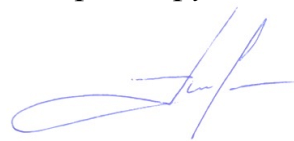


*На правах рукописи*



**КУРЧИН ГЕОРГИЙ СЕРГЕЕВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ  
ПОЛНОТЫ И КАЧЕСТВА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ  
РАЗРАБОТКЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ РУД**

Специальность 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»  
(технические науки)

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

Красноярск – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Научный  
консультант

**Айнбиндер Игорь Израилевич,**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Никольский Александр Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, лаборатория подземной разработки угольных месторождений, заведующий лабораторией  
**Лизункин Михаил Владимирович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», кафедра «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», профессор  
**Мажитов Артур Маратович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра разработки месторождений полезных ископаемых, профессор

Ведущая организация

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

Защита состоится «29» мая 2024 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.404.09 при ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 219.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: <https://www.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года

Учёный секретарь  
диссертационного совета



М.С. Попова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Экономика большинства субъектов Российской Федерации неразрывно связана с развитием горнодобывающей промышленности. В наибольшей степени это касается северных территорий, таких как Республика Саха (Якутия), где добыча полезных ископаемых составляет порядка 59 % экономики региона. Для этих регионов минерально-сырьевой комплекс ещё долгие годы будет определяющим в социально-экономическом развитии.

В этой связи необходимость рационального использования природных ресурсов становится всё более актуальной проблемой для горной промышленности из-за объективного ухудшения горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений, таких как обеднение рудной базы, увеличение глубины ведения горных работ и, как следствие, рост издержек производства. В настоящее время рациональное недропользование, по сути, является компромиссом между необходимостью добычи полезных ископаемых для обеспечения хозяйственной деятельности и избеганием негативных воздействий на недра и экологию.

В этой связи становится очевидной необходимость комплексного использования минеральных ресурсов, выражающаяся в уменьшении потерь полезного ископаемого и сохранении природной ценности руды при добыче. Высокие количественные потери полезного ископаемого при добыче приводят к раннему истощению месторождения и сокращению сроков существования горного предприятия. Для покрытия потребностей в минеральном сырье требуются значительные дополнительные затраты на разведку и ввод в эксплуатацию новых месторождений взамен выбывших. В свою очередь, с ростом разубоживания снижается извлечение при обогащении, возрастают объёмы отходов производства, что приводит к увеличению техногенной нагрузки на окружающую среду.

Анализ мирового опыта отработки алмазосодержащих месторождений показывает, что при переходе от открытой разработки к подземной в большинстве случаев предприятия выбирают сравнительно недорогие и производительные системы с принудительным обрушением и массовым самообрушением для подземной добычи. Однако эти системы разработки не могут обеспечить высокие

показатели извлечения. Так, разубоживание достигает 25–27 %, а потери руды варьируются в пределах 15–20 % и более.

Для исключения данных недостатков и учитывая сложные горно-геологические условия отработки алмазосодержащих руд, на подземных рудниках АК «АЛРОСА» применяются системы с механизированной отбойкой и закладкой выработанного пространства, а также с комбинированной отбойкой и закладкой. Применение таких систем разработки позволяет рационально использовать недра, обеспечить безопасность ведения работ и высокие показатели извлечения из недр.

Тем не менее, повышение полноты и качества отработки запасов полезных ископаемых имеет огромное значение, поскольку это один из главных резервов улучшения экономической эффективности деятельности горных предприятий. В связи с этим обоснование методологии нормирования потерь и разубоживания при подземной добыче алмазосодержащих руд является актуальной научной проблемой, решение которой позволяет совершенствовать технологические процессы добычи и снизить техногенное воздействие на окружающую среду.

Поэтому научно-обоснованное планирование и нормирование потерь и разубоживания при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства на крупнейших месторождениях Якутии приобретает на нынешнем этапе социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) и компании АК «АЛРОСА» особую актуальность.

Основой диссертационной работы послужили результаты многолетних исследований, выполненных автором на подземных рудниках АК «АЛРОСА».

**Цель работы** – разработка научно-обоснованной методологии нормирования потерь и разубоживания руды при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства.

**Идея работы** заключается в том, что нормирование показателей извлечения при разработке алмазосодержащих руд подземным способом системами с закладкой выработанного пространства основывается на изучении, оценке и учёте системы горно-геологических, технологических, экономических и экологических факторов, влияющих на формирование потерь и разубоживания руды.

**Задачи исследований:**

1. Выполнить анализ и обобщение практики комбинированной отработки запасов высокоценного сырья и алмазосодержащих руд.
2. Выявить и исследовать закономерности формирования потерь и разубоживания алмазосодержащих руд по местам и источникам образования при подземной отработке системами с закладкой выработанного пространства и установить основные факторы, влияющие на их величину.
3. Изучить влияние геологических, горнотехнических, экономических и экологических факторов на показатели извлечения при подземной добыче алмазосодержащих руд.
4. Систематизировать эксплуатационные потери и разубоживание алмазосодержащих руд, формирующиеся при подземной добыче системами с закладкой выработанного пространства
5. Разработать методику нормирования эксплуатационных потерь и разубоживания, учитывающую технологические и конструктивные особенности применяемых геотехнологий для подземной добычи алмазосодержащих руд.
6. Установить влияние параметров и формы рабочего органа на величину потерь в массиве при комбайновой выемке алмазосодержащих руд.
7. Разработать алгоритмы определения абсолютных величин теряемой руды и объёмов вовлекаемой в добычу разубоживающей массы при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства.
8. Оценить влияние формы извилистости геологического и техногенного контактов на величину потерь и разубоживания при подземной добыче системами с закладкой выработанного пространства.

**Объект исследования** системы и технологии подземной разработки алмазосодержащих руд.

**Предмет исследования** потери и разубоживание алмазосодержащих руд при подземной добыче системами с закладкой выработанного пространства и механизированной или комбинированной отбойкой.

**Методы исследований.** При выполнении работы использован комплекс методов исследований, включающий обобщение и анализ результатов ранее выполненных исследований, изучение нормативно-методических документов, производственные эксперименты, методы математического и имитационного моделирования технологических процессов, методы прикладной математики и математической статистики для обработки результатов экспериментальных исследований, теоретические и графоаналитические методы исследования.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Систематизация факторов, влияющих на величину потерь и разубоживания при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, осуществляется исходя из механизмов их возникновения и возможности управления полнотой и качеством извлечения запасов применяемыми технологиями.

2. Обеспечение полноты использования балансовых запасов при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства осуществляется с учётом влияния разубоживания закладочным материалом на эколого-экономическую оценку потерь и разубоживания полезного ископаемого и технологические показатели обогащения.

3. Закономерности образования потерь и разубоживания алмазосодержащих руд месторождений Якутии при подземной разработке с закладкой выработанного пространства осуществляется на основе выявления условий формирования мест и источников их образования

4. Нормирование потерь и разубоживания при отработке алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства производится на основе раскрытия механизмов их возникновения по каждому месту и источнику образования с учетом особенностей технологии выемки запасов и формы рабочего органа оборудования, применяемого на отбойке.

5. Алгоритмы определения показателей полноты и качества извлечения запасов при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства составляются на основе математической отработки статистических

данных и результатов графоаналитического моделирования технологических процессов добычи руды.

**Научная новизна** исследований и полученных результатов заключается в:

- установлении закономерностей формирования потерь и разубоживания и систематизации факторов, влияющих на показатели полноты и качества извлечения при подземной добыче алмазосодержащих руд системами разработки с закладкой выработанного пространства, на основе раскрытия механизмов их возникновения и возможностей управления воздействия на них применяемыми технологиями;

- обосновании новых методов определения оптимального соотношения потерь и разубоживания при отработке запасов на геологических и техногенных контактах, с учётом особенностей их морфологии;

- разработке методики расчёта и управления показателями полноты и качества извлечения из недр при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, учитывающая особенности технологии выемки, экономико-экологическую оценку потерь и разубоживания полезного ископаемого и стадию технологического процесса, на котором они происходят;

- установлении зависимости изменения текущей величины потерь и разубоживания от размеров и формы рабочего органа добычного комбайна;

- обосновании принципов формирования оптимальной структуры выемочной единицы, с учетом влияния эколого-экономических факторов, потерь и разубоживание при добыче алмазосодержащих руд;

- обосновании структуры алгоритмов определения абсолютных величин теряемой руды и объёмов вовлекаемой в добычу разубоживающей массы на основе математической обработки статистических данных, полученных в результате исследований мест и источников образования потерь и разубоживания руды при добыче алмазосодержащих руд системами разработки с закладкой выработанного пространства.

**Личный вклад автора состоит в** выявлении проблемы и обосновании перспективных направлений её решения; руководстве и непосредственном участии в исследованиях; сборе, обработке, анализе, обобщении и интерпретации статистических данных; исследовании условий образования потерь и разубоживания

с разработкой их систематизации при добыче высокоценного сырья системами разработки, применяемыми на рудниках «Интернациональный», «Мир» и «Айхал»; разработке методических рекомендаций по определению потерь и разубоживания при отработке алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, применяемыми на рудниках «Интернациональный», «Мир» и «Айхал»; проведении промышленных исследований и экспериментов, направленных на снижение потерь и разубоживания; координации и выполнении научно-методических и опытно-промышленных работ; разработке нормативов потерь и разубоживания для условий рудников «Интернациональный», «Мир» и «Айхал».

**Практическое значение работы** заключается в разработке и внедрении методики количественной оценки потерь и разубоживания при добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, учитывающей совокупное влияние геологических, горнотехнических, экономических и экологических факторов на показатели извлечения, и её адаптация к особенностям разработки кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции.

Разработанные и внедренные методики планирования и нормирования потерь руды при отработке месторождений слоевыми и камерными системами с твердеющей закладкой вошли в аннотированный обзор-указатель «Основные нормативно-правовые и методические документы законодательства о недрах и других отраслей законодательства, регламентирующих вопросы подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений твердых полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с пользованием недрами» и могут применяться в различных горно-геологических и горнотехнических условиях кимберлитовых месторождений при проектировании, научных исследованиях, внедрении, а также создании новых геотехнологий разработки высокоценного сырья.

По разработанным методикам нормирования и планирования показателей потерь руды слоевыми и камерными системами с твердеющей закладкой определены проектные величины потерь и разубоживания при отработке



кимберлитовых трубок Якутии подземным способом в составе технических проектов, согласованных ЦКР ТПИ Роснедра.

Разработаны способы определения величины подработки твердеющей закладки при механическом и взрывном разрушении рудного массива.

**Достоверность научных результатов подтверждается:** надежностью и представительным объёмом исходных данных; использованием современных программных средств при разработке и проведении компьютерного моделирования; большим объёмом промышленных экспериментов по определению и сокращению потерь полезных ископаемых; сходимостью результатов теоретических расчётов с практическими данными, внедрением рекомендаций в практику.

**Реализация результатов работы.** Подготовлены и внедрены «Методика планирования и нормирования потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Айхал», «Методика планирования и нормирования потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Мир», «Методика планирования и нормирования потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Интернациональный», «Руководство по нормированию потерь руды при отработке месторождения трубки «Айхал» камерной системой с закладкой». Данные документы вошли в аннотированный обзор-указатель «Основные нормативно-правовые и методические документы законодательства о недрах и других отраслей законодательства, регламентирующих вопросы подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений твердых полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с пользованием недрами». Также основные научные положения и практические решения диссертации использованы в научно-методическом обеспечении учебного процесса ФГАОУ ВО СФУ при подготовке горных инженеров по специальности 21.05.04 «Горное дело», специализация «Подземная разработка рудных месторождений».

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференции «Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений» (2011 г.), на международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (г. Одесса, 2012 г.), на конгрессах «Цветные металлы и минералы» (2013, 2014, 2015 гг.), на расширенных научных семинарах Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВО СФУ, на технических совещаниях института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»; «Актуальные вопросы подготовки, рассмотрения и согласования проектной документации на разработку месторождений ТПИ и практики реализации проектных решений» (г. Москва, Минприроды, ФГБУ «ВИМС», 2023 г.).

**Публикации.** Всего автор имеет 122 изданные работы. По результатам рассматриваемых исследований опубликовано 34 печатных работы, из них 25 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 2 в изданиях, входящих в международные базы данных *Scopus* и *Web of science*, 3 монографии, а также 4 патента Российской Федерации на изобретение

**Объём и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 277 наименований и 3 приложений. Работа представлена на 377 страницах машинописного текста, содержит 116 рисунков, 30 таблиц и приложения на 19 страницах.

Во **введении** изложены актуальность, степень разработанности, цель, идея и задачи исследований. Представлена новизна работы и научные положения, практическая значимость, методология и методы исследований, степень достоверности, реализация и апробация результатов. **Первая глава** посвящена анализу и обобщению опыта отработки высокоценных руд подземными геотехнологиями, в том числе особенностей горно-геологических и горнотехнических условий кимберлитовых месторождений Якутии и применяемых систем разработки, а также систематизации критериев оценки качества и полноты извлечения полезного ископаемого из недр. На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследований. **Вторая глава**

посвящена исследованиям факторов, влияющих на полноту извлечения запасов при подземной отработке алмазосодержащего сырья системами с закладкой выработанного пространства. Все факторы, оказывающие влияние на формирование потерь и разубоживания руды, объединены в три группы: геологические, горнотехнические и технологические, экономические и экологические. **В третьей главе** приведены результаты исследований, направленных на создание методики нормирования потерь и разубоживания, отличающейся от существующих учётом технологических и конструктивных особенностей применяемых геотехнологий. На основе проведенных исследований выполнена систематизация потерь и разубоживания, учитывающая технологические процессы очистных работ и конструктивные особенности систем разработки рудников «Айхал», «Интернациональный» и «Мир» АК «АЛРОСА». **Четвёртая глава** посвящена научному обоснованию методологии особенностей формирования потерь и разубоживания алмазосодержащих руд инновационными геотехнологиями. На основе проведенных натурных наблюдений и замеров получены зависимости для определения фактических потерь и разубоживания руды, обеспечивающие высокую точность расчётов количественных и качественных показателей извлечения из недр. **В пятой главе** приведены алгоритмы определения абсолютных величин теряемой руды и объёмов вовлекаемой в добычу разубоживающей массы, разработанные на основании математической обработки статистических данных, полученных в процессе опытно-промышленных исследований мест и источников образования потерь и разубоживания руды. **В заключении** диссертации обобщены результаты выполненных исследований в соответствии с поставленными задачами. Представлен **список литературы**, используемой автором при выполнении работы. В **приложении к работе** приведены материалы, подтверждающие реализацию предлагаемых методик и технических решений при подземной отработке алмазосодержащего сырья системами с закладкой выработанного пространства.

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту, доктору технических наук, профессору И. И. Айнбиндеру.

Отдельную благодарность автор выражает профессору, заведующему кафедрой ШПС ИЦМ ФГАОУ ВО СФУ С.А. Вохмину и доцентам кафедры ШПС Ю.П. Требушу и А.К. Кирсанову за постоянное внимание и помощь при проведении натурных экспериментов. Кроме того, руководителям и ведущим специалистам института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» за поддержку работы и высказанные ценные замечания и предложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых научных положениях.

**1. Систематизация факторов, влияющих на величину потерь и разубоживания при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, осуществляется исходя из механизмов их возникновения и возможности управления полнотой и качеством извлечения запасов применяемыми технологиями.**

На уровень потерь и разубоживания руды при добыче оказывает влияние большое число факторов, часть из которых непостоянны в пространстве и времени. Поэтому из всего многообразия этих факторов необходимо выделить наиболее значимых, непосредственно влияющих на величину количественных и качественных потерь полезного ископаемого.

Количество природных и производственных факторов, влияющих на величину показателей извлечения руды из недр, тем больше, чем сложнее горно-геологические и горнотехнические условия разрабатываемых месторождений. Применительно к подземной отработке алмазосодержащих руд были систематизированы все выявленные факторы, оказывающие влияние на формирование количественных и качественных потерь при добыче (рис. 1).

В основу разделения факторов были положены природа их возникновения и возможность воздействия на них, а также оценка влияния каждого фактора на уровень эксплуатационных потерь и разубоживания полезного ископаемого. Эти факторы в разработанной систематизации разделены на неуправляемые и управляемые.

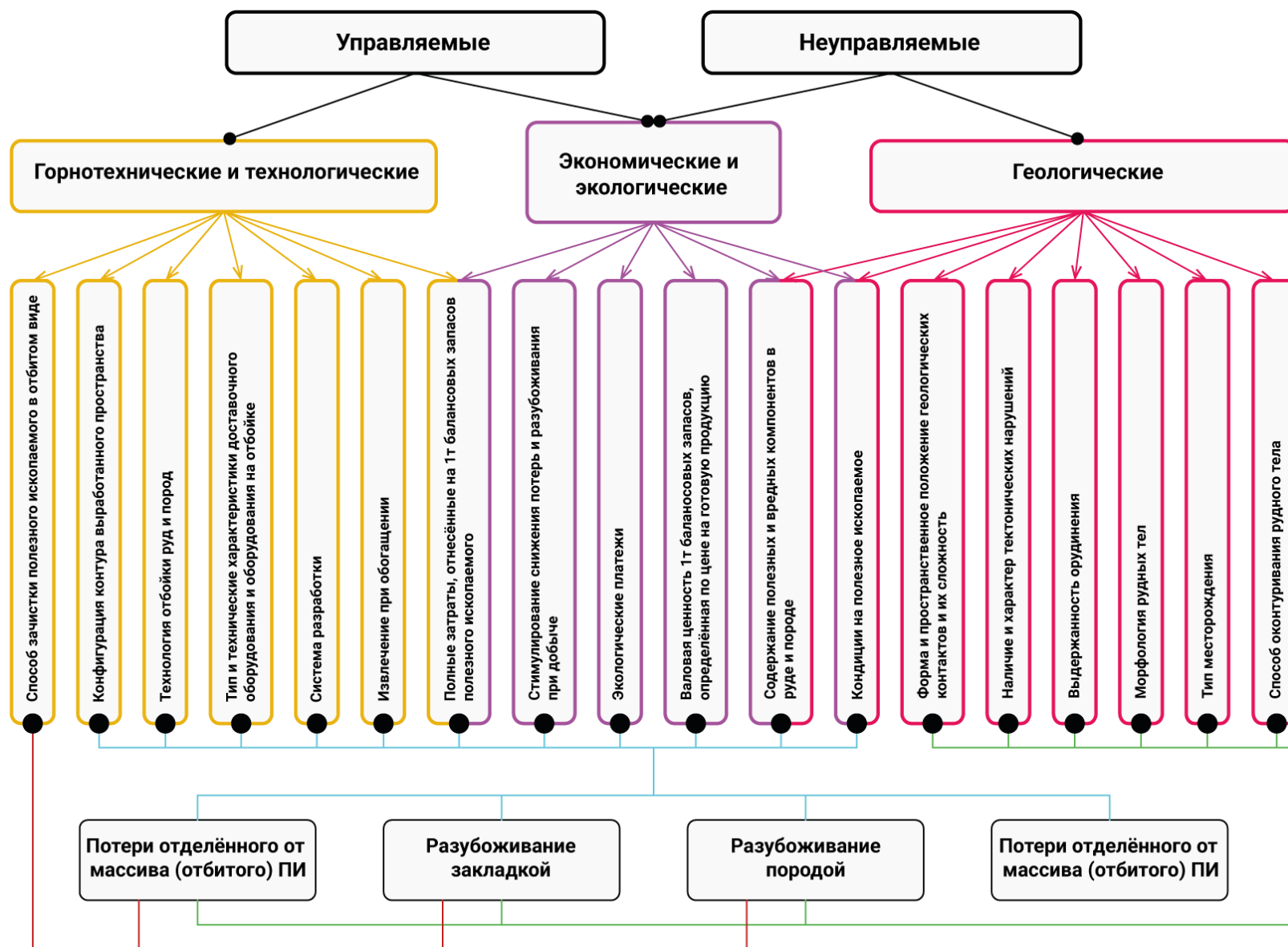


Рисунок 1 – Систематизация факторов, влияющих на формирование эксплуатационных потерь и разубоживание полезного ископаемого

К неуправляемым относятся природные факторы, такие как содержание вредных примесей и полезных компонентов, морфология рудных тел и прочие. Управляемые – это факторы, на которые в процессе добычи можно в той или иной степени влиять для изменения показателей полноты и качества извлечения полезного ископаемого. В большей степени это обоснование системы разработки, оптимизация её параметров, выбор необходимого оборудования для всех процессов добычи и переработки руды, оптимизация затрат.

При этом уровень потерь и разубоживания изменяется как от влияния отдельных факторов, так и при их совместном воздействии. Функциональная взаимосвязь между количественными и качественными потерями руды при добыче и влияющими на них факторами приведена на рис.1. Например, геологические факторы относятся к неуправляемым, при этом влияние геологической среды на качество добываемого полезного ископаемого является определяющим.

Отдельно необходимо отметить, что проведенными исследованиями установлено, что сложность геологических контактов оказывает значительное влияние на уровни потерь и разубоживания при добыче руды в приконтактной зоне. Приконтактная зона – это геометрически и технологически сложный участок месторождения, количественный и качественный состав которого формируется из руды и породы (или закладки), перемешиваемых по мере процесса добычи.

Не менее весомым является фактор тектонической нарушенности месторождений и отдельных залежей полезных ископаемых. Тектоническая нарушенность существенно усложняет разработку, вызывает серьезные трудности при производстве горных работ, оказывает значительное влияние на величины количественных и качественных потерь полезных ископаемых при добыче и требует своего учёта в каждом конкретном случае. Смещения рудных блоков относительно друг друга создают дополнительные контакты руды с вмещающими породами, сопоставимые по размерам с контактами в почве и кровле залежи и представляют собой дополнительные места образования потерь и разубоживания руд. Величины потерь и разубоживания руды, обусловленные тектонической нарушенностью залежи, достигают соответственно 32–43 % и 39–49 % от общих.

В некоторых случаях отдельно следует также учитывать фактор - выдержанность оруденения, который оказывает существенное влияние на уровень потерь и разубоживания руды при добыче. Например, при отработке алмазосодержащего сырья распределение содержаний алмазов разной крупности по рудному телу весьма неравномерно. В результате чего и ценность 1 т руды в таком случае тоже будет различна и, следовательно, должны изменяться нормативы показателей извлечения из недр.

В свою очередь горнотехнические и технологические управляемые факторы определяют возможность и эффективность извлечения и переработки выявленных запасов с использованием известных технологий и наличных технических средств. В частности, выбранная система подземной разработки должна учитывать весь комплекс геологических и горнотехнических условий отработки месторождения и обеспечивать полноту отработки запасов недр с соблюдением всех требований безопасности ведения горных работ, а также отвечать всем требованиям экологической безопасности. Например, в условиях подземных рудников АК «АЛРОСА» впервые в мировой истории были использованы геотехнологии, являющиеся совмещением во времени и пространстве слоевой системы с комбайновой отработкой запасов и камерной выемки с отбойкой руды буровзрывным способом. При этом выбранный способ отбойки полезного ископаемого характеризует эффективность дробления горной массы и качество оформления выработанного пространства. От последнего напрямую зависят показатели извлечения из недр.

Например, взрывные работы существенно влияют на несущую способность целиков, качество их оформления, появление неровностей боков целиков, и поэтому являются одним из ключевых факторов, определяющих величину потерь в целиках.

Не меньшее значение имеет и принятый способ доставки отбитой горной массы и зачистки почвы, поскольку параметры задействованного оборудования оказывают непосредственное влияние на условия формирования и величину потерь руды в отбитом виде на почве выработок и на разубоживание руды породой с почвы выработок.

Воздействие на горнотехнические и технологические факторы позволяет корректировать влияние и некоторых управляемых факторов, относящихся к группе экономических и экологических. В частности, полные затраты, отнесенные на 1 т балансовых запасов полезного ископаемого, зависят от эффективности выбранной технологии добычи, производительности труда рабочих, стоимости принятого оборудования и т.д. Другим примером может служить тот факт, что увеличение разубоживания приводит к росту себестоимости товарной продукции из-за повышения объемов горной массы, а это снижает прибыль предприятия. Еще одним негативным последствием разубоживания является необходимость постоянного увеличения площадей, занимаемых под отходы горного производства - хвостохранилища. Возрастает техногенная нагрузка на район действия горно-перерабатывающих предприятий, что неизбежно ведет к росту экологических платежей, а значит и существенному увеличению себестоимости.

Неуправляемым фактором этой группы является валовая ценность 1 тонны балансовых запасов ( $C_0$ ) определяется мировой конъюнктурой на тот или иной вид продукции горнодобывающего или горно-металлургического производства. Поскольку валовая ценность 1 т балансовых запасов определяется исходя из содержания полезных компонентов в ней, то абсолютное содержание полезных компонентов и их пространственное распределение оказывают существенное влияние на эффективность работы как горнодобывающих, так и обогащающих предприятий. Для алмазосодержащих руд ценность 1 т балансовых запасов определяется, исходя из содержания полезного компонента в товарной массе и рыночной цены, зависящей от цен на мировых рынках.

Поскольку влияние человека на неуправляемые факторы невозможно, то требуется всесторонне изучить их и учитывать при проектировании горных работ для минимизации негативного воздействия на величину потерь и разубоживания руды при добыче. Наибольший научный интерес вызывает группа управляемых факторов, которые необходимо адаптировать к современным условиям добычи алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, что позволит обеспечить рациональное использование недр



**2. Обеспечение полноты использования балансовых запасов при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства осуществляется с учётом влияния разубоживания закладочным материалом на эколого-экономическую оценку потерь и разубоживания полезного ископаемого и технологические показатели обогащения.**

На подземных рудниках АК «АЛРОСА» впервые в мировой практике применили системы разработки запасов с твердеющей закладкой выработанного пространства для подземной добычи алмазосодержащих руд.

На руднике «Интернациональный» применяется слоевая система разработки с закладкой и камерно-целиковым порядком отработки запасов в слое и нисходящим порядком выемки слоёв. Отбойка руды – комбайновая, погрузку и доставку отбитой горной массы производят с помощью дизельных или электрических ПДМ. Аналогичная система разработки применена на руднике «Мир». Запасы очистного блока по вертикали разделяются на слабонаклонные слои. В плане запасы слоя делятся на очистные ленты. В дальнейшем перешли на вариант системы, в котором после проходки разрезного штрека расширение слоёв производится с применением буровзрывных работ.

На руднике «Айхал» были испытаны различные системы разработки: с открытым очистным пространством и подэтажным обрушением; с подэтажным обрушением с выпуском руды под обрушенными породами; с частичным магазинированием руды и подэтажным обрушением. В настоящее время отработка запасов производится камерными системами с отбойкой руды скважинными зарядами и полной закладкой выработанного пространства. При этом камеры располагают в шахматном порядке.

Отличительными особенностями всех перечисленных систем является совмещение во времени и пространстве слоевой системы с комбайновой отработкой запасов и камерной выемки с отбойкой руды буровзрывным способом.

В результате исследований установлено, что в каждом из вариантов есть сходства и различия как в перечне мест и источников потерь и разубоживания, так и в величинах отдельных видов потерь или разубоживания. Например, во всех

перечисленных системах разработки предусмотрена закладка выработанного пространства бетоном. Поэтому были проведены работы по оценке влияния разубоживания бетоном на эффективность добычи и переработки руд, которые показали, что увеличение разубоживания бетоном приводит не только к ухудшению технологических показателей обогащения, но и вызывает отклонения в режимных параметрах измельчительного оборудования. Данные отклонения от технологического режима зависят не только от доли разубоживающего материала, но и от его состава. Следовательно, для повышения коэффициента извлечения полезных компонентов при переработке ( $I_c$ ) необходимо снижение разубоживания добываемой руды, а изменение коэффициента извлечения при обогащении ( $\varepsilon$ ) необходимо учитывать при нормировании показателей извлечения из недр. Расчетно-аналитическим методом была установлена зависимость извлечения при обогащении от содержания полезных компонентов

$$I_c = \varepsilon = 1 - \frac{A\alpha^B}{\alpha}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – содержание полезного компонента в руде, поступающего на переработку, %;  $A$  и  $B$  – коэффициенты уравнения, зависящие от содержания полезного компонента и принимаемые по опыту эксплуатации обогатительной фабрики.

Полученные результаты доказывают, что разубоживание руды оказывает негативное влияние на экономические показатели как добывающих, так и перерабатывающих предприятий. Поэтому, для повышения коэффициента извлечения полезных компонентов при переработке необходимо снижение разубоживания добываемой руды, а изменение коэффициента извлечения при обогащении необходимо учитывать при нормировании количественных и качественных потерь. При этом рациональная величина эксплуатационных потерь и разубоживания в условиях отработки алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства должна устанавливаться по критерию максимальной прибыли с 1 т погашаемых балансовых запасов ( $Pr$ ), который учитывает не только ценность извлекаемого сырья и технико-экономические показатели работы предприятия, но и экологические последствия отработки месторождения.

$$Pr = Ц_{\bar{o}} \cdot K_n \cdot I_c - \frac{C_{\text{тов}} \cdot K_n}{K_k}, \text{ руб./т}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{тов}}$  – себестоимость добычи, транспортировки и переработки 1 т полезного ископаемого, отнесенная к единице балансовых запасов, руб./т;  $K_n$  – коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр;  $I_c$  – сквозной коэффициент извлечения полезного компонента при переработке;  $K_k$  – коэффициент изменения качества;  $Ц_{\bar{o}}$  – валовая ценность, заключенная в 1 т балансовых запасов.

Величины потерь и разубоживания, соответствующие контуру отработки с максимальным значением  $Pr$  принимаются как нормативные.

Таким образом, с позиции нормирования потерь и разубоживания себестоимость, с одной стороны, является экономическим и экологическим фактором, влияющим на их величину, а с другой, величина себестоимости зависит от объёмов потерь и разубоживания. При этом задачу установления зависимости изменения себестоимости добычи от величины потерь и разубоживания и наоборот можно решить только применительно к конкретным горнотехническим условиям конкретных вариантов систем разработки. А поскольку в мировой практике отсутствует опыт подземной отработки алмазосодержащих руд системами разработки с механизированной отбойкой и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, то необходима разработка научно-обоснованной методики расчёта нормативных величин потерь и разубоживания по видам и местам образования. Для создания данной методики необходимо систематизировать потери и разубоживание алмазосодержащих руд.

**3. Закономерности образования потерь и разубоживания алмазосодержащих руд месторождений Якутии при подземной разработке с закладкой выработанного пространства осуществляется на основе выявления условий формирования мест и источников их образования.**

На основе проведенных исследований разработана методика нормирования потерь и разубоживания, которая основана на выделении технологических единиц и включает шесть этапов (рис. 2). Её структура предусматривает возможность

вернуться, если необходимо, к любому пройденному этапу, а также указывает на нецелесообразность проведения исследований в другой последовательности.

Технологическая единица – это наименьший технологически оптимальный участок месторождения с достоверным подсчётом исходных запасов руды, отработка которого осуществляется единой технологической схемой выемки, по которому может быть осуществлен наиболее точный учёт добытой горной массы, количественных и качественных потерь полезного ископаемого и являющийся составной частью выемочной единицы. Отличием технологической единицы от выемочной единицы является то, что списание запасов производится только по выемочной единице. Выемочная единица может состоять из нескольких технологических единиц. Такое деление позволяет внутри выемочной единицы вести учёт потерь и разубоживания по местам и источникам образования количественных и качественных потерь без повышения трудоемкости при списании запасов.

*Этап I.* Изучение технологии отработки запасов полезных ископаемых. На данном этапе проводится детальное изучение принятой системы разработки и всех процессов очистной выемки, исследуется технологическая цепь движения добытого полезного ископаемого от забоя до рудоспуска. Устанавливаются ключевые характеристики оборудования на всех стадиях отработки. Выполняются натурные наблюдения по местам образования потерь и разубоживания.

*Этап II.* Выделяются те технологические единицы, где возникают потери и разубоживание, и на условия отработки которых рассчитываются нормативные величины потерь и разубоживания. Это позволяет составить перечень этих потерь и разубоживания по видам, местам и источникам их образования. Важно учитывать, что предприятия планируют ведение горных работ на календарный год, поэтому в конце каждого периода всегда есть запасы, находящиеся на разной стадии освоения и с неполным циклом отработки (в подготовке, нарезке, очистной выемке). При этом запасы могут отрабатываться по разным технологическим схемам выемки, которые характеризуются различными показателями и уровнями потерь и разубоживания полезных ископаемых.

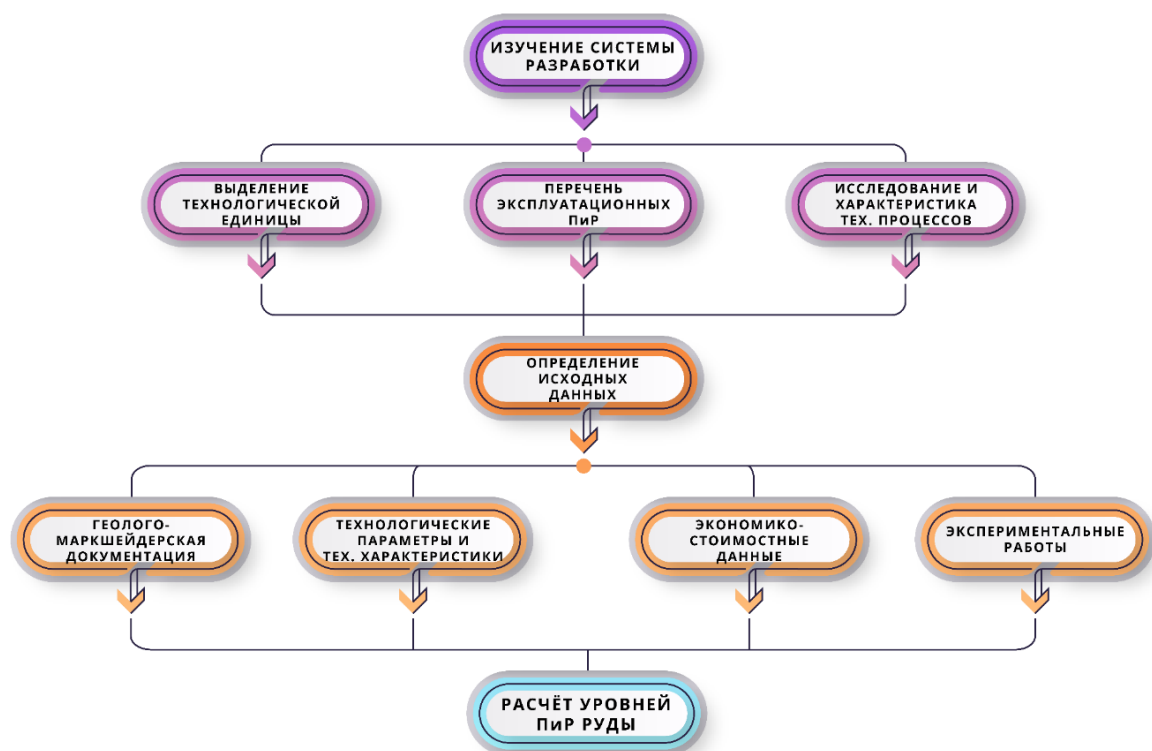


Рисунок 2 – Структура методики нормирования потерь и разубоживания

*Этап III.* Составление перечня нормируемых эксплуатационных потерь и разубоживания полезных ископаемых для каждой выделенной технологической единицы по состоянию, местам и источникам их образования (систематизация). Данные перечни составляются на условия паспортного исполнения системы разработки в целом и её отдельных технологических единиц. Потери и разубоживание подразделяются на взаимосвязанные, обособленные и конструктивные. А также на потери в массиве и в отбитом виде, разубоживание породой и бетоном. В разработанной систематизации принимаются два новых признака: технологический процесс очистных работ и технологическая единица.

*Этап IV.* Выявление причинно-следственных связей влияния процессов очистной выемки на формирование потерь и разубоживания полезного ископаемого в технологической единице.

Наибольшее влияние на величину потерь и разубоживания оказывает форма извилистости геологического контакта. Зона извилистости контакта или зона контактной неопределённости (зона стохастичности) ограничивается линиями, проведенными касательно по «выступам» и «впадинам» контура геологического

контакта. Исследованиями было установлено, что формы извилистости геологических контактов в приконтактной зоне в расчётах можно привести к следующим правильным формам – пилообразная, синусоидальная, П-образная и плоская (рис.3). В качестве плоской формы контакта принимается контакт с непротрачиваемой извилистостью в границах очистной выработки. Для остальных в этой зоне снижение потерь руды влечёт за собой увеличение уровня разубоживания руды и наоборот. При ведении добычных работ в этой зоне изменения геологического контакта проявляется экономическая взаимосвязь между уровнем потерь руды в массиве и величиной подработки вмещающих пород – снижение потерь руды влечет за собой увеличение уровня разубоживания руды и наоборот. Эту взаимосвязь в общем виде можно представить зависимостью рис.4.

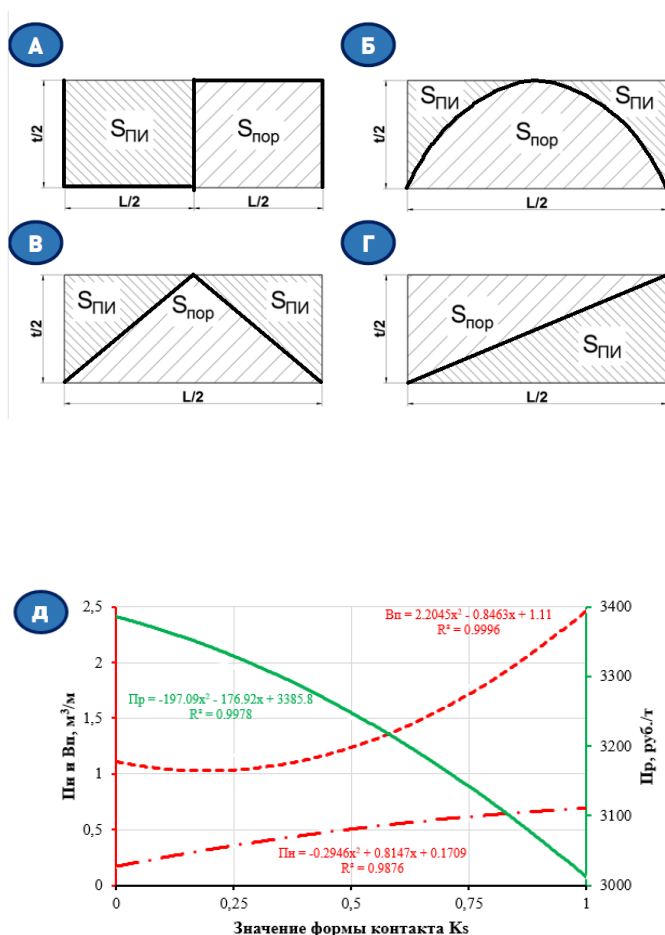


Рисунок 3 - Формы геологического контакта: а – прямоугольная форма контакта (значение показателя формы контакта  $K_S = 1,0$ ); б – синусоидальная форма контакта (значение показателя формы контакта  $K_S = 0,63$ ); в – пилообразная форма контакта (значение показателя формы контакта  $K_S = 0,5$ ); г – прямая (линейная) форма контакта (значение показателя формы контакта  $K_S = 0,0$ );  $L$  – длина волны в зоне изменения контакта;  $t$  – ширина зоны изменения контакта (амплитуда); д – зависимость изменения прибыли 1 т погашенных балансовых запасов от показателя формы контакта

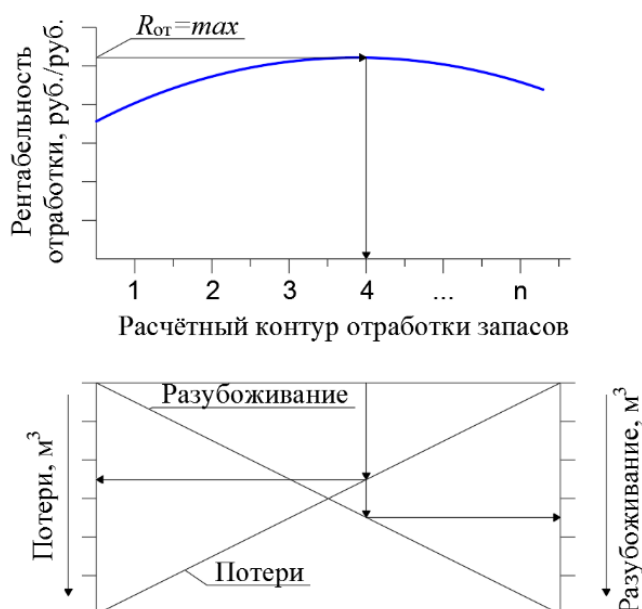


Рисунок 4 - Схема определения оптимального соотношения взаимосвязанных потерь и разубоживания руды

Анализ графических построений показывает, что для пилообразной, синусоидальной и П-образной форм закономерность в соотношении площадей полезного ископаемого и породы внутри зоны извилистости геологического контакта прослеживается вполне четко и оценивается величиной порядка 50:50 при достоверной оценке  $\approx 90\%$ .

Каждая форма контакта характеризуется отношением площади пород или полезного ископаемого в сечении расчётного блока к полной площади расчётного блока:

$$K_s = \frac{S_{\text{пор}}^{\phi}}{S} \text{ или } K_s = \frac{S_{\text{пи}}^{\phi}}{S}, \quad (3)$$

где  $K_s$  – показатель формы контакта (рис.4);  $S = \frac{L \cdot t}{4}$  – среднее значение фактической площади расчётного блока,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – среднее значение длины волны в зоне изменения контакта,  $\text{м}$ ;  $t$  – среднее значение ширины (амплитуды) зоны изменения контакта,  $\text{м}$ ;  $S_{\text{пор}}^{\phi}$ ,  $S_{\text{пи}}^{\phi}$  – среднее значение фактической площади вмещающих пород или полезного ископаемого в границах расчётного блока,  $\text{м}^2$ .

На графике (рис. 5) показано изменение прибыли от угла падения рудного тела для плоского контакта, характерного для рудников «Мир», «Интернациональный» и «Айхал».

*Этап V.* Определение исходных данных для расчёта нормативов потерь и разубоживания руды, выбор метода расчёта нормативов потерь и разубоживания руды по каждому виду, месту и источнику их образования.

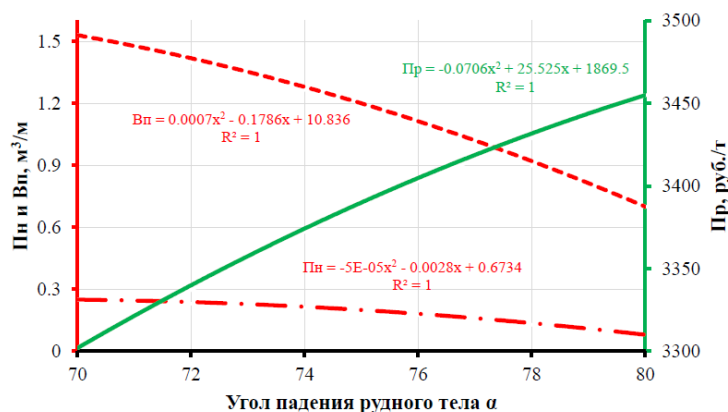


Рисунок 5 — Зависимость величины прибыли от формы контакта при различных углах падения рудного тела

*Этап VI.* Расчёт нормативов потерь и разубоживания полезных ископаемых по каждому виду, месту и источнику их образования.

Разработанные систематизации потерь и разубоживания для условий подземных рудников АК «АЛРОСА» составлены с учётом требований действующих нормативных документов по охране недр. При этом учитывается состояние теряемого полезного ископаемого, изменение его качественных характеристик, стадия технологического цикла добычи, на которой произошли потери или изменение качества минерального сырья, технология ведения горных работ, место, где изменилось качество полезного ископаемого и технологическая единица, в которой произошли потери. В табл. 2 и 3 приведены фрагменты систематизации эксплуатационных потерь и разубоживания руды при отработке запасов технологических единиц. На следующем этапе необходимо исследовать взаимосвязи формирования потерь и разубоживания руды и механизма и механизма их возникновения для определения нормативных величин количественных и качественных потерь руды.

**4. Нормирование потерь и разубоживания при отработке алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства производится на основе раскрытия механизмов их возникновения по каждому месту и источнику образования с учетом особенностей технологии выемки запасов и формы рабочего органа оборудования, применяемого на отбойке.**

Натурными исследованиями установлено, что основная масса потерь руды и прихват разубоживающего материала формируется на геологическом или техногенном контактах. Выемка запасов комбайнами приводит к формированию



извилистого контура рудного бока. Это приводит к образованию потерь отбитой руды в плинтусах из-за невозможности полной зачистки почвы и разубоживанию закладки при выемке руды в смежной выработке.

Для определения характеристик извилистости контакта на рудниках «Айхал», «Мир» и «Интернациональный» были выполнены исследования и установлено, что показатель формы контакта находится в диапазоне  $0,52 \div 0,55$ , что соответствует пилообразной форме контакта.

Для комбайнового способа выемки запасов характерна закругленность угловых частей контура выработанного пространства, обусловленная параметрами резцовой коронки комбайна. Данные закругления формируются торцевой частью бара при повороте стрелы комбайна. Радиус закруглений угловых частей выработок зависит от параметров комбайна и ширины выработки и определяется по формуле 6.

$$R = R_{\text{стр}}^{0,5} \left( d/b_v \right)^{0,75} - 0,08 \cdot R_{\text{стр}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр резцовой коронки комбайна, м;  $R_{\text{стр}}$  – радиус поворота стрелы комбайна, м;  $b_v$  – ширина выработки, м.

Анализ полученных зависимостей (рис. 6) показал, что с увеличением диаметра бара комбайна возрастает радиус закругления угловых частей выработок, а это приводит к росту потерь руды.

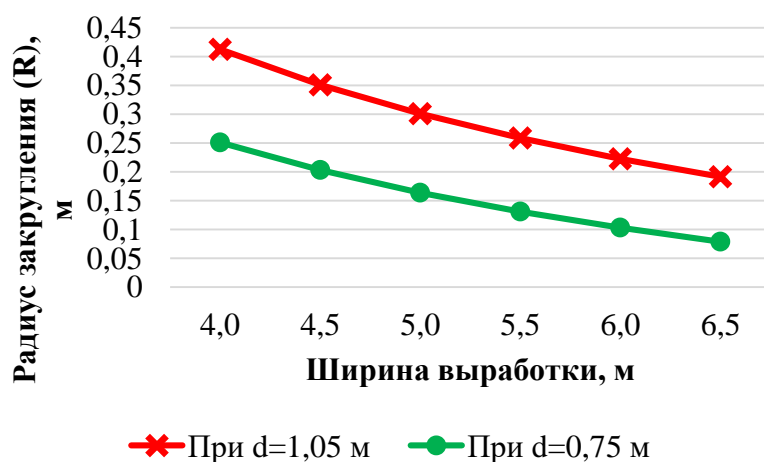


Рисунок 6 – Зависимость радиуса закругления контура выработки в угловых частях при комбайновой выемке запасов от ширины выработки и диаметра рабочего органа

При отбойке с помощью БВР, закругленность угловых частей контура выработанного пространства зависит от диаметра шпура или скважины ( $d_{ш}$ ). При отбойке руды с использованием БВР:

$$R = 4,4 \cdot d_{ш} + 0,22, \text{ м}, \quad (5)$$

Таблица 2 – Систематизация эксплуатационных потерь руды при отработке запасов технологических единиц: защитного перекрытия (разрезного слоя – РС), камерных запасов системами с плоской (СКС-ПК) и с шатровообразной (СКС-ШК) кровлей, камерных запасов по камерно-целиковой схеме слоями с нисходящим порядком выемки в три стадии (КЦСН-ТЗ), запасов подэтажей системой с закладкой выработанного пространства с нисходящим порядком выемки руды горизонтальными (слабонаклонными) слоями (КЦСН)

Наименование потерь или разубоживания ПИ (вид, место)	Условные обозначения	РС				СКС-ПК				СКС-ШК				КЦСН-ТЗ						КЦСН						Условия образования потерь и разубоживания ПИ			
		Технологическая единица																											
		1РШ/РС	1ОЛ/РС	2ОЛ/РС	3ОЛ/РС	ВСК	ОВСК	ОПК	ОНСК	НСК	ВСК	ОПК	НСК	ВСК			ОПК			НСК			ОС				СС		
														I стадия	II стадия	III стадия	I стадия	II стадия	III стадия	I стадия	II стадия	III стадия	1РШ/ОС	1ОЛ/ОС	2ОЛ/ОС		1РШ/СС	1ОЛ/СС	2ОЛ/СС
Потери руды в массиве																													
<b>В замках по кровле по боку:</b>																													Обусловлены техническими возможностями оборудования на отбойке руды, определяющих величину радиуса закруглений
бетонному	<i>Пн(з/бб/кр)</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
породному	<i>Пн(з/пб/кр)</i>	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	
<b>В замках по почве по боку:</b>																													
рудному	<i>Пн(з/рб/п)</i>	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
бетонному	<i>Пн(з/бб/п)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>породному</i>	<i>Пн(з/пб/п)</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 3 – Систематизация эксплуатационного разубоживания руды при отработке запасов технологических единиц: защитного перекрытия (разрезного слоя – РС), камерных запасов системами с плоской (СКС-ПК) и с шатровообразной (СКС-ШК) кровлей, камерных запасов по камерно-целиковой схеме слоями с нисходящим порядком выемки в три стадии (КЦСН-ТЗ), запасов подэтажей системой с закладкой выработанного пространства с нисходящим порядком выемки руды горизонтальными (слабонаклонными) слоями (КЦСН)

Наименование потерь или разубоживани я ПИ (вид, место)	Условные обозначен ия	РС				СКС-ПК				СКС-ШК				КЦСН-ТЗ									КЦСН						Условия образования потерь и разубожива ния ПИ			
		Технологическая единица																														
		1РШ/РС	1ОЛ/РС	2ОЛ/РС	3ОЛ/РС	ВСК	ОВСК	ОПК	ОНСК	НСК	ВСК	ОПК	НСК	ВСК			ОПК			НСК			ОС			СС						
														I стадия	II стадия	III стадия	I стадия	II стадия	III стадия	I стадия	II стадия	III стадия	1РШ/ОС	1ОЛ/ОС	2ОЛ/ОС	1РШ/СС	1ОЛ/СС	2ОЛ/СС				
Разубоживание руды породой																																
<i>С бока</i>	<i>Bn(nδ)</i>	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	За счёт несовпаден ия контура отработки с плоскостью геологическ ого контакта при отбойке руды
<i>С торца</i>	<i>Bn(nm)</i>	-	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	
<i>Конструктив ное</i>	<i>Bn(κ/nδ)</i>	- +	-	-	-	- +	-	- +	-	- +	- +	- +	- +	- +	-	-	-	- +	-	-	- +	-	-	- +	-	-	- +	-	- +	-	-	
Разубоживание руды закладочным материалом (бетоном)																																
<i>С бетонного бока</i>	<i>Bδ(δδ)</i>	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	

Извилистость бока выработки влияет на величину потери руды в отбитом виде в форме плинтусов. Плинтуса вдоль боков очистных выработок формируются в процессе отгрузки отбитой руды и последующей зачистки почвы выработки.

При подработке закладки по боку лент происходит подработка плинтусов, оставляемых вдоль рудных боков в отрабатываемом слое, и подработка зажимов отбитой руды по почве вышележащего слоя, то есть с увеличением толщины подработки закладки уменьшаются потери и наоборот.

На подземных рудниках АК «АЛРОСА» по результатам проведенных замеров плинтусов суммарной протяженностью 866 м установлено, что разубоживание теряемой руды в отбитом виде и коэффициент разрыхления в плинтусах соответствует общему разубоживанию руды в очистных выработках.

Ширина прихвата бетона с бока при механической отбойке определялась по запатентованному методу с использованием разрушаемых реперов. В шпуре на фиксированную глубину неподвижно закрепляется репер. После этого в выработанное пространство подается твердеющая закладочная смесь. При отработке руды в смежной выработке происходит подработка бетонного бока и разрушение стержня, находящегося в рудном массиве и в приконтактной зоне массива твердеющей закладки. Величину подработки твердеющей закладки определяют по формуле:

$$\Delta = L - L_1 - L_2, \text{ м}, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – толщина подработки массива твердеющей закладки;  $L$  – полная длина несквозной полости, расположенной внутри стержня;  $L_1$  – длина заглубления стержня в отверстии рудного массива;  $L_2$  – длина несквозной полости, оставшейся после разрушения рудного массива.

Обработка результатов показала, что средняя величина прихвата бетонного бока на рудниках «Айхал», «Мир» и «Интернациональный» составляет 0,331 м, 0,415 м и 0,35 м соответственно. Ширина прихвата бетоном с бока при буровзрывной отбойке определялась по запатентованному методу с использованием неразрушаемых реперов. Принцип аналогичен вышеописанному. Отличия заключаются в том, что

разрушение рудного массива осуществляется с помощью БВР. При этом полностью обнажается часть стержня, находящаяся в полости в рудном массиве, и часть стержня, находящаяся в закладке вследствие её разрушения при БВР.

Результаты натурных исследований, проведенных на рудниках «Айхал» и «Мир», показали, что средняя ширина прихвата бетона с бока смежных выработок при отбойке с использованием БВР составляет 0,457 м и 0,577 м соответственно. Разубоживание бетоном также возникает в результате подработки закладочного массива с плоской кровли и боков при выемке камер.

Для определения величины подработки бетона с кровли по пикетам и планам проведены замеры прихвата бетона с кровли и бока камерных выработок.

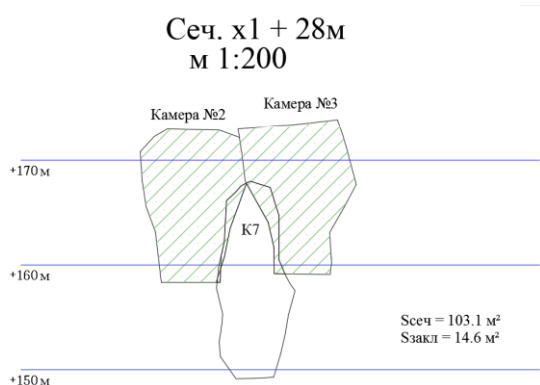
Данное разубоживание бетоном возникает в результате подработки закладочного массива с кровли камерных выработок системы разработки с шатровообразной кровлей. Прихват бетона с кровли отрабатываемой камеры обусловлен подработкой почвы заложённой камеры смежного выше расположенного подэтажа и формированием устойчивого свода по кровле отрабатываемой камеры при отбойке руды с использованием БВР. Для определения величины подработки бетона с кровли по пикетам и планам через 2,0 м были проведены замеры прихвата бетона с кровли и бока камерных выработок (рис. 7). Суммарная длина обследованных выработок составила 455 м. Нормативная величина разубоживания бетоном с кровли определяется из выражения:

$$B_{\text{б(кр)}} = \left( \frac{(B_{\text{б}} - b_{\text{бдв}}) \cdot \text{tg}\theta}{4} \cdot \left( \frac{\pi \cdot \text{tg}\theta}{2} - 1 \right) + \left( \frac{b_{\text{бдв}}^2 \cdot \text{tg}\theta}{4} \right) \right) \cdot L_{\text{к}} \cdot \gamma_{\text{б}}, \text{ Т}, \quad (7)$$

где  $\theta$  – угол наклона откоса днища, град.;  $B_{\text{к}}$  – ширина камеры, м;  $b_{\text{бдв}}$  – ширина буро-доставочной выработки, м;  $L_{\text{к}}$  – длина камеры по кровле, м.

Разубоживание породой с бока слоевых выработок формируется при отработке руды на контакте с вмещающими породами и характерны для выработок разрезного слоя, на участках контактов руды с вмещающими породами по бокам выработок. Для определения величины подработки породы с бока по пикетам и планам проведены замеры отклонения контура горных работ от геологического контакта с суммарной длиной 455 м.

а)



б)

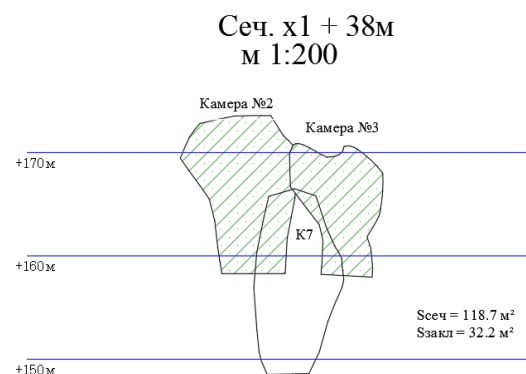


Рисунок 7 – Формирование подработки закладочного массива с кровли камеры:  
а, б – подработка закладочного массива при выемке камерных запасов

Расчёт величины прихвата пород с бока выполнен по данным анализа пикетной съёмки поперечных сечений отработанных лент № 55–75. Средняя величина подработки составила 0,76 м для рудника «Айхал», 0,89 м – для рудника «Интернациональный», 0,67 м – на руднике «Мир».

Аналогично исследовано разубоживание руды породой с торца. Были замерены величины прихвата породы по маркшейдерским планам и замерам с учётом расположения выработок и геологического контакта. Установленные вышеприведенные выражения рекомендуется использовать при определении нормативных величин потерь и разубоживания при отработке алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства.

**5. Алгоритмы определения показателей полноты и качества извлечения запасов при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства составляются на основе математической отработки статистических данных и результатов графоаналитического моделирования технологических процессов добычи руды.**

Математическая обработка статистических данных, полученных в результате исследований мест и источников образования потерь и разубоживания руды при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, позволяет разработать алгоритмы определения абсолютных величин теряемой руды и объёмов, вовлекаемой в добычу разубоживающей массы. Расчёт

нормативных уровней потерь и разубоживания руды при отработке запасов алмазосодержащих руд производится в определённой последовательности по технологическим единицам принятой системы разработки. Ниже приведены примеры.

В рассматриваемых системах разработки алмазосодержащих руд в первую очередь проходят разрезной слой, выемка запасов которого начинается с проходки разрезного штрека (или орта) первой очереди (1РШ/РС) по геологическому контакту. При этом формируются потери руды в замках и разубоживание породой с борта РШ. Расчёт нормативных величин взаимосвязанных потерь руды  $Пн(з/пб/кр)$  и разубоживания  $Вп(пб)$  основан на определении контура подработки породного бока, обеспечивающего максимум прибыли с 1т погашаемых балансовых запасов при отработке. Данный контур является оптимальным.

Нормативная величина потерь руды в массиве в виде замка по кровле породного бока  $Пн(з/пб/кр)$  и величина разубоживания руды породой с породного бока  $Вп(пб)$  определяются по формулам:

$$Пн_{(з/пб/кр)} = \frac{1}{2} \cdot L_{пб} \cdot \gamma_p \cdot \left( \frac{H \cdot \mu_s}{1 + \mu_s} \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + 1 \right) \right) + S_{змк(90^\circ)}^p, \text{ Т}, \quad (8)$$

$$Вп_{(пб)} = \frac{1}{2} \cdot L_{пб} \cdot \gamma_p \cdot \left( \frac{H}{1 + \mu_s} \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + 1 \right) \right) - S_{змк(90^\circ)}^п, \text{ Т}, \quad (9)$$

где  $H$  – высота РШ, м;  $\alpha$  – угол падения рудного тела, град.;  $S_{р/змк(90^\circ)}$  – площадь рудного замка в угловой части по кровле РШ при угле между сторонами замка, равного 90 град.;  $L_{пб}$  – суммарная длина породного бока выработки, м;  $S_{п/змк(90^\circ)}$  – площадь породного замка в угловой части по почве РШ при угле между сторонами замка, равного 90 град.

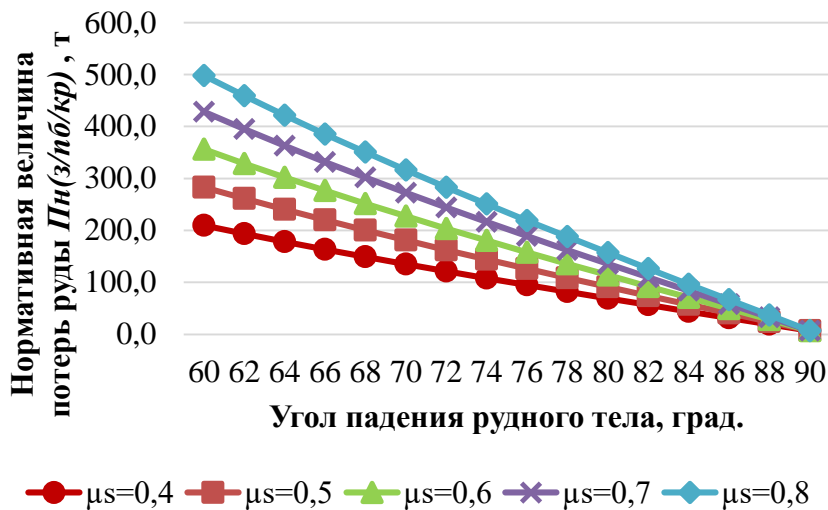
Зависимости изменения нормативных величин потерь руды  $Пн(з/пб/кр)$  и разубоживания руды породой  $Вп(пб)$  от угла падения рудного тела и коэффициента площадного отношения высоты рудного участка ( $h_p$ ) по боку РШ к породному участку ( $h_n$ ) на оптимальном контуре выемки запасов приведены на рис.8. Для систем разработки КЦСН и КЦСН-ТЗ нормативные величины потерь руды в отбитом виде в зажимах подсыпки по почве вдоль породного бока РШ (рис. 10) рассчитываются по ф-лам 10 и 11:

$$Po_{(3/пб/п)} = \frac{\left( \frac{h_{подс.}}{tg\beta} + 2 \cdot \left( \frac{h_{п(опт)}^{РШ}}{tg\alpha} - \frac{h_{пл(пб)}^{РШ}}{tg\beta} + \frac{h_{р(опт)}^{ВСК}}{tg\alpha} \right) \right) \cdot h_{подс.} + S_{заж(90^\circ)}}{2 \cdot K_p \cdot (1 + \rho^{РШ})} \cdot L_{пб} \cdot \gamma_p, \text{ Т}, \quad (10)$$

при  $b^{РШ}_{пл/пб} > b^{РШ}_{пп} + K^{ВСК}_{опт}$  формула примет вид:

$$Po_{(3/пб/п)} = \left( \frac{h_{подс.} - \left( \left( \frac{h_{пл(пб)}^{РШ}}{tg\beta} - \frac{h_{п(опт)}^{РШ}}{tg\alpha} - \frac{h_{р(опт)}^{ВСК}}{tg\alpha} \right) \cdot tg\beta \right)^2}{2tg\beta} + S_{заж(90^\circ)} \right) \cdot \frac{L_{пб} \cdot \gamma_p}{K_p \cdot (1 + \rho^{РШ})}, \text{ Т} \quad (11)$$

а)



б)

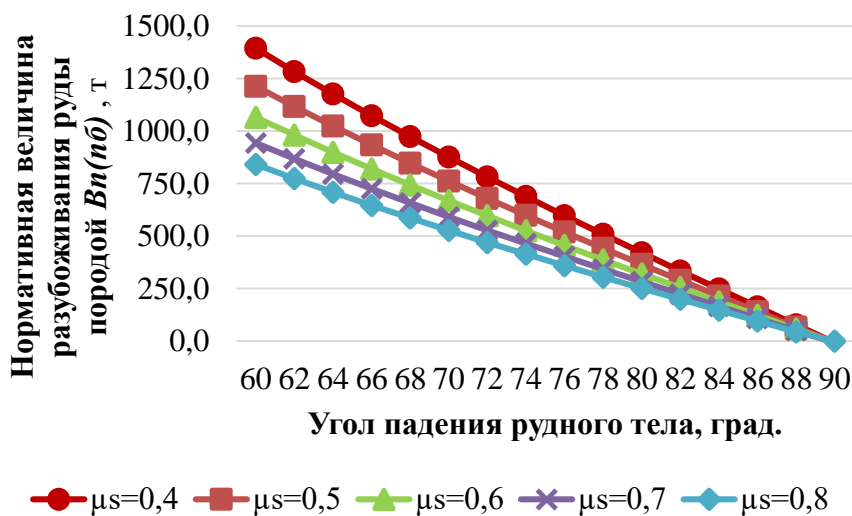


Рисунок 8 – Зави-  
симость норматив-  
ной величины по-  
терь руды в массиве  
в виде замка по  
кровле породного  
бока (а) и величины  
разубоживания руды  
породой с породного  
бока (б) от угла  
падения рудного тела  
от коэффициента  
площадного отно-  
шения высоты руд-  
ного участка ( $h_p$ ) по  
боку РШ к породно-  
му участку ( $h_n$ ) на  
оптимальном кон-  
туре выемки запасов



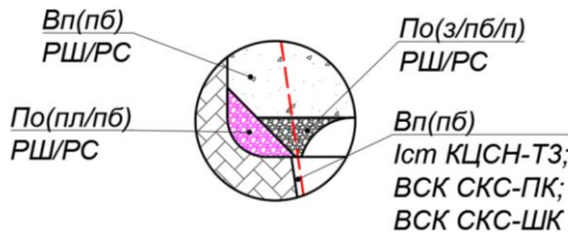


Рисунок 10 - Схема формирования потерь руды в зажимах  $По(з/пб/п)$

Для систем СКС-ПК и СКС-ШК (рис.11) нормативные величины данных потерь будут равны:

при  $b^{РШ}_{пл/пб} < b^{РШ}_{пп} + K^{ВСК}_{опт}$

$$По_{(з/пб/п)} = \left[ \frac{h_{подс.} \cdot 2 \cdot \left( \left( \frac{h^{РШ}_{п(опт)}}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{h^{РШ}_{пл(пб)}}{\operatorname{tg} \beta} - \frac{h^{ВСК}_{р(опт)}}{\operatorname{tg} \alpha} \right) - \frac{h_{подс.} - R}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \frac{h_{подс.}}{\operatorname{tg} \beta}}{2} + \frac{L_{пб} \cdot \gamma_p}{K_p \cdot (1 + \rho^{РШ})} \right] \cdot \frac{1}{\frac{(h_{подс.} - R)^2}{2 \operatorname{tg} \alpha} + S_{зж(90^\circ)}}, \text{ Т} \quad (12)$$

при  $b^{РШ}_{пл/пб} > b^{РШ}_{пп} + K^{ВСК}_{опт}$

$$По_{(з/пб/п)} = \frac{M \cdot R \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta} + \frac{R^2}{2 \operatorname{tg} \beta} + \frac{M^2 \cdot \sin(\alpha - \beta)}{2 \sin \beta} + S_{зж(90^\circ)}, \text{ Т} \quad (13)$$

$$M = h_{подс.} - R - \frac{(h^{ВСК}_{р(опт)} - h^{РШ}_{п(опт)}) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta + h^{РШ}_{пл(пб)} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \quad (14)$$

где  $\beta$  – угол естественного откоса руды в отбитом виде, град.;  $h_{подс.}$  – высота рудной подсыпки, м;  $h^{РШ}_{пл/пб}$  – высота плинтуса из руды в отбитом виде вдоль породного бока РШ, м;  $h^{РШ}_{п(опт)}$  – высота породного участка по боку РШ, м;  $h^{ВСК}_{р(опт)}$  – высота рудного участка по боку выработки ВСК, отрабатывающей запасы камеры на геологическом контакте, м;  $S_{зж(90^\circ)}$  – площадь зажима руды в отбитом виде при угле между сторонами зажима, равного 90 град.;  $K_p$  – коэффициент разрыхления руды в отбитом виде;  $\rho^{РШ}$  – коэффициент разубоживания руды при выемке запасов РШ;  $L_{пб}$  – длина плинтуса породного бока выработки, м.

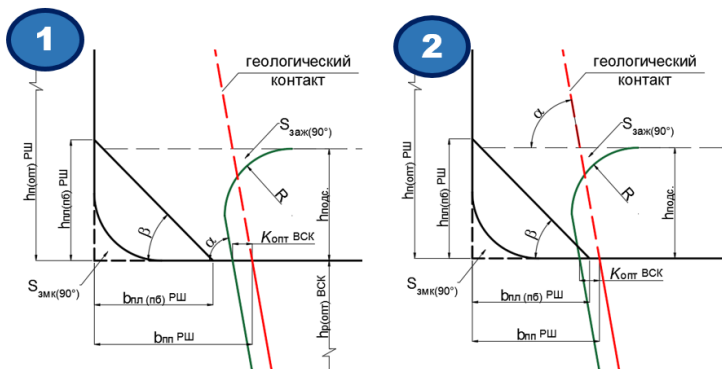


Рисунок 11 – Схема формирования потерь руды в отбитом виде в зажимах подсыпки по почве вдоль породного бока РШ  $По(з/пб/п)$  при 1 -  $b^{РШ}_{пл/пб} < b^{РШ}_{пп} + K^{ВСК}_{опт}$ ; 2 -  $b^{РШ}_{пл/пб} > b^{РШ}_{пп} + K^{ВСК}_{опт}$

На почве выработок потери формируются в плинтусах. Установлено, что вдоль бетонного и рудного боков плинтуса перекрываются рудной подсыпкой и руда из плинтусов частично извлекается при отработке запасов смежной, ниже расположенной выработкой верхней стыковочной камеры (рис.12).

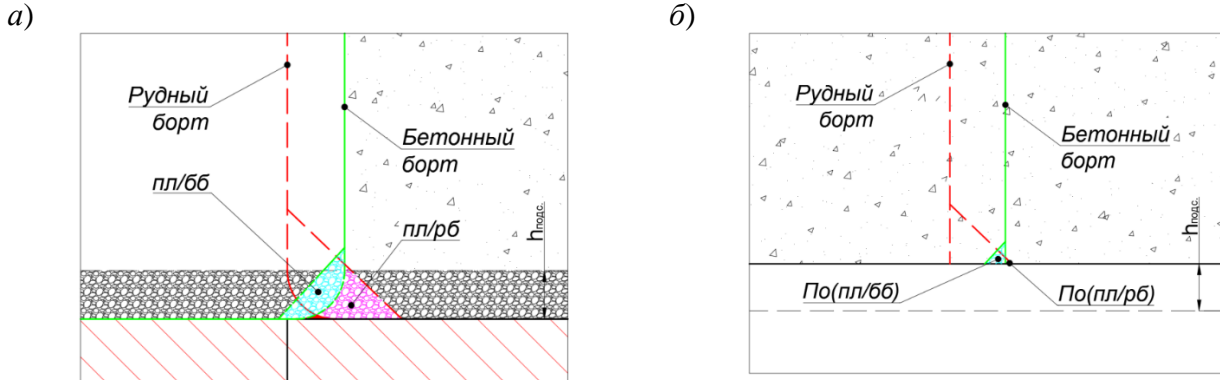


Рисунок 12 - Схема формирования потерь руды в отбитом виде в плинтусах вдоль бетонного и рудного боков очистных лент разрезного слоя

Нормативная величина потерь руды в отбитом виде в плинтусах вдоль бетонного и рудного боков устанавливается из выражений:

$$По_{(пл/бб)} = \frac{(h_{пл/бб} - h_{подс.})^2 \cdot L_{бб} \cdot \gamma_p}{2 \operatorname{tg} \varphi \cdot K_p \cdot (1 + \rho)}, \text{ Т}, \quad (15)$$

$$По_{(пл/рб)} = \frac{\frac{h_{пл/рб} - h_{подс.}}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot \left( \frac{h_{пл/рб} - h_{подс.}}{\operatorname{tg} \varphi} - \left( \frac{t}{2} + \Delta_r \right) \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot L_{рб} \cdot \gamma_p}{2 K_p \cdot (1 + \rho)}, \text{ Т}, \quad (16)$$

где  $h_{пл/бб}$ ,  $h_{пл/рб}$  – высота плинтуса вдоль бетонного и рудного боков, м;  $L_{бб}$ ,  $L_{рб}$  – длина бетонного и рудных боков камеры соответственно, м;  $\varphi$  – угол естественного откоса руды в отбитом виде, град.

Величина подработки бетонного бока  $Bб(бб)$  при этом:

$$B_{б(бб)} = 0,5 \cdot \left( \Delta \cdot h_b - 2 \cdot K_1 - 2 \cdot (0,215 \cdot R^2 - K_2) \right), \text{ м}^3/\text{п.м}, \quad (17)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – площади поперечных сечений потерь руды в массиве, оставляемой в зажимах по кровле выработок вследствие закругления угловых частей выработок,  $\text{м}^2$ .

Кроме взаимосвязанных большую группу составляют обособленные потери и разубоживания руды в массиве в виде замков по почве вдоль рудных боков  $Пн(з/рб/п)$  ВСК. Расчёт величин потерь руды в массиве в замке  $Пн(з/рб/п)$  по рудному боку по почве камеры ВСК осуществляется по формуле:

$$П_{н(з/рб/п)} = S_{(з/рб/п)} \cdot L_{рб} \cdot \gamma_p, \text{ Т}, \quad (18)$$

где  $S_{(з/рδ/n)}$  – площадь сечения руды в массиве в виде замка вдоль рудного бока по почве камеры,  $m^2$ .

Площадь сечения руды в массиве в виде замка, а, следовательно, и потери возрастают с увеличением угла падения рудного тела и радиуса закругления угловых частей камеры (рис.13).

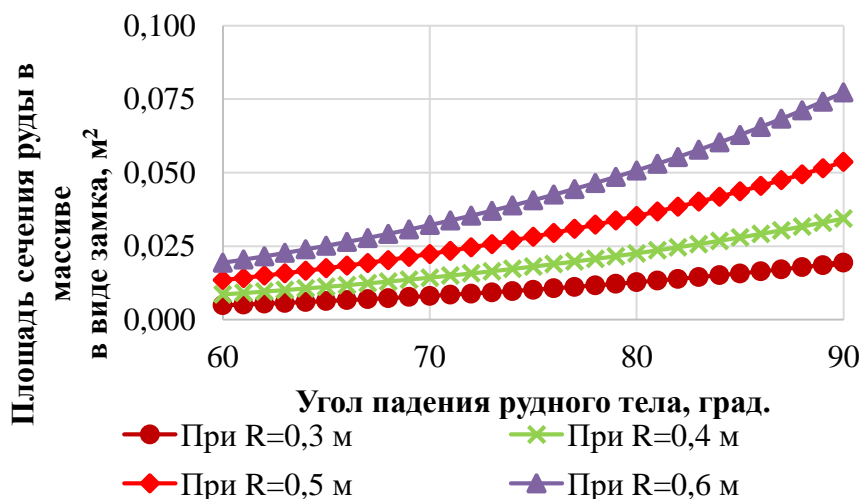


Рисунок 13 –  
Зависимость  
площади сечения  
руды в массиве в  
виде замка от угла  
падения рудного тела  
и радиуса  
закругления угловых  
частей камеры

Величина потерь руды в отбитом виде на породной почве выработок камер определяется зависимостью:

$$Po_{(mm)} = \frac{b_{mm} \cdot h_{op} \cdot L_{mm} \cdot \gamma_p}{K_p \cdot (1 + \rho)}, T, \quad (19)$$

где  $b_{mm}$  – ширина породной почвы камеры, м;  $L_{mm}$  – длина породной почвы камеры, м;  $h_{op}$  – высота слоя отбитой руды на почве, рассчитываемая по формуле:

$$h_{op} = 0,079 \cdot L_{ПДМ}^{0,9}, \text{ м}, \quad (20)$$

где  $L_{ПДМ}$  – ширина ковша ПДМ, занятой на погрузке, доставке и зачистке отбитой руды, м.

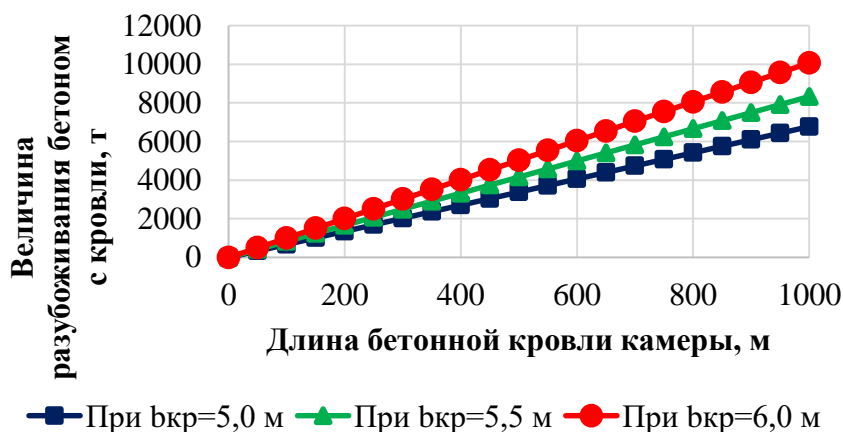


Рисунок 14 –  
Зависимость  
величины  
разубоживания  
бетоном с кровли от  
длины камеры

При отработке запасов прихват бетона с кровли отрабатываемой камеры обусловлен подработкой почвы заложенной камеры смежного выше расположенного подэтажа. Нормативная величина разубоживания бетоном с кровли камеры зависит от её ширины (рис. 14) и определяется по формуле при  $4,0 \leq b_k \leq 8,0$ :

$$B_{б(кр)} = (0,005 \cdot b_k^2 + 0,113 \cdot b_k + 0,016) \cdot b_k \cdot L_{бкр} \cdot \gamma_б, \text{ Т}, \quad (24)$$

Потери руды в отбитом виде на бетонной почве камер  $По(бн)$ . Данные потери определяются зависимостью:

$$По(бн) = \frac{b_{бн} \cdot h_{ор/бн} \cdot L_{бн} \cdot \gamma_p}{K_p \cdot (1 + \rho)}, \text{ Т}, \quad (25)$$

где  $b_{бн}$  – ширина бетонной почвы камеры, м;  $L_{бн}$  – длина бетонной почвы камеры, м;  $h_{ор/бн}$  – высота слоя руды в отбитом виде на бетонной почве камеры, рассчитываемая по формуле:

$$h_{ор/бн} = 0,056 \cdot L_{ПДМ}^{0,9}, \text{ м}, \quad (26)$$

а)

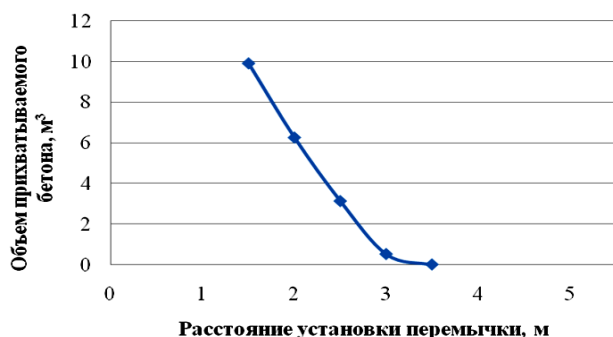
для лент шириной до 6,0 м ( $b_б < 6,0$  м)



$$\begin{cases} \text{при } a_{пер} < 5,5 \text{ м} \\ B_{б(тл)} = (0,261 \cdot a_{пер}^2 - 2,74 \cdot a_{пер} + 7,3) \cdot b_б \cdot \gamma_б \\ \text{при } a_{пер} \geq 5,5 \text{ м} \\ B_{б(тл)} = 0 \end{cases}$$

б)

для лент шириной более 6,0 м ( $b_б \geq 6,0$  м)



$$\begin{cases} \text{при } a_{пер} < 3,1 \text{ м} \\ B_{б(тл)} = (0,261 \cdot a_{пер}^2 - 2,74 \cdot a_{пер} + 6,0) \cdot b_б \cdot \gamma_б \\ \text{при } a_{пер} \geq 3,1 \text{ м} \\ B_{б(тл)} = 0 \end{cases}$$

Рисунок 15 – Графики зависимости разубоживания руды закладкой с торца ленты  $Вб(тл)$  от расстояния установки перемычки до сопряжения ( $a_{пер}$ ): а – для выработок шириной до 6,0 м; б – для выработок шириной более 6,0 м.

Разубоживание руды материалом закладки с торца  $Bб(мл)$  ранее отработанной и заложеной выработки связано с подработкой бетонного торца при заезде комбайна в выработку. При расчёте величин подработки бетона с торца заложеной выработки учитываются её ширина, расстояние от места установки перемычки до сопряжения с разрезным штреком ( $a_{пер}$ ), а также технические характеристики комбайна. Зависимости разубоживания руды закладкой с торца ленты  $Bб(мл)$  от расстояния установки перемычки до сопряжения приведены на рис.15.

Аналогичным образом были проведены исследования и установлены величины всех взаимосвязанных, обособленных и конструктивных потерь и разубоживания алмазосодержащих руд при системах разработки с закладкой выработанного пространства и с использованием на добыче комбайнов с рабочим органом избирательного типа и взрывной отбойки.

Установленные математические зависимости, позволяют рассчитывать нормативные величины потерь руды и объёмов примешиваемой разубоживающей массы для различных вариантов сплошных слоевых и камерных систем с закладкой при разработке алмазосодержащих руд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований изложен новый научно-методический подход к нормированию потерь и разубоживания при подземной отработке алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства, внедрение которого вносит значительный вклад в рациональное природопользование и решение экологических проблем при добыче полезных ископаемых.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Установлено ретроспективным анализом практики ведения горных работ на месторождениях алмазосодержащих руд, что на сегодняшний день при переходе от открытой добычи на подземную наибольшее распространение получили

системы разработки с принудительным обрушением или самообрушением, отличающимися высокими потерями и разубоживанием. Поэтому геотехнологии, включающие в себя отбойку комбайновым способом, БВР и их комбинации с последующей закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, принятые для подземной отработки алмазосодержащих месторождений Якутии, являются новыми и имеют широкую перспективу для дальнейшего совершенствования и внедрения.

2. Определена и исследована совокупность геологических, горнотехнических, технологических, экономических и экологических факторов, влияющих на формирование потерь и разубоживания руды при подземной добыче. Все эти факторы разделены на неуправляемые и управляемые. К неуправляемым относятся природные факторы, такие как содержание полезных компонентов и вредных примесей, морфология рудных тел и прочее. К управляемым – факторы, на которые в той или иной степени можно воздействовать, чтобы регулировать показатели полноты и качества извлечения полезного ископаемого из недр при добыче.

3. Установлено влияние экономических и экологических факторов на нормативную величину количественных и качественных потерь при подземной добыче. Изменение каждого из этих факторов может, как существенно увеличить рентабельность горного производства, так и снизить её. Повышение потерь руды приводит к увеличению суммарных затрат при добыче за счёт роста платежей за недр. Разубоживание способствует повышению затрат на транспорт руды к потребителям и на её переработку. При этом возрастает техногенная нагрузка на район действия горно-перерабатывающих предприятий, что неизбежно ведет к росту экологических платежей за, а значит, и существенному увеличению себестоимости 1 т товарной продукции.

4. Исследованиями установлено, что для повышения оперативности и точности планирования, нормирования и учёта потерь и разубоживания при добыче, наиболее рациональным будет использование в расчётах понятия «технологическая единица».

5. Систематизированы эксплуатационные потери и разубоживание при подземной добыче алмазосодержащих руд системами с закладкой выработанного пространства на основе ранее используемых основных признаков, учитывающих состояние теряемого полезного ископаемого, изменение его качественных характеристик, стадию технологического цикла добычи, на которой произошли потери или изменение качества минерального сырья, технологию ведения горных работ, место, где произошло изменение качества полезного ископаемого, а также дополнительно двух классификационных признаков: технологический процесс очистных работ и технологическая единица.

6. На основании ранее проведенных и собственных исследований получены зависимости для определения фактических потерь и разубоживания руды по местам их образования, обеспечивающие высокую точность при расчётах нормативных величин количественных и качественных показателей извлечения из недр.

7. Систематизации для условий рудников «Айхал», «Интернациональный» и «Мир» АК «АЛРОСА» потерь и разубоживания учитывают технологические процессы очистных работ и конструктивные элементы систем разработки, раскрывают причины возникновения и механизм образования потерь и разубоживания руды и служат основой для принятия расчётной схемы и обоснования перечня исходных данных для технико-экономической оценки последствий потерь и разубоживания руды при добыче, являются фундаментом для разработки инженерных и организационных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативных величин потерь и разубоживания руды.

8. Предложена методика нормирования потерь и разубоживания, отличающаяся от существующих тем, что учитывает технологические и конструктивные особенности систем разработки с закладкой при добыче алмазосодержащих руд. В данной методике выделены конкретные этапы. Такая структура предполагает возможность вернуться, если необходимо, к любому пройденному этапу, при этом указывает на нецелесообразность проведения исследований в другой последовательности.

9. Разработанные методики расчёта нормативов потерь внедрены на подземных рудниках АК «АЛРОСА» в форме «Руководств по нормированию потерь руды при отработке...» и используются при планировании, а также при согласовании показателей извлечения в ЦКР ТПИ Роснедра.

10. Результаты исследования применяются в учебном процессе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» при подготовке горных инженеров по специальности 21.05.04 «Горное дело», специализация «Подземная разработка рудных месторождений».

**Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах**

*в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования*

1. Курчин, Г.С. Расчет показателей извлечения при отработке приконтактных зон месторождений нерудных полезных ископаемых /С.А.Вохмин, Н.Х. Загиров, Ю.П. Требуш, Г.С.Курчин//Маркшейдерия и недропользование, №2 – Москва, 2010-С.18-20.

2. Курчин, Г.С. Особенности нормирования показателей извлечения из недр при отработке алмазных руд подземным способом / С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров, Е.В.Зайцева// Маркшейдерия и недропользование, №2 – Москва, 2012 - С.14-17.

3. Курчин, Г.С. Методика нормирования потерь и разубоживания руды при подземной разработке кимберлитовой трубки «Айхал»/ Н.П.Крамсков, С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, Ю.П.Требуш, Е.С.Майоров// Горный журнал, №12 – Москва, - 2013 – С.65-68.

4. Курчин, Г.С. Особенности нормирования потерь и разубоживания руды при подземной разработке кимберлитовой трубки «Айхал» камерными системами разработки/А.В.Дроздов, С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, Ю.П.Требуш, Е.С.Майоров// Маркшейдерия и недропользование, №1 – Москва, 2015.

5. Курчин, Г.С. Нормирование разубоживания при добыче полезных ископаемых/С.А.Вохмин, В.И.Брагин, Г.С.Курчин, К.Е.Ананенко, Ю.П.Требуш// Маркшейдерия и недропользование, №2, 2016 – С.43-47.

6. Курчин, Г.С. Особенности технологии добычи кимберлитовых руд при



комбинированной их отбойке в условиях рудника «Мир» / А.В.Дроздов, С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, Ю.П.Требуш// Горный журнал, №1 –Москва, - 2017 – С.-32-37.

7. Курчин, Г.С. Влияние формы геологического контакта на величину потерь при отработке приконтактных зон /С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, А.А.Кытманов// Записки горного института Т223, - 2017 – С.37-44.

8. Курчин, Г.С. Методические основы нормирования потерь и разубоживания при добыче с учетом их влияния на технологические показатели при обогащении / Г.С.Курчин, К.Е.Ананенко, И.В.Прокопьев, А.К.Кирсанов// Маркшейдерия и недропользование, №6, 2017 – С.55-60.

9. Курчин, Г.С. Влияние технологических параметров добычных комбайнов на величину показателей извлечения из недр/ С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров, А.К.Кирсанов// Маркшейдерия и недропользование, №2, 2018 – С.32-37.

10. Курчин, Г.С. Оценка негативного влияния разубоживания при добыче руды /Н.В.Подкуйко, В.В.Цацкин, С.А.Вохмин, Г.С.Курчин// Горный журнал, №6 –Москва, - 2020 – DOI 10.17580/gzh.2020.06.09.

11. Курчин, Г.С. Нормирование потерь и разубоживания как механизм рационального природопользования / С.А.Вохмин, Н.Х.Загиров, Ю.П.Требуш Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, - Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ» №1-2013 – С7-10.

12. Курчин, Г.С. Опыт нормирования потерь и разубоживания на рудниках ЗФ ОАО "ГМК "Норильский никель" /С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, А.И.Голованов, Е.Г.Малиновский, Е.С.Майоров// Маркшейдерский вестник, №4 – Москва, 2013– С.25-28.

13. Курчин, Г.С. Разубоживание полезных ископаемых как объект государственного надзора в сфере недропользования / С.А.Вохмин, В.И.Брагин, Ю.П.требуш, Г.С.Курчин, А.К.Ананенко, Е.С.Майоров// Недропользование XXI век №5, Москва, 2013 –с.8-11.

14. Курчин,Г.С. К вопросу о нормировании потерь и разубоживания на контактах при подземной отработке месторождений// Маркшейдерский вестник, №4 – Москва, 2015– С.19-24.

15. Курчин, Г.С. Особенности нормирования показателей извлечения из недр при слоевой системе разработки с закладкой выработанного пространства и

комбинированной отбойкой руды в условиях рудника «Мир»/ А.В.Дроздов, С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Недропользование XXI век №5, Москва, 2015 –С.96-104.

16. Курчин, Г.С. Динамическая система управления качеством минерального сырья /В.А.Макаров, Е.Г.Малиновский, Г.С.Курчин, И.И.Кацер, А.В.Ефимов// Журнал СФУ: серия техника и технологии, Красноярск, № 1 2016 – с.126-132

17. Курчин, Г.С. Пути повышения полноты извлечения нерудного сырья при подземной добыче камерно-столбовыми системами разработки/ С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, Е.Г. Малиновский// Известия ВУЗов: Горный журнал №3 - Екатеринбург, 2008 С.8-13.

18. Курчин, Г.С. Оценка мест образования потерь ангидрита при камерно-столбовой системе разработки / С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Известия ВУЗов: Горный журнал №5 - Екатеринбург, 2009 С.5-11.

19. Курчин, Г.С. Методический подход к определению нормативных величин показателей извлечения нерудного сырья / С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, В.Л.Ермолаев, Г.С.Курчин, Е.Г.Малиновский// Маркшейдерия и недропользование, №6 – Москва, 2009 – С44-50.

20. Курчин, Г.С. К вопросу определения нормативных величин потерь при добыче ангидрита камерно-столбовой системой разработки /С.А.Вохмин, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, - Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ» №1 2010. – С.10-13.

21. Курчин, Г.С. Расчет показателей извлечения при разновременной выемке запасов камер нерудных месторождений /С.А.Вохмин, Ю.П. Требуш, Г.С.Курчин// Известия ВУЗов: Горный журнал №7 - Екатеринбург, 2010 С.4-13.

22. Курчин, Г.С. Нормирование показателей извлечения из недр при отработке месторождений строительного сырья подземным способом /С.А. Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Маркшейдерский вестник, №1 – Москва, 2011 – С.28-32.

23. **Курчин, Г.С.** О рациональных параметрах выемочных единиц // Рациональное освоение недр. 2023. № 4. С. 14–19. doi: 10.26121/RON.2023.83.46.001.

24. **Курчин Г.С.** Систематизация факторов, влияющих на величину потерь и разубоживание руды при подземной добыче системами разработки с закладкой

выработанного пространства /Маркшейдерия и недропользование. 2023. №5 С.24-34.

25. Kurchin G.S. Peculiarities in setting norms of extraction in underground mining of diamond ore / S.A.Vokhmin, Yu.P. Trebush, G.S. Kurchin, E.S.Mayorov, K.V.Zaitseva// Universal Journal of Engineering Science, 2, 39-42. doi:10.13189/ujes.2014.020201.

26. Kurchin G.S. Calculation of loss volumes and dilution of mineral deposits in near-contact zones / S.A.Vokhmin, G.S.Kurchin, A.A.Kytmanov, Yu.P.Trebush, A.K.Kirsanov// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences(ISSN18196608-Pakistan-Scopus), 00, 810274 vol.12 No.19 (October 2017) pp.5447-5456

*в монографиях:*

27. Курчин, Г.С. Практика нормирования показателей извлечения при подземной разработке кимберлитовых месторождений Якутии /С.А. Вохмин, Г.С.Курчин, А.В. Дроздов, Ю.П. Требуш, Е.С. Майоров // Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2015.-148 с. ISBN 978-5-7638-3347-8.

28. Курчин, Г.С. Интеллектуальная технология мониторинга и управления качеством рудопотоков при добыче и переработке многокомпонентных руд /В.А. Макаров, Е.Г. Малиновский, Г.С. Курчин, И.И. Кацер, А.В. Ефимов // Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2016.-148 с. ISBN 978-5-7638-3532-8.

29. Курчин, Г.С. Повышение эффективности подземной отработки нерудных залежей/ С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, Ю.П. Требуш// Lambert academic publishing GmbH & Co KG- Saarbruecken, 2011, - 162с. ISBN 978-3-8454-4140-5.

*в патентах:*

30. Курчин, Г.С. Устройство для фотосъемки сечений вертикальных выработок. С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров//Патент РФ на полезную модель №108603 от 20.09.2011 МПК G01C11/02.

31. Курчин, Г.С. Способ определения величины подработки массива твердеющей закладки / С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Патент РФ на изобретение №2464425 от 26.04.2011 опубликовано 20.10.2012 бюл. №29.

32. Курчин, Г.С. Способ определения величины подработки твердеющей закладки при механическом разрушении рудного массива/ С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Патент РФ на изобретение №2513467 от 02.10.2012 опубликовано 18.02.2014.

33. Курчин, Г.С. Способ определения величины подработки твердеющей закладки при механическом разрушении рудного массива / С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров// Патент РФ на изобретение №2569663 от 17.11.2014 опубликовано 30.10.2015.

*в прочих научных изданиях:*

34. Курчин, Г.С. Методический подход к определению показателей извлечения для слоевых систем разработки на рудниках АК «АЛРОСА» (ЗАО) / С.А. Вохмин, Ю.П. Требуш, Г.С. Курчин, Е.С. Майоров // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений. Сборник докладов. – Новосибирск, 2011. с.163-168.

*в нормативных документах (стандартах):*

1. Руководство по нормированию потерь руды при отработке месторождения трубки «Айхал» камерной системой с закладкой, 2014.

2. Руководство по нормированию потерь руды при разработке месторождения трубки «Мир» слоевой системой разработки с полной закладкой выработанного пространства и комбинированной отбойкой руды (комбайновая и буровзрывная) при нисходящем шахматном порядке отработки очистных лент», 2014 г.

3. Руководство по планированию и нормированию потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Интернациональный», 2011 г.

4. Руководство по планированию и нормированию потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Мир», 2012.

5. Руководство по планированию и нормированию потерь руды при отработке месторождения слоевыми системами с твердеющей закладкой для условий рудника «Айхал», 2012 г.