

На правах рукописи



УДК 622.343.5:622.273.2

Антипин Юрий Георгиевич

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАМЕРНОЙ ВЫЕМКИ С
УВЕЛИЧЕННЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
подземная, открытая и строительная»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2009

**Работа выполнена в Институте горного дела
Уральского отделения Российской академии наук**

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Волков Юрий Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Боликов Владимир Егорович

кандидат технических наук, доцент
Химич Анатолий Андреевич

Ведущая организация – ОАО Институт «Уралгипроруда»

Защита состоится « 23 » апреля 2009 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.010.01 при Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

Просьба направлять отзывы почтой в 2 экземплярах, заверенных печатью организации, по указанному выше адресу.

Автореферат диссертации разослан « 10 » марта 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



В.М. Аленичев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Более 50 рудников применяют этажно-камерную систему разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства. Это обусловлено полнотой извлечения полезного ископаемого из недр и высокой производительностью очистной выемки. Наибольшее распространение получили следующие геометрические параметры камер: высота 60 - 80, ширина 10 - 20 и длина 30 - 50 м.

Перспективным направлением применения данной технологии является увеличение геометрических параметров камер в 1,5-2,0 раза и более. При этом эффективность добычи руды достигается за счет сокращения объема проходческих работ, повышения интенсивности отработки запасов месторождения и концентрации горных работ, увеличения устойчивости рудных и искусственных целиков, снижения потерь и себестоимости добычи. Однако наряду с преимуществами имеются и недостатки, которые создают определенные технологические трудности и сдерживают широкое применение технологии с увеличенными геометрическими параметрами. В условиях медноколчеданных месторождений недостатки связаны с повышением разубоживания, увеличением выхода негабарита и снижением устойчивости конструктивных элементов системы разработки, следствием чего является снижение безопасности горных работ. Изыскание технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами, обеспечивающей повышение эффективности и безопасности добычи, является актуальной научной и практической задачей.

Целью работы является повышение эффективности и безопасности технологии камерной выемки с твердеющей закладкой при разработке уральских медноколчеданных месторождений за счет увеличения геометрических параметров камер.

Идея работы состоит в том, что увеличение геометрических параметров камеры обеспечивается применением предохранительных целиков, необходимость и размеры которых устанавливаются на основе оптимального соотношения потерь и разубоживания.

Объектом исследований является технология камерной выемки с твердеющей закладкой при разработке медноколчеданных месторождений, а **предметом** – закономерности изменения эффективности подземной технологии от влияния увеличенных геометрических параметров камеры и показателей потерь (*П*) и разубоживания (*Р*).

Задачи исследований:

- исследование влияния геометрических параметров камеры на эффективность подземной геотехнологии;
- исследование производительности и определение оптимального состава комплекса самоходного оборудования (СО) на выпуске и доставке в зависимости от выхода негабарита и длины доставки;
- обоснование экономически эффективного соотношения потерь и разубоживания руды при камерной выемке с предохранительными целиками (ПЦ);
- изыскание, разработка и технико-экономическая оценка вариантов технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами (УГП).

Методы исследований включают в себя анализ и обобщение теории и практики камерной выемки, хронометражные наблюдения, методы математической статистики и теории линейного программирования, экономико-математическое моделирование вариантов геотехнологии и технико-экономический анализ.

Научные положения, выносимые на защиту:

– при увеличении геометрических параметров эффективность (Pr) отработки камер по традиционной технологии в большей степени определяется величиной разубоживания, при этом существуют области как положительного, так отрицательного влияния УГП в зависимости от их комбинаций;

– эффективность отработки камер по технологии с оставлением ПЦ достигается за счет большего снижения затрат на добычу и обогащение ($Z_{д.о.}$) по сравнению со снижением извлекаемой ценности ($Ц_{изв.}$) в результате одновременного увеличения $П$ и уменьшения $Р$, при этом область эффективного применения данной технологии зависит от содержания меди в балансовых запасах камеры, величины потерь в ПЦ и потенциально высокого разубоживания;

– эффективность этажно-камерной системы разработки с УГП обеспечивается путем применения ПЦ, размеры которых соответствуют оптимальному соотношению $П$ и $Р$, установленному по геомеханическим, технологическим и экономическим условиям.

Научная новизна работы:

1 В рамках разработанной систематизации вариантов отработки камер с увеличенными геометрическими параметрами получены зависимости показателей эффективности традиционной технологии от увеличенных геометрических параметров с учетом соответствующих изменений потерь и разубоживания.

2 Установлены закономерности изменения показателей эффективности технологии камерной выемки с применением предохранительных целиков в зависимости от увеличенных геометрических параметров камеры, высоты и толщины предохранительного целика, содержания меди в балансовых запасах (c), величин потерь и разубоживания.

3 Разработана методика определения эффективного соотношения потерь и разубоживания, учитывающая геометрические параметры камеры и предохранительного целика, содержание полезных компонентов в балансовых запасах, позволяющая на основе установления области экономически эффективных соотношений потерь и разубоживания и ее структурирования определить оптимальный вариант этажно-камерной системы разработки.

4 Установлена статистически значимая связь ($a = 0,05$) между выходом негабарита и шириной камеры ($r = 0,5$), описываемая уравнением прямой линии регрессии, для условий этажно-камерной системы разработки медноколчеданных месторождений.

Практическое значение работы состоит в следующем:

1 Определены оптимальный состав и области применения комплексов самоходного оборудования (КСО) на выпуске и доставке руды в зависимости от длины доставки и выхода негабарита.

2 Установлены оптимальные соотношения потерь и разубоживания при камерной выемке с предохранительными целиками на основе разработанной методики.

3 Выявлены области применения технологии камерной выемки с предохранительными целиками в зависимости от содержания полезного компонента в руде, потерь в ПЦ и потенциально высокого разубоживания.

4 Разработаны варианты технологии камерной выемки, позволяющие повысить эффективность добычи путем оставления предохранительного целика с оптимальными параметрами, за счет повышения качества отбойки, увеличения производительности комплекса самоходного оборудования и снижения удельного объема подготовительно-нарезных выработок.

Достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается применением апробированных методов исследования, надежностью и представительностью исходных данных, оценкой полученных связей методами математической статистики, высоким коэффициентом детерминации (0,97–0,99) полученных уравнений, адекватностью моделей, принятых для экспериментов.

Реализация работы. Результаты исследований использованы при составлении проектов отработки очистных камер с твердеющей закладкой по технологии камерной выемки с предохранительными целиками с целью повышения эффективности отработки этажа 670/750 м, при разработке рекомендаций освоения этажа 910/990 м на Гайском подземном руднике, в проекте отработки рудного тела № 2 Узельгинского месторождения в условиях повышенного разубоживания.

Личный вклад автора состоит в анализе и обобщении теории и практики отработки месторождений с твердеющей закладкой, установлении зависимости эффективности традиционной технологии от влияния увеличенных геометрических параметров с учетом соответствующих изменений P и R , обосновании эффективности технологии с оставлением ПЦ на основе оптимизации соотношения величин P и R и разработке вариантов технологии камерной выемки с УГП.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертационной работы представлялись на VIII Юбилейной уральской научно-технической конференции по системам подземной разработки руд цветных металлов (Свердловск, 1989 г.), в международном научном симпозиуме «Неделя гоняка» (г. Москва, 2002, 2003, 2007 и 2008 гг.), I молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2007 г.), международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология «Развитие физико-химических способов добычи» (Сибай, 2007 г.), II всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2008 г.), конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» с участием иностранных ученых (Новосибирск, 2008 г.), ученом совете ИГД УрО РАН, научно-технических советах института «Унипромедь», Гайского и Учалинского ГОКов.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 170 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок, 49 таблиц, список литературы из 130 наименований и приложения.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н., проф. Ю.В. Волкову и искреннюю признательность к.т.н. И.В. Соколову за постоянное внимание, научно-методическую помощь и ценные консультации по важнейшим вопросам диссертации, а также сотрудникам лаборатории подземной геотехнологии ИГД УрО РАН за полезные советы и моральную поддержку.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации представлено состояние изученности вопроса. Рассмотрены горно-геологические и горнотехнические условия освоения медноколчеданных месторождений по этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой, опыт применения увеличенных геометрических параметров очистных камер, приведены анализ и обобщение современного состояния технологии добычи руды камерами с УГП.

Большой вклад в развитие теории и практики подземной разработки рудных месторождений с твердеющей закладкой выработанного пространства внесли такие ученые, как М.И. Агошков, Д.М. Бронников, Д.Р. Каплунов, И.И. Айнбиндер, Г.И. Богданов, Н.П. Влох, Ю.В. Волков, Н.Ф. Замесов, Л.Е. Зубрилов, А.В. Зубков, В.Р. Именитов, В.Н. Калмыков, М.В. Рыльникова, М.Н. Цыгалов, В.А. Шестаков, Б.А. Вольхин, К.Н. Светлаков, А.А. Химич и другие.

Особенности отработки медноколчеданных месторождений по этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой:

- снижение содержания меди в балансовых запасах с увеличением глубины разработки и широкий диапазон изменения его в пределах обрабатываемого этажа (0,5 – 2,1 %);

- вмещающие породы всяческого бока представлены средней устойчивости и весьма неустойчивыми кварцево-серицитовыми и хлоритовыми сланцами мощностью от 2 до 20 м (иногда до 60 м), которые при обнажении отслаиваются и обрушаются в очистное пространство. Для выполнения нормативного показателя P , зачастую вынуждены идти на значительное превышение нормативного P (до 20 %), что нехарактерно для технологии камерной выемки вообще;

- уровень нормативных P и R , установленных 20 лет назад, не соответствует современным горно-геологическим и экономическим условиям;

- устойчивые и весьма труднобуримые руды;

- применяемая технология отбойки во многих случаях не обеспечивает необходимого качества дробления, особенно при выемке камер II и III очереди. При этом выход негабарита составляет 18 - 20 %;

- пожароопасность медноколчеданных руд;

Обобщение теории и практики применения камерной выемки с УГП позволило сделать следующие выводы:

1 Наряду с известными преимуществами технология с УГП имеет следующие недостатки:

- снижение безопасности работ за счет повышения вероятности снижения устойчивости элементов очистного пространства (кровли и стенки камеры);

- повышение P в результате увеличения как размеров обнажения очистного пространства, так и времени отработки камеры;

- увеличение выхода негабарита (при веерном расположении скважин) за счет снижения равномерности распределения ВВ в отбиваемом массиве;

- возникает необходимость в существенном повышении интенсивности очистной выемки, в результате существенного увеличения времени отработки камеры;

– преждевременный износ днища камер в результате повышения объема отбираемой и выпускаемой руды, особенно это ярко проявляется при выемке камер II и III очереди.

2 Технология камерной выемки с УГП применяется, главным образом, в благоприятных горно-геологических и геомеханических условиях и преимущественно при крепких и устойчивых вмещающих породах. При ухудшении горно-геологических условий (средней устойчивости вмещающих пород) используют различные способы и специальные мероприятия по сохранению устойчивости вмещающих пород.

3 Сравнительный анализ способов снижения P показал, что наиболее приемлемым способом является применение ПЦ, что не допускает обнажения неустойчивых вмещающих пород и обеспечивает сохранение устойчивости очистного пространства весь период отработки камеры, позволяет существенно повысить безопасность работ и снизить P без дополнительных затрат. Однако данная технология характеризуется повышением $П$. Очевидно, что технология, предусматривающая оставление ПЦ, требует технико-экономического обоснования.

4 Анализ опыта применения технологии с УГП на 25 рудниках показал, что при отработке камер возможны 7 вариантов комбинации УГП и величина параметров отличается значительной вариативностью. Очевидно, что увеличение одного или одновременно нескольких параметров приведет к различному изменению ТЭП отработки камеры, поэтому необходимо оценивать экономическую эффективность всех возможных вариантов.

5 Обоснование эффективности этажно-камерной системы разработки с УГП проводилось, как правило, для применения в благоприятных горно-геологических условиях с учетом положительных факторов. При этом оценивалось влияние УГП на Pr на уровне выемочной единицы с учетом изменения производительности и затрат на основные технологические процессы, а возможность повышения P не учитывалась. Таким образом, для обоснования эффективности камерной выемки с учетом положительного и в особенности отрицательного влияния УГП требуются глубокие изыскания и всесторонний технико-экономический анализ на основе системного подхода.

Во второй главе приведены результаты исследования влияния УГП на технико-экономические показатели отработки камеры по традиционной технологии. В качестве примера рассмотрена технология разработки Гайского медноколчеданного месторождения как наиболее типичная по горно-геологическим условиям и представительная по горнотехническим (рис. 1). ТЭП этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, отбойкой руды веерами скважин и расположением камеры вкрест простирания рудного тела, принятые в качестве базовых, являются средними по этажу 670/750 м (табл. 1).

Применение традиционного способа отбойки часто не обеспечивает необходимого качества дробления: выход негабарита в среднем по руднику составляет 12-15 %. Известно, что с увеличением ширины (B) и длины (L) выход негабарита существенно возрастает. В связи с этим отрицательное влияние выхода негабарита (η) на процесс выпуска и доставки было изучено более детально с целью повышения интенсивности отработки камеры.

Проведена систематизация вариантов отработки камер с УГП, в рамках которой оценивалась их экономическая эффективность (табл. 2).

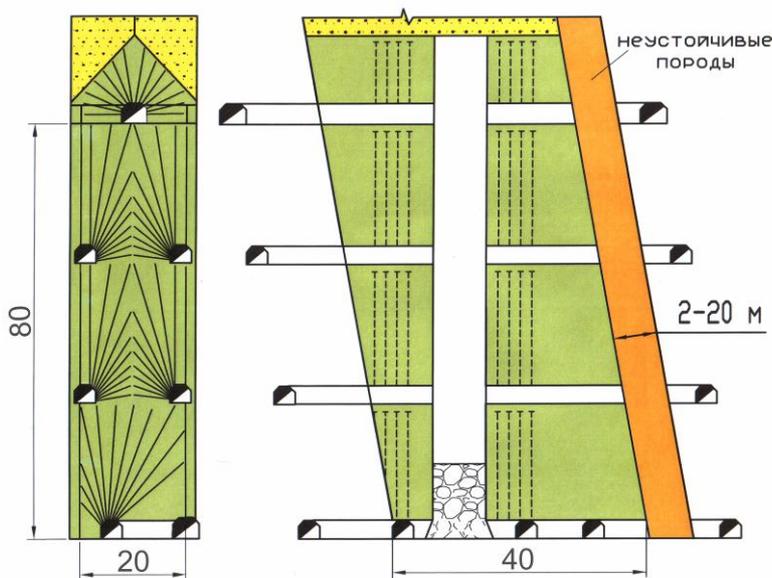


Рисунок 1 – Вариант этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, отбойкой руды веерами скважин и расположением камеры вкрест простирания рудного тела

Таблица 1 – Базовые технико-экономические показатели

№ п/п	ТЭП	Значение
1	Геометрические параметры камеры, м	
	ширина	20
	высота	80
	длина	40
2	Потери, %	2,5
3	Разубоживание, %	10
4	Суммарная себестоимость добычи и обогащения руды, руб/т	557,3
5	Извлекаемая ценность добытой руды, руб/т	665,7
6	Прибыль, руб/т	108,4

Таблица 2 – Варианты отработки камер с УГП и диапазон их изменения

Вариант	Комбинация УГП		Диапазон изменения УГП, м		
	Количество УГП	УГП	мин. (базовый)	макс.	Шаг изменения
1	1	Ширина B	20	40	5
2	1	Высота H	80	160	26-27
3	1	Длина L	40	120	20
4	2	Ширина	20	40	5
		Высота	80	160	26-27
5	2	Ширина	20	40	4
		Длина	40	120	20
6	2	Высота	80	160	26-27
		Длина	40	120	20
7	3	Ширина	20	40	5
		Высота	80	160	26-27
		Длина	40	120	20

Для установления зависимости η от B и L были проведены корреляционный и регрессионный анализ данных, полученных в результате отработки 28 камер. Установлена статистически значимая связь ($\alpha = 0,05$) между η и B , η и L , описываемые уравнениями регрессии

$$\eta(B) = 6,64 + 0,32 B \quad (r = 0,5), \quad (1)$$

$$\eta(L) = -0,8 + 0,47 L - 0,004L^2 + 1,25 \cdot 10^{-5} L^3 \quad (R^2 = 0,99). \quad (2)$$

Видно, что при увеличении B и L в 2 раза η возрастает в 1,5 и 1,4 раза, соответственно.

По результатам хронометражных наблюдений установлено влияние η на продолжительность погрузки автосамосвала

$$t_{\Pi} = 2,80 + 0,51\eta - 1,25\ln\eta, \quad (3)$$

На основе выражения (3) получена зависимость сменной производительности ($A_{см}$) от длины доставки (L_d), η и состава КСО (рис. 2).

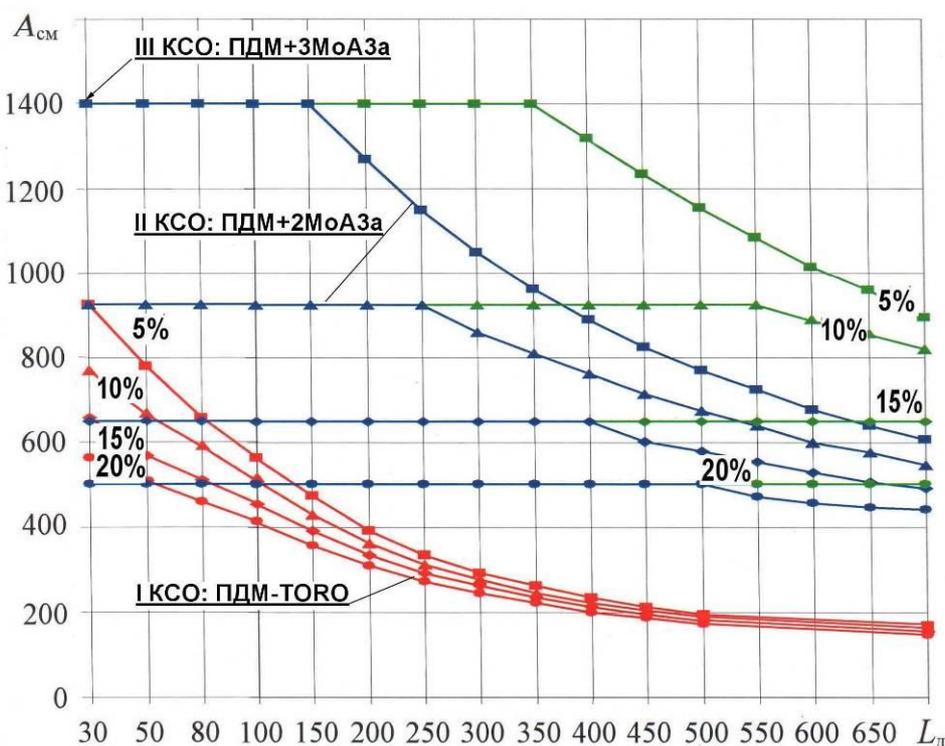


Рисунок 2 – Зависимость эксплуатационной сменной производительности комплекса самоходного оборудования от длины доставки, выхода негабарита и его состава

Установлено, что снижение η и изменение состава комплекса СО позволяют существенно повысить производительность на выпуске и доставке. Так, при $L_d = 200$ м снижение η с 15 до 5 % увеличивает $A_{см}$ комплекса СО: I варианта – в 1,2 раза, II – в 1,9 раза и III – в 2,2 раза. По себестоимости на выпуске и доставке руды ($C_{вып}$) определены оптимальный состав и области применения комплексов СО в зависимости от L_d и η (рис 3).

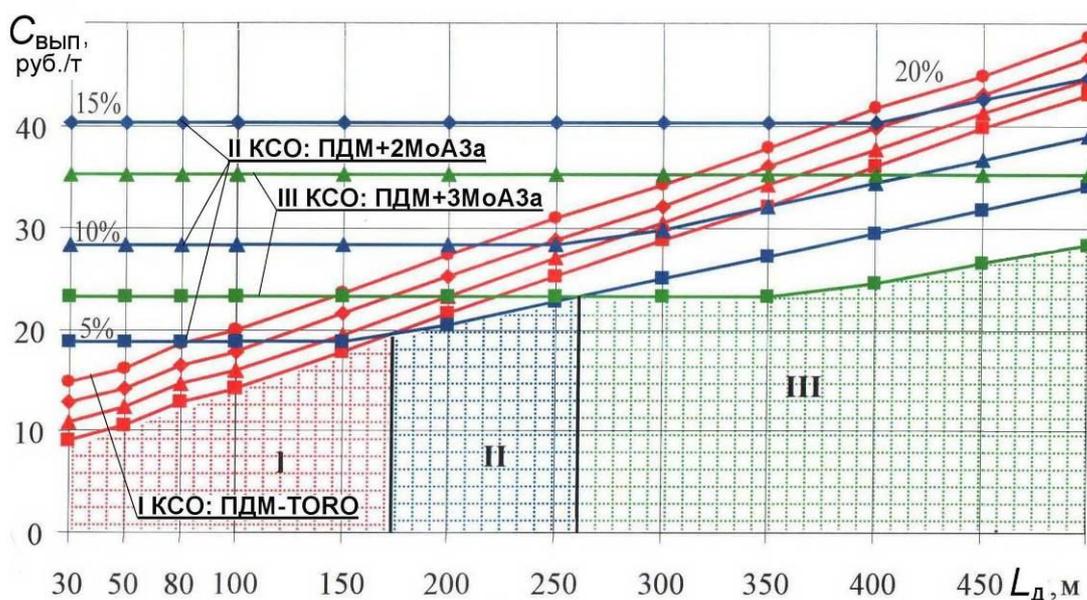


Рисунок 3 – Зависимость удельных затрат на выпуск и доставку руды от длины доставки, выхода негабарита и состава КСО

Необходимо отметить, что рассмотрены варианты 1–3 и 7 технологии с УГП, поскольку варианты 4–6 являются промежуточными и учтены в варианте 7.

Аналитическими расчетами определено влияние УГП на Π и P (табл. 3). Установлено, что во всех вариантах потери снижаются, разубоживание повышается при увеличении B и H и снижается при увеличении L . Повышение P по камере происходит за счет увеличения объема отслоения вмещающих пород висячего бока.

Для всесторонней объективной оценки влияния УГП на показатели эффективности отработки камеры с учетом Π и P применялась методика определения Πp в расчете на единицу погашенных балансовых запасов камеры с использованием программы «Выбор систем разработки».

В результате экономико-математического моделирования, проведенного с использованием ПЭВМ, установлено влияние УГП на Πp с учетом величин Π и P , соответствующих различным вариантам (см. табл. 3). На графиках видны области отрицательного влияния B и H и положительного L . Данное влияние объясняется повышением P при увеличении B и H и его снижением – L . Влияние потерь незначительно.

Вариант 1. Увеличение B с 20 до 40 м снижает удельную Πp на 82,4 руб. за счет повышения $Z_{д.о}$ на 54,5 руб. и уменьшения $C_{изв}$ на 27,9 руб. в результате увеличения P с 10 до 22 %. Область отрицательного влияния P на Πp выделена на графике красным цветом и ограничена: сверху пунктирной линией – это график Πp от УГП при базовых значениях $\Pi = 2,5$ и $P = 10$ %; снизу – аналогичный график, но с учетом Π и P , соответствующих различным вариантам. Область положительного влияния расположена выше пунктирной линии.

Вариант 2. Увеличение H с 80 до 160 м снижает удельную Πp на 29,4 руб. за счет повышения $Z_{д.о}$ на 18,3 руб. и уменьшения $C_{изв}$ на 11,1 руб. в результате увеличения P с 10 до 15 %.

Вариант 3. Увеличение L с 40 до 120 м повышает удельную Πp на 36,3 руб. за счет снижения $Z_{д.о}$ на 24,1 руб. и повышения $C_{изв}$ на 12,2 руб. в результате уменьшения P с 10 до 6 %.

Вариант 7. При одновременном увеличении B до 40 м, H до 160 м и L до 120 м в зависимости от соотношения значений УГП величина Πp снижается или повышается по отношению к базовой, т. е. существует область как положительного, так и отрицательного влияния УГП.

Таким образом, установлено, что с увеличением геометрических параметров эффективность отработки камер по традиционной технологии определяется величиной разубоживания, и существуют области как положительного, так отрицательного влияния УГП в зависимости от их комбинаций.

Третья глава посвящена обоснованию области экономически эффективных и установлению оптимальных соотношений Π и P руды при отработке камеры по технологии с оставлением ПЦ. Целью данной технологии является повышение эффективности и безопасности работ за счет снижения P , и допустимого увеличения Π в ПЦ. На основе данных экономико-математического моделирования оценено влияние Π и P на показатели эффективности отработки камеры при базовых ТЭП. Получены зависимости Πp от Π и P (рис. 4 и 5).

$$\Pi p (\Pi) = 113,61 - 2,10 \Pi (R^2 = 0,99) \quad (4)$$

$$\Pi p (P) = 170,65 - 6,54 P (R^2 = 0,99) \quad (5)$$

Таблица 3 – Влияние увеличенных геометрических параметров на изменение потерь, разубоживания и прибыли по вариантам технологий 1-3 и 7

Вариант	Π и P , %	Πp , руб/т
1	<p>$P(B) = 8,9743 - 0,2117B + 0,0134B^2$</p>	<p>$\Pi p(B) = 72,4229 + 4,7489B - 0,1477B^2$</p>
2	<p>$P(H) = 4,8447 + 0,06518H$</p>	<p>$\Pi p(H) = 122,0782 - 0,0707H - 0,0012H^2$</p>
3	<p>$P(L) = 15,02 - 0,1509L + 16,4286 \cdot 10^{-4}L^2$</p>	<p>$\Pi p(L) = 68,1 + 1,2097L - 0,0048L^2$</p>
7, учитывает промежуточные варианты 4-6	<p>$P(B, L) = 17,688 + 0,1888B - 0,2828L + 0,0064B^2 + 0,0004BL + 0,0011L^2$</p>	<p>$\Pi p(B, L) = 24,14 + 2,44B + 1,57L - 0,11B^2 + 0,0036BL - 0,0068L^2$</p>

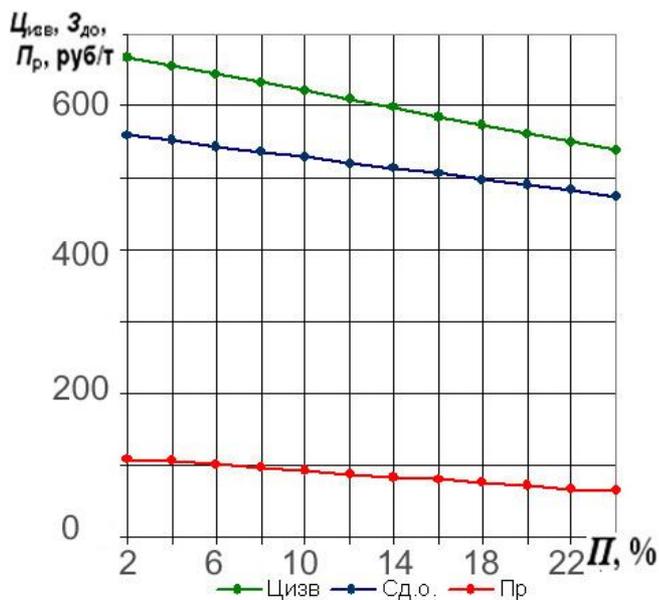


Рисунок 4 – Влияние потерь руды на удельные затраты при добыче и обогащении, извлекаемую ценность и прибыль

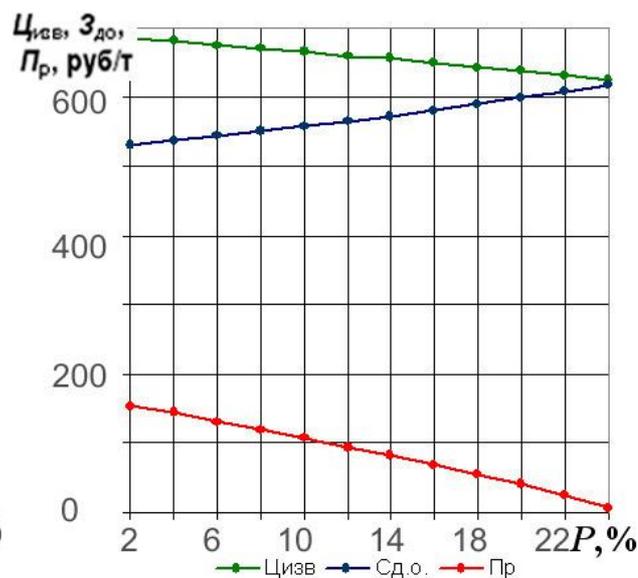


Рисунок 5 – Влияние разубоживания на удельные затраты при добыче и обогащении, извлекаемую ценность и прибыль

Анализ изменения показателей эффективности $C_{изв}$, $Z_{до}$ и Pr в зависимости от P (при $R = 10\%$) и R (при $P = 2,5\%$) показал следующее:

- увеличение P и R на 1 % снижает удельную $C_{изв}$ на 6,8 руб. и 3,7 руб., соответственно, то есть при одинаковом характере степень влияния P на удельную $C_{изв}$ в 1,8 раза выше, чем R . При одновременном увеличении P и уменьшении R на 1 % удельная $C_{изв}$ снижается на их разность (3,1 руб.);

- увеличение P на 1 % ведет к снижению удельных $Z_{до}$ на 4,2 руб., а R – к повышению $Z_{до}$ на 4,9 руб., то есть при различном характере степень влияния P и R на $Z_{до}$ практически одинакова. При одновременном увеличении P и уменьшении R на 1 % удельные $Z_{до}$ снижаются в размере их суммы (9,1 руб.);

- увеличение P и R на 1 % снижает удельную Pr на 2,6 и 8,6 руб., соответственно, то есть при одинаковом характере степень влияния R на удельную Pr в 3,3 раза выше, чем P . При одновременном увеличении P и уменьшении R на 1 % удельная Pr повышается на 6,0 руб.

Таким образом, эффективность технологии с УГП и оставлением ПЦ можно повысить за счет большего снижения $Z_{до}$ по сравнению со снижением $C_{изв}$ в результате одновременного увеличения P и уменьшения R .

В силу большего количества комбинаций численных значений P и R (допустимых планов) и неоднозначности детерминирования значения Pr различными комбинациями P и R применение метода перебора вариантов весьма проблематично для установления оптимального соотношения. Поэтому разработана методика оценки и выбора оптимального варианта технологии с ПЦ, основанная на определении области экономически эффективных соотношений P и R и ее структурирования. Область установлена на основе зависимости Pr от возможных величин P и R , полученной в результате экономико-математического моделирования:

$$Pr(P, R) = 188,97 - 3,7P - 7,02R + 0,02P^2 + 0,1PR - 0,07R^2 \quad (R^2 = 0,99). \quad (6)$$

Из теории линейного программирования известно, что целевая функция достигает своего максимума в крайних точках многоугольника допустимых планов. В нашем случае область экономически эффективных соотношений Π и P представляет собой треугольник с вершинами в точках 1, 2 и 3 на рис. 6.

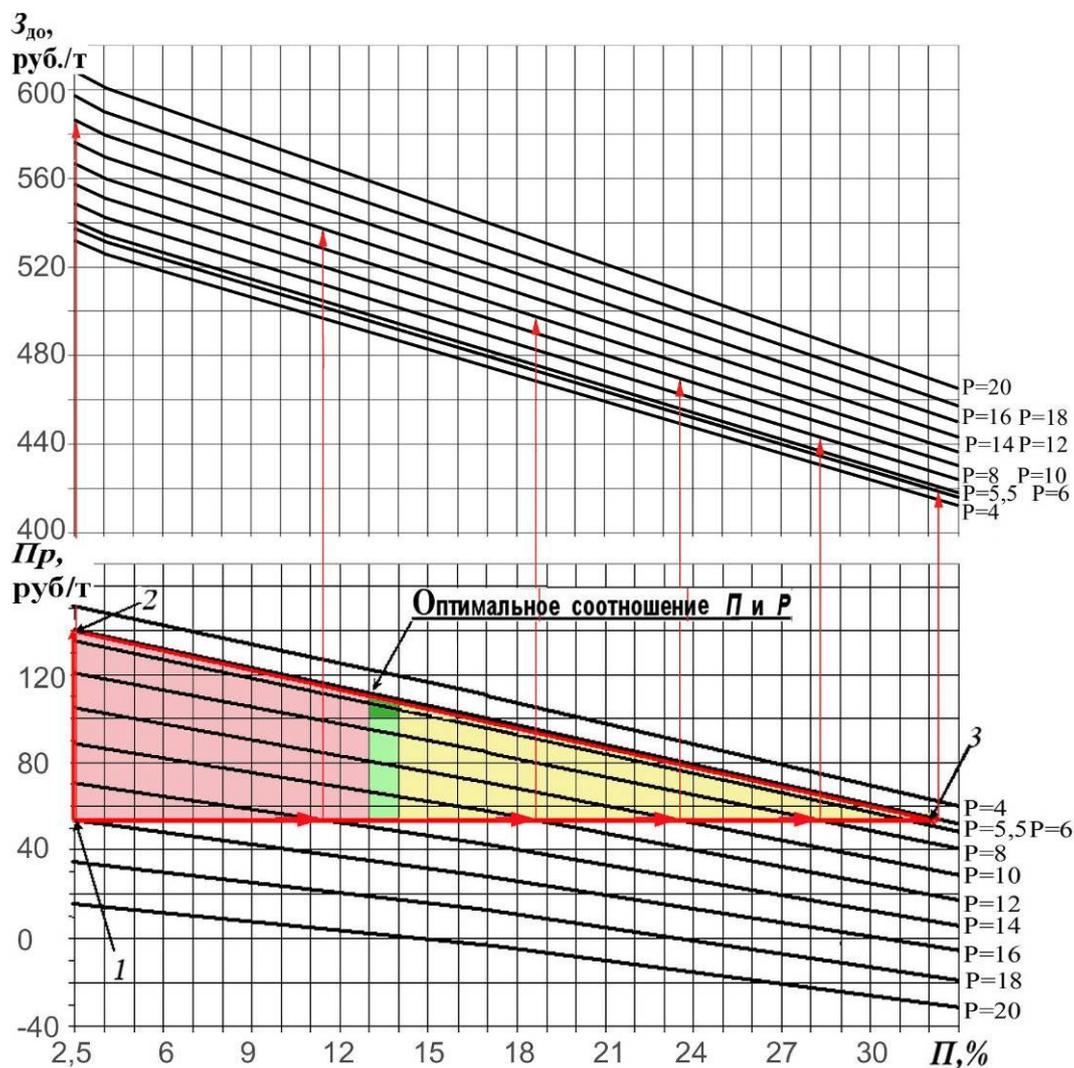


Рисунок 6 – Область экономически эффективных соотношений Π и P и ее структура при технологии с предохранительными целиками

Координатами точки 1 являются: $\min \Pi = 2,5 \%$ (средние по этажу); $\max P = 16 \%$ (разубоживание, превышающее среднее (10 %) по этажу 670/750 м, принимается по таблице 3 в зависимости от варианта с УГП). Повышение P с 10 до 16 % происходит при увеличении B с 20 до 30 м и H с 80 до 160 м. Данные значения Π и P соответствуют традиционной технологии, Π_r в данной точке минимальна.

Координатами точки 2 являются: $\min \Pi = 2,5 \%$ (средние по этажу); $\min P = 5,5 \%$ (наименьшее по этажу). Значения Π и P в данной точке также соответствуют традиционной технологии, Π_r в этой точке максимальна. Следовательно, значения Π_r , лежащие на отрезке 1 – 2, отражают Π и P , соответствующие традиционной технологии.

Координатами точки 3 являются: $\max \Pi = 32 \%$ (принимаются наибольшие при технологии с ПЦ); $\min P = 5,5 \%$ (наименьшее при технологии с ПЦ). Здесь значение Π определяется опусканием перпендикуляра из точки 1 до пересечения с линией наи-

меньшего P . Данные значения соответствуют предлагаемой технологии с применением ПЦ. Pr в данной точке минимальна, возможные соотношения P и R ниже этого значения Pr не рассматриваются.

Соединив три точки локализуем область эффективных соотношений P и R (на рис. 6 показана красными линиями). Разумеется, что все соотношения P и R , включенные в эту область, имеют значения Pr выше минимального.

Интересно отметить, что, поскольку все варианты соотношений на линии 1 - 3 равноценны между собой по прибыли, для выявления наиболее эффективного необходимо провести сравнение по дополнительному критерию – затратам на добычу и обогащение $Z_{д.о.}$. Видно, что соотношение P_{max} и R_{min} рентабельнее, чем соотношение P_{min} и R_{max} .

Установленная область экономически эффективных соотношений включает область технически невозможных (труднореализуемых) соотношений P и R и область технически возможных соотношений, в которой можно выделить подобласти нерациональных и рациональных соотношений (рис. 6).

Область технически труднореализуемых соотношений определяется величиной P , обусловленных размерами (толщиной) ПЦ, меньше устойчивых. Данная область выделена красным цветом. Соотношения P и R , лежащие вне данной области, составляют область технически возможных соотношений. Подобласть нерациональных соотношений определяется величиной P , обусловленных размерами ПЦ больше минимально допустимых (выделена желтым цветом). Следовательно, оптимальное соотношение P и R устанавливается в подобласти рациональных технически возможных соотношений (выделена зеленым цветом).

Наиболее эффективным – оптимальным – является соотношение P и R , которое дает максимальную Pr . Размеры ПЦ, соответствующие данному соотношению, также являются оптимальными. Очевидно, что значения P и R зависят как от размеров ПЦ, так и от ГП камер. Технически возможные P и R в зависимости от толщины ПЦ ($T_{ц}$) и его высоты ($h_{ц}$) можно определить по формулам (7) и (8):

$$P = P_{const} + \left(\frac{T_{ц} h_{ц}}{\sin \alpha LH} \right) \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $P_{const} = 2,5\%$ – эксплуатационные потери без учета потерь в ПЦ. В данном случае это нормативные потери для этажа 670/750 м, зависящие от горно-геологических и горнотехнических условий разработки (системы разработки и ее параметров);

$\alpha = 70^\circ$ – угол падения рудного тела;

L – длина камеры, м;

H – высота камеры, м.

$T_{ц}$ – минимально допустимая толщина ПЦ рассчитывается или принимается по данным практики (например, 4м).

Высота ПЦ может принимать значения $h_{ц} = (0 \div 1)H$, с шагом изменения $1/12 H$.

$$P = P_{\text{const}} + \left[\frac{\left(1 - \frac{h_{\text{ц}}}{H}\right) \frac{m_{\text{п}}}{\sin \alpha} \gamma_{\text{п}}}{\left(1 - \frac{h_{\text{ц}}}{H}\right) \frac{m_{\text{п}}}{\sin \alpha} \gamma_{\text{п}} + L \gamma_{\text{р}}} \right] \cdot 100\%, \quad (8)$$

где P_{const} – разубоживание по камере без учета разубоживания от отслаиваемых пород висячего бока, %. В данном случае P_{const} – это нормативное разубоживание, рассчитываемое по утвержденной методике и включающее следующие виды: при оконтуривании рудного тела взрывными скважинами; от отслоения закладки из кровли камеры; от отслоения закладочного материала из стенок заложённых камер; от включения в выемочный контур прослоев пустых пород;

$m_{\text{п}}$ – мощность отслаиваемых пород висячего бока, примешиваемых к руде в процессе очистной выемки, от 2 до 20 м, м;

$\gamma_{\text{п}}, \gamma_{\text{р}}$ – плотность пород висячего бока и руды, соответственно 2,7 и 3,6 т/м³.

Формулы (6) и (7) соответствуют технологии с оставлением ПЦ у висячего бока, так как практически все повышение P по камере происходит за счет отслоения пород висячего бока (гл. 2).

В рамках исследуемой области определены оптимальные соотношения Π и P в зависимости от $h_{\text{ц}}$ и $T_{\text{ц}}$ (рис. 7). Из рис. 7 видно, что с увеличением: высоты целика (с 0 до 80 м) $\Pi_{\text{р}}$ возрастает и достигает наибольшей величины при $h_{\text{ц}} = H$ (точка А), а его толщины (с 4 до 11 м) $\Pi_{\text{р}}$ снижается до минимального значения (точка 3).

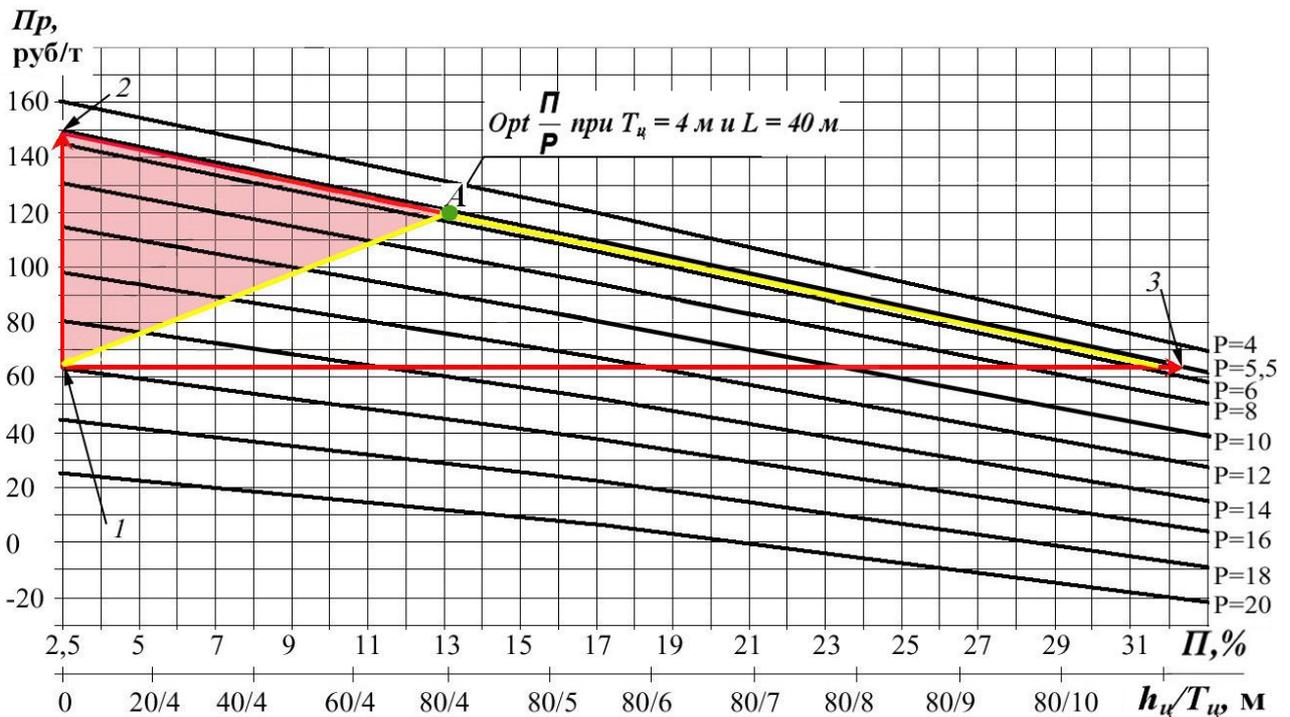


Рисунок 7 – Оптимизация технически возможных соотношений потерь и разубоживания в зависимости от высоты и толщины предохранительного целика

В результате проведенных исследований установлено, что в пределах области экономически эффективных соотношений наибольшая Pr достигается при оставлении ПЦ на всю высоту камеры и его минимальной толщине (точка А).

Установлены области эффективного применения технологии с ПЦ в зависимости от содержания меди в балансовых запасах камеры при различных значениях P , определяемых толщиной ПЦ (рис.8). Анализ показал, что эффективно применять технологию с ПЦ при следующих условиях: содержании от 1,1 до 1,51 %, если P составляют не более 23,8 % ($T_{ц} = 8$ м); от 1,52 до 1,72 %, если P составляют не более 18,5 % ($T_{ц} = 6$ м); от 1,73 до 2,07 %, если P составляют не более 13,1 % ($T_{ц} = 4$ м) и $c > 2,07$ % применение технологии с ПЦ становится неэффективно.

Установлены также области эффективного применения технологии с ПЦ в зависимости от содержания при различных значениях разубоживания (рис. 9). Анализ показал, что технология с ПЦ эффективна при следующих ограничениях: содержании от 1,1 до 1,62 %, если P более 12 %; от 1,63 до 2,06 %, если P более 16 %; от 2,07 до 2,30 %, если P более 20 % и $c > 2,30$ % технология с оставлением ПЦ неэффективна.

Таким образом, эффективность технологии с ПЦ определяется величиной P в ПЦ и R и зависит от содержания меди в балансовых запасах камеры.

В четвертой главе оценена эффективность технологии камерной выемки с УГП и применением ПЦ в зависимости от факторов, негативно влияющих на величину R , разработаны и оценены варианты отработки камер с УГП, обеспечивающие повышение интенсивности очистной выемки за счет улучшения качества дробления и применения рациональных КСО на выпуске и доставке руды из камеры.

Основным фактором, негативно влияющим на величину разубоживания при выемке камер с УГП, являются размеры обнажения висячего бока – ширина (пролет) и наклонная высота камеры. Кроме этого, существуют и другие факторы, которые необходимо учитывать при изыскании технологии: устойчивость и время обнажения вмещающих пород и вышележащего закладочного массива. В зависимости от установленного фактора принимается место расположения ПЦ. Учитывая особенности разработки Гайского месторождения (гл. 1), был рассмотрен вариант расположения ПЦ у висячего бока.

Определение размеров предохранительных целиков представляет собой весьма сложную задачу. Проведенный анализ расчетных формул для определения размеров устойчивых пролетов камер и целиков показал, что обычно они выведены для конкретного месторождения, обилие коэффициентов и других величин, определяемых опытным путем, затрудняет их применение. Приближенные значения устойчивых пролетов рудных обнажений определены согласно рейтинговой классификации Н. Бартона и соответствуют ширине максимального незакрепленного пролета $L_{н} = 20 \div 30$ м. Следовательно, рудный ПЦ, оставляемый у висячего бока, будет сохранять свою устойчивость при ширине камеры до 30 м.

Гайский подземный рудник имеет опыт выемки камер с оставлением временных рудных целиков, расположенных по высоте камеры с целью предотвращения обрушения пород. Фактические размеры целиков в отработанных камерах этажа 670/750 м составляли от 4,5 до 6,0 м.

Зарубежный опыт применения ПЦ (рудных «корок») на рудниках Салафоса (Италия), Брансуик, Риас, Сулливан и Флин-Флон (Канада) показывает, что толщина

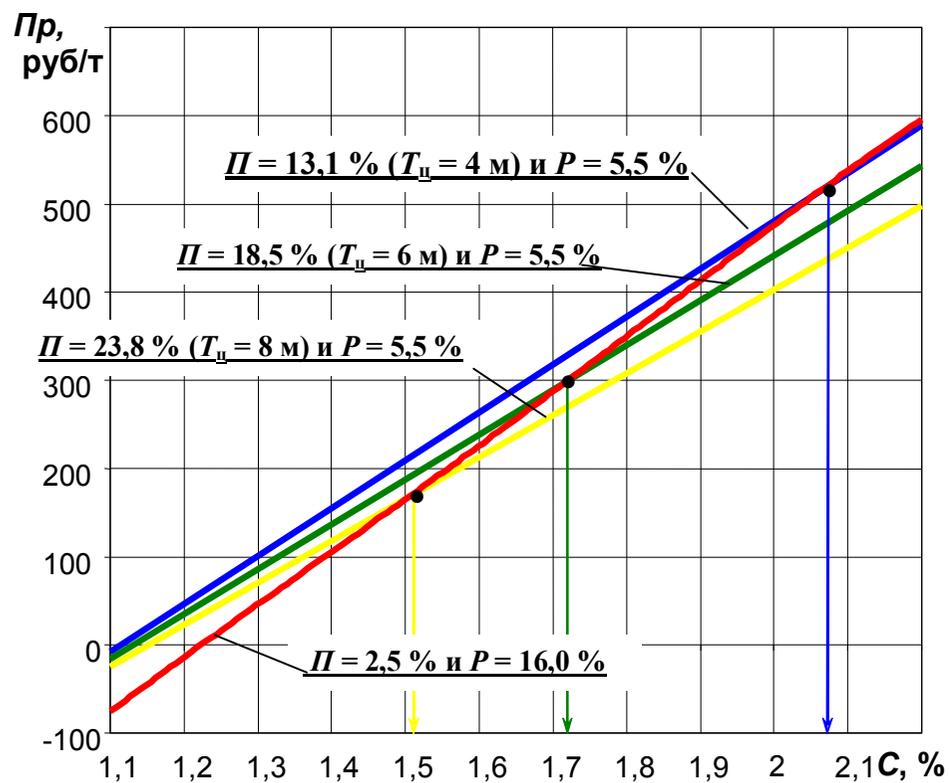


Рисунок 8 – Изменение прибыли в зависимости от содержания меди в балансовых запасах камеры при различной толщине предохранительного целика

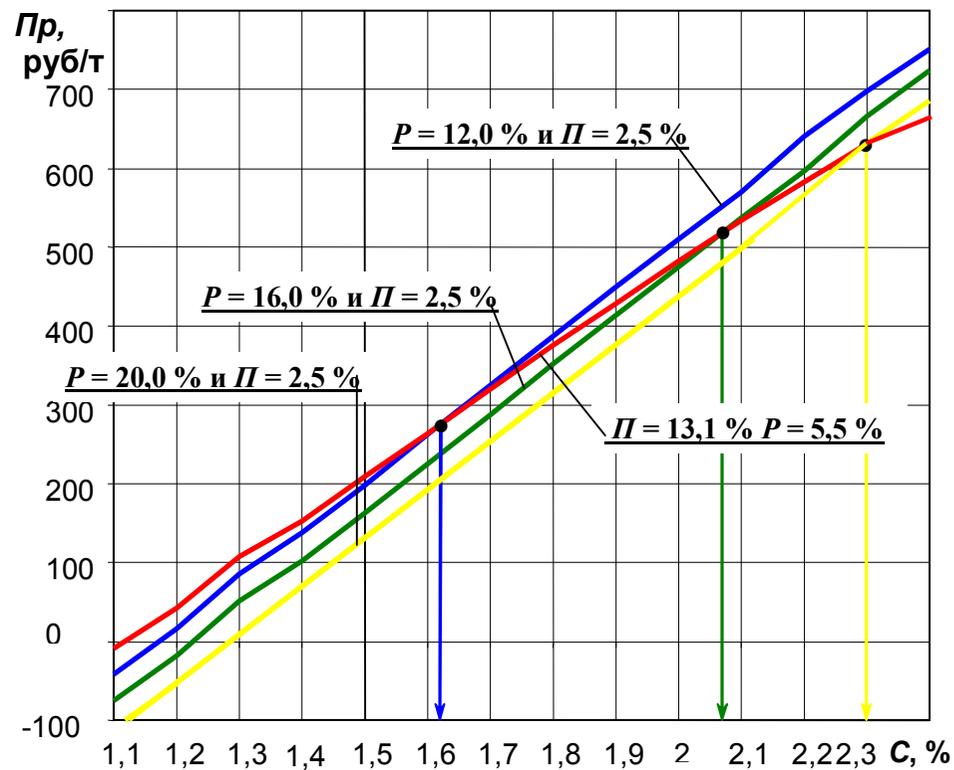


Рисунок 9 – Изменение прибыли в зависимости от содержания меди в балансовых запасах камеры при разном разубоживании

их составляет не более 1,5 - 5 м. Учитывая вышеизложенное, допустимо толщину ПЦ принять равной 4 м.

Исследована эффективность отработки камер с оставлением ПЦ у всячего бока на всю высоту камеры в зависимости от вариантов комбинаций УГП. В результате экономико-математического моделирования установлено, что увеличение ГП при любой комбинации повышает Pr по сравнению с базовым вариантом (табл. 4). Из графиков видно, что кривые изменения Pr , соответствующие технологии с ПЦ, расположены выше кривой изменения Pr , полученной при базовой технологии. Следовательно, существует только область положительного влияния УГП (выделена зеленым цветом).

Анализ изменения эффективности различных вариантов отработки камер по технологии с ПЦ показал следующее:

Вариант 1. Увеличение B от 20 до 30 м повышает удельную Pr в 1,13 раза (на 14,2 руб.) за счет большего снижения $Z_{д.о}$ (на 53,5 руб.) по сравнению со снижением $C_{изв}$ (на 39,1 руб.) в результате одновременного повышения P до 11,3 и уменьшения R до 5,0 %. При этом максимальная Pr достигается при $B = 27,5$ м.

Вариант 2. Увеличение H от 80 до 160 м повышает удельную Pr в 1,18 раза (на 19,8 руб.) за счет большего снижения $Z_{д.о}$ (на 60,7 руб.) по сравнению со снижением $C_{изв}$ (на 40,9 руб.) в результате одновременного повышения P до 11,7 % и уменьшения R до 3,8 %.

Вариант 3. Увеличение L от 40 до 120 м повышает удельную Pr в 1,44 раза (на 47,8 руб.) за счет снижения $Z_{д.о}$ (на 47,4 руб.) и повышения $C_{изв}$ (на 0,4 руб.) в результате одновременного увеличения P до 4,9 % и уменьшения R до 3,7 %.

Вариант 7. При одновременном увеличении B до 30, H до 160 и L до 120 м удельная Pr повышается в 1,5 раза (на 54,6 руб.) за счет снижения $Z_{д.о}$ (на 44,7 руб.) и повышения $C_{изв}$ (на 9,9 руб.) в результате одновременного увеличения P до 4,2 % и уменьшения R до 3,9 %.

Таким образом, эффективность этажно-камерной системы разработки с УГП обеспечивается путем применения ПЦ, размеры которых соответствуют оптимальному соотношению величин P и R , установленному по геомеханическим, горно-геологическим, технологическим и экономическим условиям.

При конструировании вариантов технологии отработки камер учитывалось, что при традиционном способе отбойки увеличение B и L камеры существенно повышает выход негабарита, что снижает интенсивность выпуска и доставки руды из камеры. Также с увеличением ГП объем отбиваемой и выпускаемой руды возрастает, что увеличивает нагрузку на днище камеры и существенно снижается удельный объем подготовительно-нарезных выработок. В связи с этим возникла необходимость в разработке вариантов, позволяющих одновременно устранить или уменьшить отрицательное влияние УГП и усилить их положительное влияние на эффективность отработки.

Разработаны варианты отработки камер с УГП по технологии с ПЦ у всячего бока, предусматривающие снижение R , улучшение качества дробления, снижение удельного объема подготовительно-нарезных выработок и повышение устойчивости днища камеры.

Таблица 4 – Влияние увеличенных геометрических параметров камеры, обрабатываемой по технологии с предохранительным целиком, на изменение показателей извлечения и прибыли по вариантам технологии 1 - 3 и 7.

Вариант	Π и P , %	Π_p , руб/т
1	<p>$P(B) = 12,42 - 0,7651B + 0,01714B^2$</p>	<p>$\Pi_p(B) = 62,98 + 4,8429B - 0,0949B^2$</p>
2	<p>$P(H) = 4,02 - 0,0013H$</p>	<p>$\Pi_p(H) = 106,503 + 0,2532H - 7,34 \cdot 10^{-4} H^2$</p>
3	<p>$P(L) = 4 - 0,025L$</p>	<p>$\Pi_p(L) = 74,7 + 1,4881L - 0,0068L^2$</p>
7 (учитывает промежуточные варианты 4-6)	<p>$P(B, L) = 11,77 - 0,7184B + 0,0003L + 0,0163B^2 - 8,4 \cdot 10^{-5}BL - 3,9286 \cdot 10^{-6}L^2$ при $H=160$ м</p>	<p>$\Pi_p(B, L) = 13,81 + 5,41B + 1,498L - 0,105B^2 - 6 \cdot 10^{-5}BL - 0,0068L^2$ при $H=160$ м</p>

С целью снижения разубоживания и улучшения качества дробления разработан вариант I, предусматривающий отбойку руды веерами скважин в сочетании с комплектами параллельно-сближенных скважин (рис. 10). Кроме этого, с целью повышения износостойчивости днища, сконструировано днище для щелевого выпуска руды (А. с. № 1678118 СССР Е 21 С 37/00). Данный вариант предназначен для отработки камер первой очереди увеличенной ширины. Для отработки камер второй очереди увеличенной ширины разработан вариант II (рис. 11), позволяющий улучшить качество дробления путем применения отбойки руды по методу вертикальной кратерной выемки (VCR). В обоих вариантах для повышения устойчивости днища и интенсивности выпуска руды из камер предусмотрено двухстороннее расположение погрузочных заездов, что обеспечивается достаточной шириной камеры и габаритами ПДМ. При этом возможно использовать два КСО (А. с. № 1543082 СССР Е 21 С 41/16 и А. с. № 1666710 СССР Е 21 С 41/16).

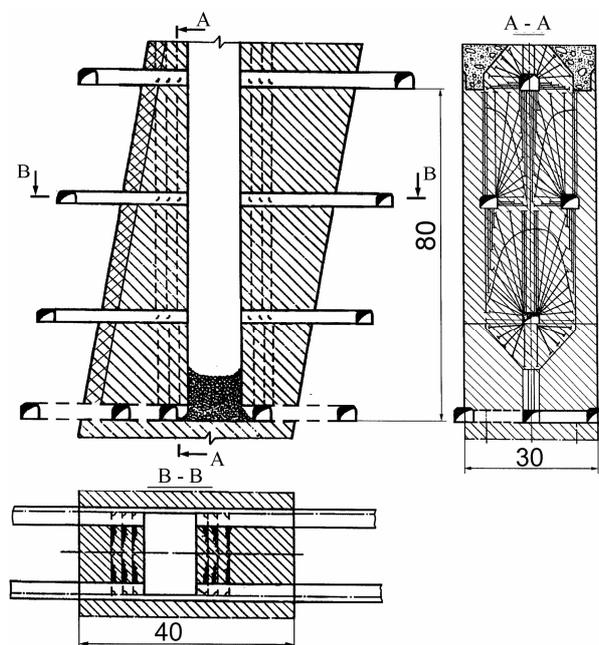


Рисунок 10 – Вариант отработки камеры увеличенной ширины с отбойкой веерами скважин в сочетании с комплектами параллельно сближенных скважин

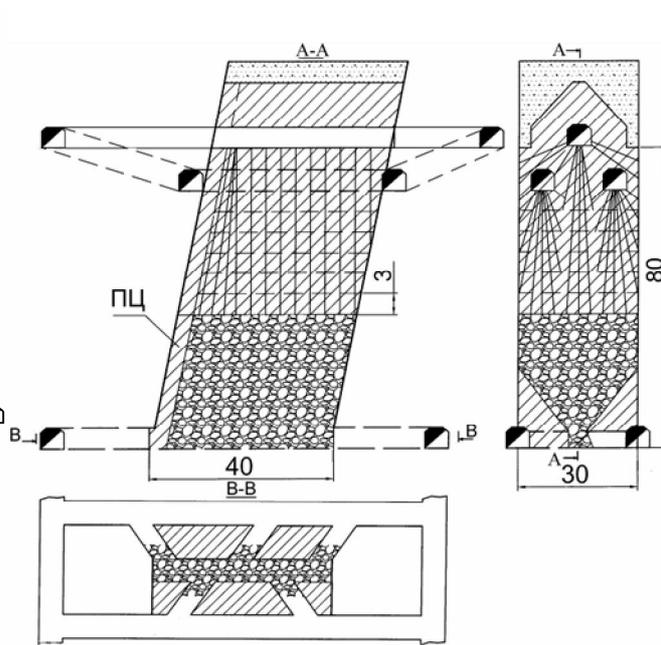


Рисунок 11 – Вариант отработки камеры увеличенной ширины с отбойкой камерных запасов горизонтальными секциями снизу вверх и магазинированием руды

Для отработки камер увеличенной высоты разработан вариант III, улучшающий качество дробления путем сочетания двух первых способов отбойки (рис. 12). Он характеризуется тем, что на первой стадии очистной выемки не оформляют отрезную щель, а осуществляют выемку камерных запасов руды у всячего бока путем применения интенсивной отбойки по методу VCR. На второй стадии очистной выемки большей части камерных запасов осуществляют отбойку руды веерами скважин в сочетании с комплектами параллельно-сближенных скважин.

С целью повышения качества дробления разработан вариант IV, предусматривающий отбойку руды с использованием встречного взрывания за счет формирования

клинообразного очистного забоя путем диагонального расположения вееров взрывных скважин (рис. 13). Он предназначен для отработки камер увеличенной длины.

Выход негабарита для каждого варианта рассчитан по формулам (1) и (2) и соответствует данным опытно-промышленных испытаний предлагаемой технологии на Гайском подземном руднике. Оптимальный состав комплекса СО и его производительность устанавливались по графикам (рис. 3 и 2, соответственно) при $L_d = 200$ м. Техничко-экономические показатели предлагаемых вариантов представлены в таблице 5. Анализ полученных результатов показывает, что эффективность предлагаемых вариантов отработки камер с УГП и ПЦ выше по сравнению с базовым на 27, 33, 26 и 54 % при применении вариантов I, II, III и IV, соответственно. Таким образом, установлено, что увеличение ГП эффективно при использовании технологии с ПЦ, а предлагаемые варианты I, II, III и IV существенно повышают эффективность отработки камер в рассмотренном диапазоне с УГП.

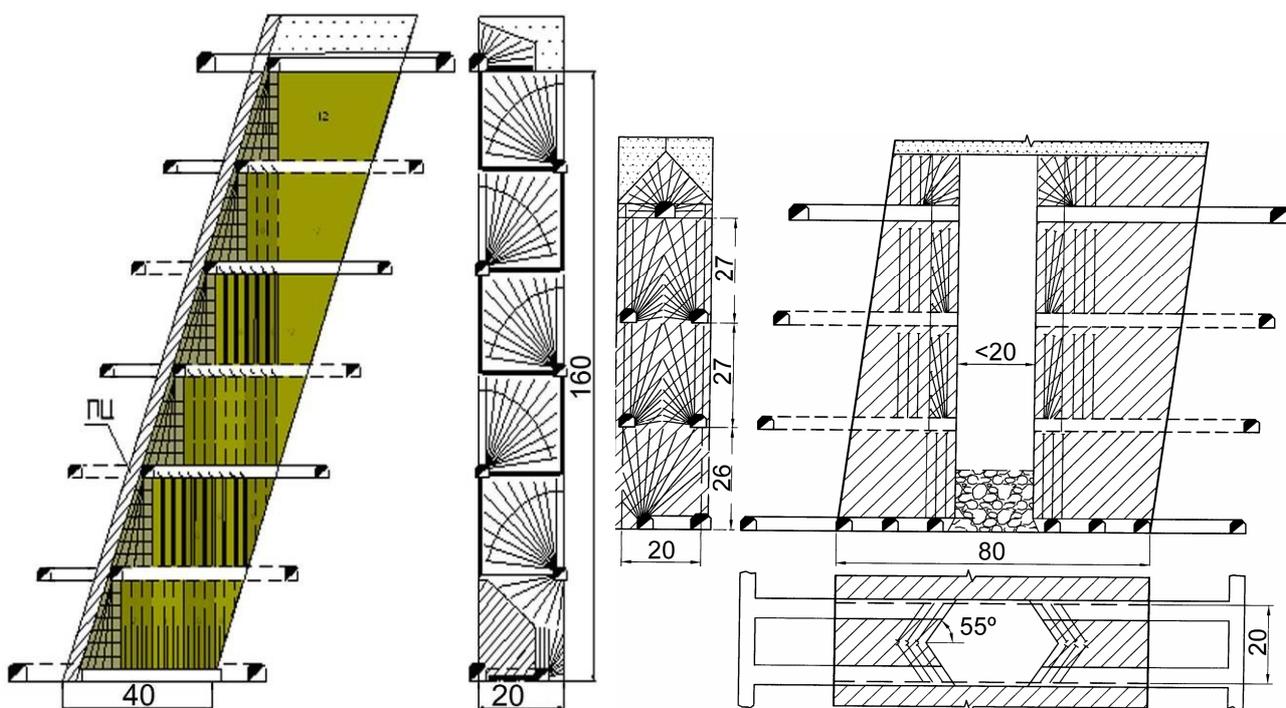


Рисунок 12 – Вариант отработки камеры увеличенной высоты по методу VCR и с отбойкой руды веерами скважин в сочетании с параллельно-сближенными скважинами

Рисунок 13 – Вариант отработки камеры увеличенной длины с использованием встречного взрывания диагонально расположенных вееров взрывных скважин

Таблица 5 – Техничко-экономические показатели вариантов технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами и применением предохранительного целика

№ п/п	Показатель	Базовый	Варианты отработки камерных запасов			
			I	II	III	IV
1	Геометрические параметры, м					
	ширина	20	30	30	20	20
	высота	80	80	80	160	80
	длина	40	40	40	40	80
2	Удельный объем подготовительно-нарезных выработок, м ³ /1000 т	34,0	26,5	20,8	30,3	22,4
3	Выход негабарита, %	15	3-4	5	5	4
4	Рекомендуемый оптимальный КСО и его эксплуатационная производительность на выпуске и доставке, т/смену	I 360	II(два) 1310	II(два) 1310	II 1310	II 1310
5	Интенсивность выпуска руды из камеры, т/смену	360	2620	2620	1310	1310
6	Потери, %	2,5	11,3	11,3	11,7	6,8
7	Разубоживание, %	10,1	5,0	3,8	3,8	3,8
8	Прибыль, руб/т	108,4	137,9	144,3	136,7	166,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи по обоснованию эффективности и безопасности технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами при разработке уральских медноколчеданных месторождений, реализуемой путем применения формирования в очистном пространстве ПЦ с размерами соответствующими оптимальному соотношению потерь и разубоживания. Основные научные и практические результаты исследований сводятся к следующему:

1 Установлена статистически значимая связь ($\alpha = 0,05$) между выходом негабарита и шириной камеры ($r = 0,5$), описываемая уравнением прямой линии регрессии, для условий этажно-камерной системы разработки медноколчеданных месторождений. Установлена также зависимость выхода негабарита от длины камеры ($R^2 = 0,99$). Показано, что повышение производительности и эффективности процесса выпуска и доставки в условиях УГП камеры достигается за счет резкого снижения η и применения оптимального состава КСО, определяемого в зависимости от L_d и η .

2 В рамках разработанной систематизации вариантов отработки камер с УГП получены зависимости показателей эффективности традиционной технологии от увеличенных геометрических параметров с учетом соответствующих изменений потерь и разубоживания. В результате экономико-математического моделирования установлено, что увеличение B с 20 до 40 м снижает Pr на 82,4 руб/т в результате увеличения P с 10 до 22 %; увеличение H с 80 до 160 м снижает Pr на 29,4 руб/т в результате уве-

личения P с 10 до 15 %; увеличение L с 40 до 120 м повышает Pr на 36,3 руб/т в результате уменьшения P 10 до 6 % и одновременное увеличение B до 40 м, H до 160 м и L до 120 м снижает Pr на 61,4 руб/т.

3 Оценено влияние P и R на эффективность обработки камеры при базовых ТЭП. Установлено, что эффективность технологии с оставлением ПЦ можно повысить за счет большего снижения $Z_{д.о}$ по сравнению со снижением $Ц_{изв}$ в результате одновременного увеличения P и R . Так, при одновременном увеличении P и уменьшении R на 1 % удельные $Z_{д.о}$ снижаются на их сумму, равной 7,7 руб., а удельная $Ц_{изв}$ снижается на их разность, равную 3,2 руб. и, в итоге, удельная Pr повышается на 4,5 руб.

4 Разработана методика оценки и выбора оптимального варианта технологии с ПЦ, основанная на определении области экономически эффективных соотношений P и R и ее структурирования, отличающаяся тем, что процесс оптимизации осуществляется внутри рассматриваемого варианта этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой и в качестве оптимизируемых параметров рассмотрены P и R .

5 Оптимизация технически возможных соотношений P и R в зависимости от высоты и толщины ПЦ показала, что с увеличением $h_{ц}$ (с 0 до 80 м) Pr возрастает и достигает наибольшей величины при $h_{ц} = H$, а с увеличением $T_{ц}$ (с 4 до 11 м) Pr снижается до минимального значения. Таким образом, в пределах области экономически эффективных соотношений наибольшая Pr достигается при минимальной толщине ПЦ и его формировании на всю высоту камеры.

6 Выявлены области эффективного применения технологии с ПЦ в зависимости от содержания меди в балансовых запасах. Установлено, что эффективность технологии с ПЦ определяется величиной P в ПЦ и R и зависит от содержания меди в балансовых запасах камеры:

– при содержании от 1,1 до 1,51 %, если P составляют не более 23,8 % ($T_{ц} = 8$ м); от 1,52 до 1,72 %, если P составляют не более 18,5 % ($T_{ц} = 6$ м); от 1,73 до 2,07 %, если P составляют не более 13,1 % ($T_{ц} = 4$ м) и $c > 2,07$ % применение технологии с ПЦ становится неэффективно;

– при содержании от 1,1 до 1,62 %, если R более 12 %; от 1,63 до 2,06 %, если R более 16 %; от 2,07 до 2,30 %, если R более 20 % и $c > 2,30$ % технология с оставлением ПЦ неэффективна.

7 Установлено, что эффективность этажно-камерной системы разработки с УГП обеспечивается путем применения ПЦ, размеры которых соответствуют оптимальному соотношению величин P и R . Так, увеличение B от 20 до 30 м (вариант 1) повышает Pr на 14,2 руб/т, увеличение H от 80 до 160 м (вариант 2) повышает Pr на 19,8 руб/т, увеличение L от 40 до 120 м (вариант 3) повышает Pr на 47,8 руб/т и одновременное увеличение B до 30, H до 160 и L до 120 м (вариант 7) Pr повышает на 54,6 руб/т по сравнению с базовым вариантом.

8 Разработаны варианты обработки камер с УГП по технологии с ПЦ, предусматривающие снижение P , улучшение качества дробления, снижение удельного объема подготовительно-нарезных выработок и повышение устойчивости днища камеры. Техничко-экономическая оценка показала, что эффективность предлагаемых вариантов обработки камер с УГП и ПЦ выше по сравнению с базовым вариантом. Так, удельная

Пр варианта I выше на 27 %, варианта II – на 33 %, варианта III – на 26 % и варианта IV – на 54 %.

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1 Антипин Ю.Г. Исследование и разработка технологии камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами блоков // Горный информ.-аналит. бюл. – 2002. – № 7.

2 Волков Ю.В. Совершенствование отбойки руды на Гайском подземном руднике / Волков Ю.В., Камаев В.Д., Соколов И.В., Антипин Ю.Г. // Горный информ.-аналит. бюл. – 2003. – № 5.

3 Антипин Ю.Г. Влияние геометрических параметров камер на эффективность отработки месторождений // Горный информ.-аналит. бюл. – 2007. – № 3.

4 Волков Ю.В. Методика определения эффективных соотношений потерь и разубоживания при этажно-камерной системе разработки с предохранительными целиками / Волков Ю.В., Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Чаговец Г.А. // Известия вузов. Горный журнал. – 2009 – № 2.

5 Волков Ю.В. Изыскание эффективной технологии отработки переходной зоны на уральских медноколчеданных месторождениях / Волков Ю.В., Соколов И.В., Мишенин А.Н., Антипин Ю.Г. // Горный журнал. – 1991. – № 11.

6 Волков Ю.В. Определение эффективного соотношения показателей потерь и разубоживания для условий Гайского подземного рудника / Волков Ю.В., Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г. // Горный информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 1. – С. 230-234.

Научные сборники, журналы и материалы конференций:

1 Волков Ю.В. Подготовка и отработка камер большой высоты на Гайском руднике / Волков Ю.В., Камаев В.Д., Антипин Ю.Г. // Цветная металлургия. – 1987. – № 7. – С. 4-8.

2 Волков Ю.В. Выбор рациональных схем отбойки руды в камерах увеличенной высоты на Гайском подземном руднике / Волков Ю.В., Камаев В.Д., Антипин Ю.Г. // Освоение эффективных технологий добычи руд цветных металлов: сб. науч. тр. / Институт «Унипромедь». – Свердловск, 1987. – С. 46-51.

3 Волков Ю.В. Отбойка руды пучками параллельно-сближенных скважин при этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой / Волков Ю.В., Каширо Ю.П., Антипин Ю.Г., Камаев В.Д. // Повышение эффективности процессов горного производства: сб. науч. тр. / Институт «Унипромедь». – Свердловск, 1989 – С. 50-54.

4 Авт. свидетельство № 1543082 Е 21 С 41/16. Способ разработки месторождений полезных ископаемых / Антипин Ю.Г., Волков Ю.В., Шведов А.П., Камаев В.Д. – № 4404674/23-03; Заявлено 05.04.88; Опубл. 15.02.90 // Бюл. – 1990. – № 6.

5 Авт. свидетельство № 1666710 Е 21 С 41/16. Способ разработки месторождений полезных ископаемых / Волков Ю.В., Антипин Ю.Г., Камаев В.Д., Шведов А.П. – № 4717135/03; Заявлено 11.07.89; Опубл. 30.07.91 // Бюл. – 1991. – № 28.

6 Авт. свидетельство № 1678118 Е 21 С 37/00. Способ взрывного разрушения горных пород при подземной разработке месторождений / Антипин Ю.Г., Вол-

ков Ю.В., Камаев В.Д., Лаптев В.М., Упоров В.В.– № 4750651/03; Заявлено 18.10.89 // Бюл. – 1991.

7 Антипин Ю.Г. Научно-методическое обоснование эффективного соотношения показателей потерь и разубоживания для условий Гайского подземного рудника // Проблемы недропользования: материалы I молодежной науч.-практ. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2007. – С. 54-60.

8 Волков Ю.В., Антипин Ю.Г. Обоснование технологии камерной выемки с учетом качества добытой руды при разработке Гайского месторождения // Комбинированная геотехнология: Развитие физико-химических способов добычи. Материалы международной науч.-техн. конф. г. Сибай, 18-22 июня 2007 г. / МГТУ. – Магнитогорск, 2007. – С. 44-45.

9 Волков Ю.В., Соколов И.В., Антипин Ю.Г. Исследование влияния увеличенных геометрических параметров камеры на эффективность ее отработки // Проблемы недропользования: материалы II Всероссийской молодежной науч.-практ. конф. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2008. – С. 36-44.

10 Волков Ю.В. Обоснование эффективности этажно-камерной системы разработки с увеличенными геометрическими параметрами и предохранительными целиками / Волков Ю.В., Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Чаговец Г.А. // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН – Екатеринбург, 2008. –С. 90-95.