирования очистной заходки	Номер базового типа	
Восходящий	Сплошной	Одноуровневый	Одностадийный	1	
		Двухуровневый	Одностадийный	2	
		Многоуровневый	Одностадийный	3	
	Камерно-целиковый	Одноуровневый	Одностадийный	4	
		Двухуровневый	Одностадийный	5	
Нисходящий	Сплошной	Одноуровневый	Одностадийный	6	
			Двустадийный	7	
	Камерно-целиковый	Одноуровневый	Одностадийный	8	
			Двустадийный	9	
			Двухуровневый	Двустадийный	10

Максимальная годовая производительность одного добычного комплекса выражается формулой:

$$A_{к.к} = 360 \frac{Q_{сл}}{T_{сл}} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{сли}}{Q_{сли} + T_n \cdot A_{сут}}, \text{ т/год} \quad (2)$$

где  $Q_{сл}$  – извлекаемый объем руды в слое, т;  $T_{сл}$  – время отработки слоя, сут.;  $A_{сут}$  – суточная производительность комбайна, т/сут.

Результаты расчетов показали, что базовые типы технологических схем различаются как по годовой производительности комбайнового комплекса (рис. 1), так и по производительности фронта очистных работ (рис. 2).

Основными технологическими факторами, определяющими производительность фронта очистных работ для базовых типов технологических схем, являются: ширина фронта очистных работ на один добычной комплекс, параметры очистных выработок, продолжительность операций по перемещению комбайнового комплекса между слоями.

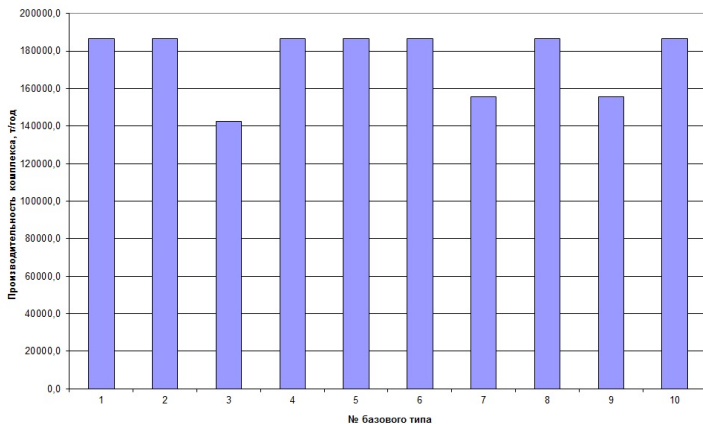
Эксплуатационная производительность комбайна ( $Q_{см}$ ) составляет:

$$Q_{см} = \frac{Q_{к} \cdot T_{он} \cdot \gamma}{\left(1 + \frac{T_B^K}{T_{PO}}\right) \cdot K_O \cdot K_{PEЗ}}, \text{ т/см} \quad (3)$$

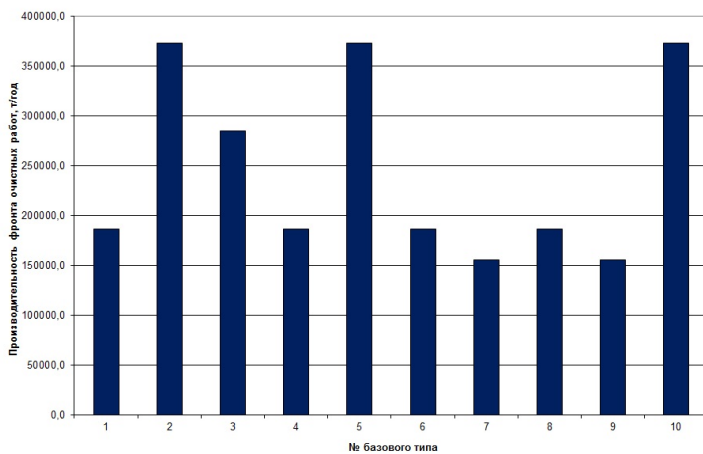
где:  $Q_{к}$  – техническая производительность комбайна, м<sup>3</sup>/мин;  $T_{он}$  – оперативное время работы комбайна в смену, мин;  $\gamma$  – плотность руды в массиве т/м<sup>3</sup>;  $T_B^K$  – время на вспомогательные операции при отбойке, мин;  $T_{po}$  – время на отбойку руды, мин;  $K_o$  – коэффициент, учитывающий

отдых рабочего;  $K_{рез}$  – коэффициент резерва основного горно-шахтного оборудования.

Таким образом, эксплуатационная производительность комбайна определяется соотношением времени на отбойку руды и временем, затраченным на вспомогательные операции при отбойке, и представляет собой линейную функцию прямо пропорциональную указанному соотношению.



**Рисунок 1 – Годовая производительность комбайнового комплекса**



**Рисунок 2 – Годовая производительность фронта очистных работ**

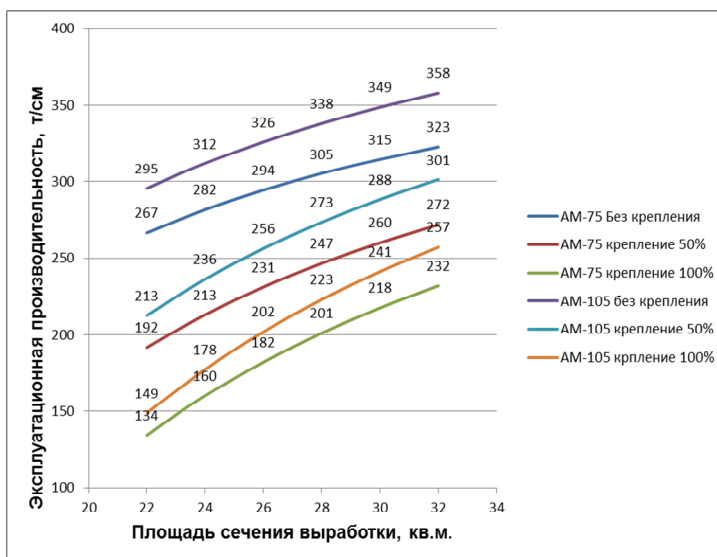
Часть вспомогательных операций (монтаж вентиляционного става, водопровода, кабельных сетей) выполняется регулярно, время на их выполнение является постоянным и составляет по опыту работы рудника

«Интернациональный» 95 мин./см при площади сечения выработки 22 м<sup>2</sup>. Также в состав вспомогательных операций входит крепление очистных выработок. В таблице 2 показано изменение эксплуатационной производительности комбайна АМ-75 в зависимости от объема крепления, рассчитанное с учетом трудозатрат на возведение крепи при площади сечения выработки 22 м<sup>2</sup>.

**Таблица 2 – Эксплуатационная производительность комбайна в зависимости от объема крепления выработки**

Объем крепления очистной ленты, %	Сменная эксплуатационная производительность комбайна, м <sup>3</sup> /см (т/см)	
	по руде ( $\gamma = 2.47$ )	по породе ( $\gamma = 2.64$ )
без крепления	108 (267)	108 (285)
крепление 50 %	78 (192)	78 (206)
крепление 100 %	54 (134)	54 (103)

Анализ формулы (3) показывает, что основным резервом повышения производительности является минимизация времени на вспомогательные операции, которое пропорционально длине выработки и не зависит от площади ее сечения. Зависимости производительности комбайнов АМ-75 и АМ-105 от площади сечения, рассчитанные с учетом данного предположения приведены на графике (рис 3).



**Рисунок 3 – Зависимость эксплуатационной производительности комбайна от площади сечения и объема крепления**

Оценка технологического процесса комбайновой выемки должна базироваться на критерии, отражающем его эффективность. В качестве такого критерия принято отношение производительности комбайна, достигаемой для рассматриваемой технологической схемы в конкретных условиях разработки и его потенциально достижимой эксплуатационной производительности:

$$K_u = \frac{Q_\phi}{Q_n}, \text{ т/см} \quad (4)$$

где,  $Q_n$  – потенциально достижимая эксплуатационная производительность комбайна, т/см,  $Q_\phi$  – фактически достижимая эксплуатационная производительность комбайна, определяемая с учетом основных влияющих факторов, т/см.

Интенсивность отработки крутопадающих месторождений определяется годовым понижением горных работ ( $V$ ):

$$V = Q_n / \gamma S, \quad (5)$$

где  $Q_n$  – погашаемые в течение года запасы, т/год;  $\gamma$  – плотность руды, т/м<sup>3</sup>,  $S$  – средняя эксплуатационная площадь рудного тела, м<sup>2</sup>.

Соответственно интенсивность горных работ обратно пропорциональна эксплуатационной площади, и следовательно длины фронта очистных работ, приходящейся на один добычный комплекс. Ее уменьшение с одной стороны, приводит к увеличению годового понижения горных работ, а с другой может привести к снижению производительности комбайна из-за недостаточного резерва забоев.

Минимальный резерв забоев на один добычный комплекс следует определять с учетом возможной вариации производительности комбайна, неравномерности объемов извлекаемых запасов в очистных выработках и применяемого порядка выемки. В этом случае минимальный резерв забоев  $K_{p.з.}$  будет составлять:

$$K_{p.з.} = \left[ \left( \frac{V_{max}}{Q_{cp} - 2S} \right) \times \left( \frac{Q_{cp} + 2S}{V_{min}} \right) \right] \quad (6)$$

где,  $V_{max}$  – максимальные запасы руды в очистной выработке в пределах рассматриваемого участка месторождения;  $V_{min}$  – минимальные запасы руды в очистной выработке в пределах рассматриваемого участка месторождения;  $S$  – стандартное отклонение производительности, м<sup>3</sup>/см;  $Q_{cp}$  – средняя производительность комбайна, м<sup>3</sup>/см.

Минимальная необходимая ширина добычного участка  $L_\phi$  составит:

$$L_\phi = K_{p.з.} \times n \times b, \text{ м} \quad (7)$$

где,  $b$  – горизонтальный пролет очистной выработки, м;  $n$  – количество очередей отработки заходов в слое.

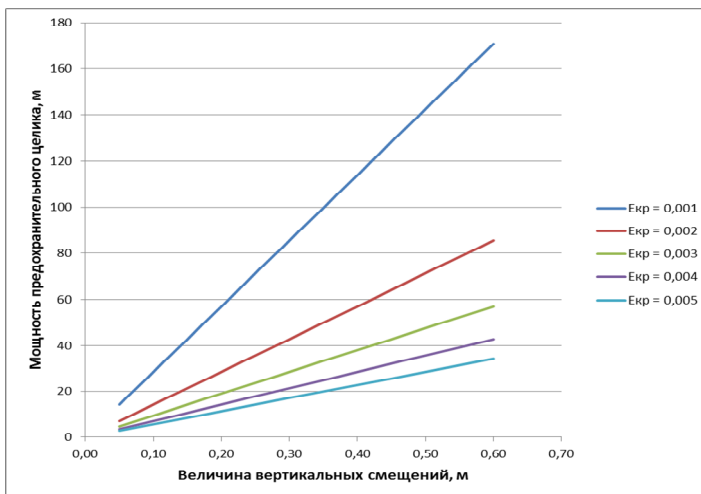
Наибольшие значения годового понижения горных работ будут достигаться при минимально возможном значении  $L_{\phi}$ . Возможное количество добычных комплексов в пределах фронта очистных работ месторождения определяется отношением общей протяженности фронта очистных работ к ширине добычного участка.

Разработка ряда кимберлитовых трубок осложняется наличием в верхней части месторождения водоносных комплексов, содержащих газонасыщенные агрессивные рассолы, поэтому при их разработке необходимо ограничивать уровень вертикальных смещений и растягивающих деформаций в налегающих породах, чтобы они не превышали критических значений, при достижении которых возможно образование сквозных секущих трещин, соединяющих водоносные горизонты с выработками подземного рудника.

Механизм сдвижения горных массивов, изложен в работах В.Д. Слесарева, А.А. Борисова, М.А. Иофиса и др. Для условий отработки кимберлитовых трубок И.А. Мальцевой обосновано соотношение максимальных вертикальных смещений массива, гидростатического напора, критических деформаций и минимально допустимой мощности предохранительного целика (рис. 4), выражающееся формулой:

$$H = 0,285 \frac{\eta_{\max}}{\varepsilon_{кр}} + 0,2h, \text{ м} \quad (8)$$

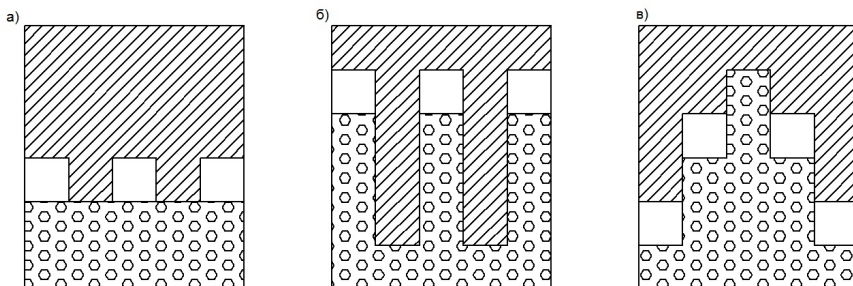
где,  $\eta_{\max}$  – прогиб слоя, м;  $\varepsilon_{кр}$  – критическая деформация растяжения, д.ед.;  $h$  – гидростатический напор, м.



**Рисунок 4 – Соотношение мощности целика, вертикальных смещений и критических деформаций**

Окончательная мощность целика корректируется с учетом величины гидростатического напора.

Применение систем разработки с закладкой позволяет регулировать величину смещений и деформаций за счет выбора порядка выемки запасов и придания закладочным массивам заданных деформационных свойств. Оценка влияния порядка и последовательности выемки запасов на напряженно-деформированное состояние горного массива выполнена для трех принципиальных схем с учетом ограничений, накладываемых применением комбайновой выемки (рис. 5). Исходные данные и параметры модели приняты применительно к условиям разработки рудника «Интернациональный».



а) – вариант № 1, б) – вариант № 2, в) – вариант № 3.

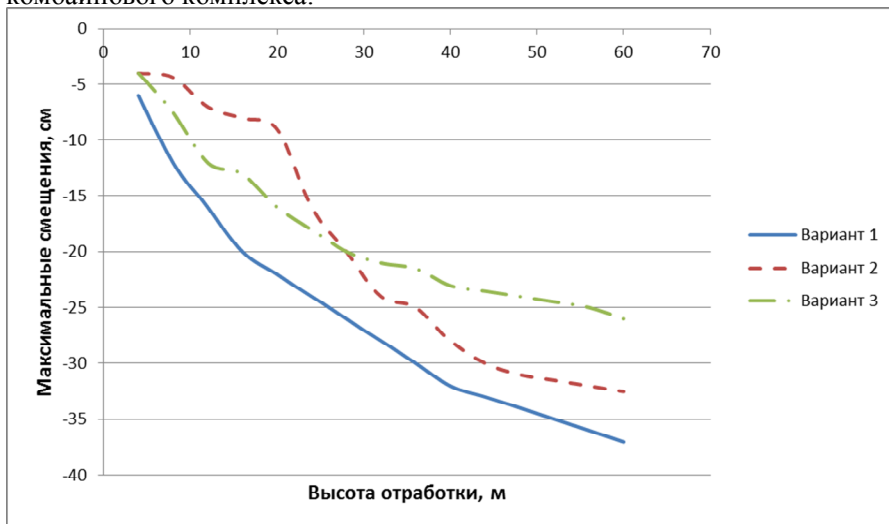
**Рисунок 5 – Принципиальные схемы отработки**

В расчетах использован метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ANSYS. В результате моделирования отработки участка месторождения высотой 60 м установлено, что:

- параметры зон сжимающих напряжений и их максимальная величина практически не зависят от применяемого порядка выемки запасов и определяются соотношением деформационных свойств рудного, породного и закладочного массивов;
- величина горизонтальных растягивающих напряжений существенно зависит от применяемого порядка выемки. Максимальное их значение составляет: вариант № 1 – 3,7 МПа, вариант № 2 – 3,2 МПа, вариант № 3 – 2,7 МПа;
- величина вертикальных смещений после отработки блока составляет: вариант № 1 – 32 см, вариант № 2 – 30 см, вариант № 3 – 26 см, при этом характер развития смещений имеет существенные различия (рис. 6);

Моделированием развития работ по варианту № 1 одновременно в нескольких разрезах установлено, что восходящий порядок выемки слоев возможен только при ведении очистных работ одним фронтом, вследствие концентрации в рудном массиве горизонтальных напряжений, что подтверждается исследованиями ИГД СО РАН.

Таким образом, при ведении работ вблизи выработанного пространства карьеров и водоносных горизонтов следует либо применять восходящий порядок выемки клинообразным фронтом, который характеризуется наименьшими геомеханическими последствиями, либо корректировать верхнюю границу горных работ в соответствие с формулой (6). При отсутствии геомеханических ограничений предпочтение следует отдавать вариантам, обеспечивающим наибольшую интенсивность горных работ при максимальной производительности комбайнового комплекса.



**Рисунок 6 – Развитие вертикальных смещений по мере отработки**

Результаты расчетов и опыт ведения подземных горных работ на руднике «Интернациональный» показали возможность увеличения параметров поперечного сечения очистных выработок. В 2009-2010 гг. на основе разработанной автором «Программы и методики...» на руднике проведены испытания выемки запасов очистными выработками с увеличенными параметрами.

Для выемки запасов применялся комбайн АМН-105. Отработка лент велась в две стадии: вначале тупиковым забоем высотой 5,2м отрабатывалась верхняя часть ленты, затем производилась выемка оставшихся запасов ленты-уступа высотой 1,55 м.

В процессе испытаний осуществлялся контроль состояния вертикальных и горизонтальных обнажений очистных и нарезных выработок, который не выявил ухудшения состояния обнажения в связи с увеличением параметров очистных выработок.

Производительность комбайнового комплекса при отработке очистных выработок в зависимости от сечения, формируемого одним

ходом комбайна (Ш×В), составило: 6,0×1,55м – 157 тыс.т/год; 5,4×4,5м (проектные параметры) – 200 тыс.т/год; 6,0×5,2м – 254 тыс.т/год.

Таким образом, двустадийная выемка запасов очистной заходки может быть рекомендована при условии, если оба хода комбайн будет проходить, сечением близким к техническим возможностям комбайна.

Анализ результатов натуральных наблюдений подтвердил тенденцию влияния площади сечения очистной выработки, формируемой за один ход комбайна на производительность комбайнового комплекса. В то же время, статистическая обработка результатов измерений не позволила установить четкую функциональную зависимость.

Коэффициент корреляции  $R$  в зависимости от уравнения аппроксимации, составил 0,25–0,5 (наибольшее значение получено для линейной аппроксимации). Объясняется это как сравнительно малым количеством наблюдений, так и тем, что на производительность комбайна, помимо площади сечения, оказывают влияние изменчивость горно-геологических условий, физико-механических свойств кимберлита, различная длина лент и т.д. Вместе с тем, показатели средней производительности в зависимости от площади сечения, формируемого за один ход комбайна, показывают хорошую сходимость с расчетными данными (см. график на рис. 3), что подтверждает предположение о прямой зависимости времени, затрачиваемого на вспомогательные операции от длины выработки. Соответственно эксплуатационную производительность комбайна ( $Q_{см}$ ) следует определять по формуле:

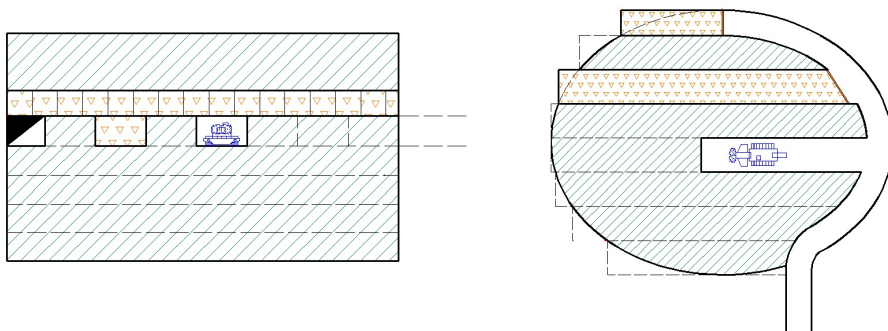
$$Q_{см} = \frac{Q_k \cdot T_{он} \cdot \gamma}{\left(1 + \frac{22 \cdot T_{В.УД.}^K}{T_{РО} \cdot S_{выр}}\right) \cdot K_O \cdot K_{рез}}, \text{ т/см} \quad (9)$$

где:  $Q_k$  – техническая производительность комбайна, м<sup>3</sup>/мин;  $T_{он}$  – оперативное время работы комбайна в смену, мин;  $\gamma$  - плотность руды в массиве т/м<sup>3</sup>;  $T_{В.УД.}^K$  – удельное время на вспомогательные операции при отбойке, мин/м;  $T_{ро}$  – время на отбойку руды, мин;  $S_{выр}$  – сечение выработки, формируемой за один ход комбайна, м<sup>2</sup>;  $K_O$  – коэффициент, учитывающий отдых рабочего;  $K_{рез}$  – коэффициент резерва основного горно-шахтного оборудования.

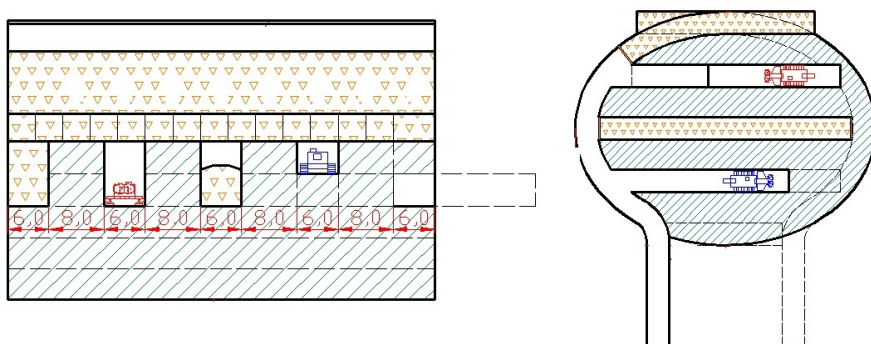
В настоящее время добычу руды на руднике «Интернациональный» ведут в блоке № 7/8, после чего будут отрабатываться нижерасположенные запасы блоков №№ 9-11. В связи с этим для обоснования технологических схем и параметров геотехнологии с комбайновой выемкой руды и закладкой выработанного пространства выбран участок месторождения в абс.отм. -600/-820 м (глубина от поверхности 1000-1220 м). На рассматриваемом участке месторождения отсутствуют геомеханические ограничения, налагаемые близостью карьера и водоносных горизонтов.

Оценка по рейтинговой классификации показала, что время устойчивого стояния горизонтальных обнажений рудной кровли с пролетом 6 м на рассматриваемых глубинах будет составлять от 2 до 10 суток, что не позволяет обеспечить безопасное ведение очистных работ в восходящем порядке, а базовые типы №№ 6 и 7 не могут обеспечить достижение максимальной производительности комбайна вследствие недостаточного резерва забоев.

Учитывая, что базовый тип № 9 характеризуется более низкой потенциальной производительностью, для окончательного сравнения приняты три варианта: базовый тип № 8 с параметрами, применяемыми на руднике, базовый тип № 8 с увеличенными параметрами (рис. 7) и базовый тип № 10 (рис. 8).



**Рисунок 7 – Базовый тип № 8. Технологическая схема с одностадийным формированием очистных выработок комбайном**



**Рисунок 8 – Базовый тип № 10. Технологическая схема с двухстадийным формированием очистных выработок комбайном**

Результаты расчетов производительности и интенсивности приведенные в табл. 3 и 4, показывают, что наиболее приемлемым вариантом для условий рассматриваемого участка рудника «Интернациональный» является базовый тип № 10, который, по сравнению с проектным вариантом, обеспечивает увеличение средней производительности комбайнового комплекса на 28 % и повышение интенсивности горных работ в пределах одного фронта в 2,56 раза.

**Таблица 4 – Показатели производительности вариантов**

№ №	№№ базового типа	Время отработки разрезного слоя, см	Время отработки основных слоев, м-см	Q <sub>ср</sub> , м <sup>3</sup> /см	A <sub>г</sub> комбайна, тыс.т/год	A <sub>г</sub> фронта, тыс.т/год
1	8	437	1094	92,6	139,5 (165,3)	139,5 (165,3)
2	8	437	1078	104,0	156,7 (184,9)	156,7 (184,9)
3	10	437	5305	118,9	179,1 (211,4)	358,2 (422,8)

**Таблица 5 – Показатели интенсивности конкурирующих вариантов**

№№	№№ базового типа	Годовое понижение фронта (V), м/год	Коэффициент эксплуатации (η), т/м <sup>2</sup> ×год	K <sub>п</sub>	K <sub>п1</sub>
1	8	11.3	27,9	0,857	Определяется на основе ОПИ
2	8	12.7	31,3	0,963	
3	10	29.0	71,6	1,101	

Результаты экономического сравнения вариантов показали, что совокупный экономический эффект от внедрения новой технологии по сравнению с применяемым на руднике вариантом составит 95,6 руб./т добытой руды. Экономический эффект от увеличения параметров очистных выработок при сохранении существующей технологической схемы очистных работ составит 19,3 руб./т.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи обоснования параметров подземной геотехнологии освоения месторождений алмазосодержащих кимберлитов с применением комбайновой выемки, имеющей важное значение для повышения эффективности горных работ при освоении коренных месторождений кимберлитов Якутии подземным способом.

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Обоснованы отличительные признаки и выполнена систематизация технологических схем разработки кимберлитовых трубок с применением комбайновой отбойки, на основании чего установлены

базовые варианты технологических схем слоевой системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими закладочными смесями.

2. Определены потенциально достижимые показатели производительности базовых вариантов геотехнологии с комбайновой выемкой и закладкой, исследованы основные факторы, влияющие на технико-экономические показатели комбайновой выемки, к которым относятся: количество добычных комплексов в одновременной эксплуатации, ширина фронта очистных работ на один добычной комплекс, параметры очистных выработок, продолжительность вспомогательных операций.

3. Разработана методика выбора технологических схем очистной выемки и обоснования параметров их конструктивных элементов, обеспечивающая достижение максимально возможной производительности комбайнового комплекса и интенсивности горных работ, учитывающая влияние горно-геологических условий разработки участка месторождения и технологических особенностей комбайновой выемки.

4. Путем математического моделирования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов обоснована возможность управления уровнем растягивающих напряжений, деформаций, а также вертикальных смещений за счет порядка ведения горных работ, конструктивных параметров системы разработки и деформационных свойств закладочных массивов.

5. Проведенными опытно-промышленными испытаниями в условиях рудника «Интернациональный» установлена зависимость изменения производительности комбайна при различных сечениях очистных выработок сопоставимые с данными, полученными расчетным путем. Достигнуто увеличение средней производительности добычного комплекса на 20 %, что позволяет обеспечить годовую производительность рудника одним фронтом очистных работ и сократить количество добычных комплексов.

6. На основе сравнения показателей интенсивности горных работ и экономического сопоставления вариантов рекомендована новая технологическая схема разработки трубки «Интернациональная» с увеличенными параметрами очистных выработок, формируемых в две стадии, обеспечивающая повышение производительности комбайна на 28 % и снижение себестоимости добычи в размере 95,6 руб./тонну по сравнению с применяемой технологией.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Пацкевич П.Г. О возможности использования упругого решения задач для моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и конструктивных элементов системы разработки при отработке

- кимберлитовых трубок месторождения им. М.В. Ломоносова - ГИАБ, № 4, 2003. с.25–27.
2. Пацкевич П.Г., Родионов Ю.И. О порядке ведения горных работ на руднике «Интернациональный» - ГИАБ, № 7, 2003. с.24-27.
3. Замесов Н.Ф., Айнбиндер И.И., Звеков В.А., Овчаренко О.В., Пацкевич П.Г., Родионов Ю.И. Подземная разработка рудных месторождений в сложных горнотехнических условиях - Горный журнал, № 4, 2005. с.36-39.
4. Галченко Ю.П., Пацкевич П.Г., Родионов Ю.И. Исследование геоэкологических последствий применения вариантов слоевых систем при отработке трубкообразных рудных тел - Экологические системы и приборы, № 3, 2006. с.20-23.
5. Пацкевич П.Г. Обоснование порядка выемки запасов блока с целью обеспечения заданных параметров деформаций и смещений горного массива. На примере рудника «Интернациональный». // 7-я международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Материалы докладов. Т.3. М.: КДУ, 2005. с.101-102.
6. Пацкевич П.Г. Геомеханическое обоснование геотехнологии отработки подземных запасов трубки «Интернациональная» // Материалы 2-й международной научной школы «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Москва. ИПКОН РАН. 2005. с.89-91.
7. Пацкевич П.Г. Повышение интенсивности слоевой системы разработки с закладкой и комбайновой отбойкой руды на руднике «Интернациональный» // Материалы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», УРАН ИПКОН РАН, 11-14 ноября 2008 г. с.167-169.
8. Пацкевич П.Г. Систематизация технологических схем подземной разработки трубкообразных рудных тел с комбайновым способом добычи и закладкой выработанного пространства // Труды конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». Новосибирск. 28 июня-2 июля 2010 г. с.113-117
9. Пацкевич П.Г. Систематизация технологических схем подземной разработки трубкообразных рудных тел с комбайновым способом добычи и закладкой выработанного пространства и исследование показателей их интенсивности // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 7 Международной школы молодых ученых и специалистов. 15-19 ноября 2010 г. с.264-267.

---

Лицензия ЛР №21037 Подписано в печать с оригинал-макета 18.05.2011 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Future multitech». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 186.

---

Издание УРАН ИПКОН РАН  
111020 г. Москва, Крюковский тупик, д. 4