

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСИС»

СУХОВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗЭТАЖНОГО ТОРЦЕВОГО ВЫПУСКА РУДЫ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ ТЕЛ СО СЛОЖНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ

Специальность 2.8.7 – «Теоретические основы
проектирования горнотехнических систем»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Савич Игорь Николаевич

Москва – 2025 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях рыночной экономики недропользователи нацелены на снижение издержек производства путем сокращения себестоимости получения товарного продукта (энергоносителей, металлов, горно-химического, строительного и нерудного сырья). Как известно, существенной статьёй затрат при эксплуатации месторождений являются расходы, связанные непосредственно с добычей полезного ископаемого. В связи с этим, научные исследования автора направлены в сторону обоснования конструктивных и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности производства. Наиболее перспективными с этой точки зрения, являются системы разработки с принудительным обрушением и торцевым выпуском руды.

Применение этих систем связано со сложностями при управлении процессами отбойки и выпуска руды. Наиболее остро это проявляется при разработке наклонных рудных залежей со сложной морфологией. Наличие пережимов, раздувов, непостоянство угла падения на различных участках рудного тела обуславливает возникновение целого ряда вопросов, наиболее существенными из которых являются прогнозирование показателей извлечения инженерными расчетами и управление качеством добываемого сырья.

Опираясь только общепринятыми аналитическими зависимостями, не всегда удастся корректно определиться с параметрами систем подземной разработки, особенно при системах с обрушением руды и вмещающих пород. Для получения более представительных данных по кинематическим и динамическим процессам, происходящим во время выпуска руды, в большинстве случаев необходимо прибегать к экспериментальным исследованиям на физических и компьютерных моделях.

При обосновании параметров систем подземной разработки требуется детальное изучение горно-геологических условий месторождения, физико-механических свойств массива, характера распределения полезного компонента в рудном теле. В процессе исследований необходимо установить

влияние изменения морфологических характеристик рудных тел на показатели извлечения при торцевом выпуске руды, адаптировать нерегулярный, так называемый «безэтажный» выпуск, включающий всю вертикальную мощность рудного тела, к месторождениям со сложной морфологией.

В связи с этим, обоснование параметров торцевого выпуска, обеспечивающих повышение эффективности добычи полезных ископаемых при подземной разработке наклонных рудных тел с переменной мощностью, является актуальной научной задачей.

Цель работы состоит в обосновании параметров безэтажного торцевого выпуска руды, отбитой в зажатой среде, на месторождениях со сложной морфологией рудных залежей.

Основная идея работы заключается в том, что максимальная полнота извлечения балансовых запасов при разработке рудных тел со сложной морфологией, достигается путем безэтажного торцевого выпуска руды из выработок, расположенных по простиранию рудных тел, посредством оптимизации параметров отбиваемых слоев с учетом изменения вертикальной мощности рудного тела.

Объект исследований - подземные рудники, которыми ведется разработка месторождений или их участков со сложной морфологией мощных рудных тел системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

Предметом исследований являются горнотехнические системы с принудительным обрушением и торцевым выпуском руды при изменяющейся конфигурации рудо-породного контакта по висячему боку.

Методы исследований. В работе применялся комплексный метод исследований, включающий в себя аналитические и опытно-экспериментальные исследования на физических и компьютерных моделях.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Для минимизации уровня потерь и разубоживания в процессе выпуска выпускаемого слоя рудной массы, его толщина (d_T) должна находиться в диапазоне $0,08 \div 0,12$ от его высоты (H), т. е. $d_T = 0,08 \div 0,12H$.

2. В процессе выпуска слоя руды толщиной $0,09 \div 0,12H$ на всю вертикальную мощность (при $M_v \geq 40$ м), уровень разубоживания в дозе гарантировано не превысит 40 % на протяжении выпуска не менее $60 \div 70$ % от общего объема извлеченной рудной массы, а общее разубоживание составит не более 25 %.

3. При безэтажном торцевом выпуске (на всю вертикальную мощность рудного тела) с заданным уровнем разубоживания, с прибавлением мощности на каждые 10 м, интенсивность нарастания потерь снижается до 2 % на каждый метр увеличения толщины отбиваемого слоя.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлена зависимость изменения уровня потерь руды от толщины отбиваемого слоя при изменяющейся мощности рудных тел со сложной морфологией;
- определена степень влияния конфигурации поверхности контакта руда – порода на показатели извлечения руды при изменяющихся углах падения рудных залежей;
- обоснован способ и порядок отработки рудных тел со сложной морфологией при изменяющейся вертикальной мощности.

Научное значение работы заключается в установлении зависимостей, определяющих влияние параметров торцевого выпуска рудной массы на количественные и качественные показатели извлечения полезного ископаемого при разработке рудных месторождений со сложной морфологией.

Практическая значимость исследований заключается в том, что полученные результаты и рекомендации позволят совершенствовать системы разработки с принудительным обрушением руды и вмещающих пород при торцевом выпуске руды на всю вертикальную мощность рудного тела, обеспечив повышение эффективности отработки залежей со сложной морфологией рудных тел.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: надежностью и представительностью

исходных данных; достаточной степенью сходимости (линейный коэффициент корреляции составляет 0,997) результатов физического, компьютерного моделирования и аналитических расчетов по апробированным методикам.

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанные технологические решения рекомендованы для использования на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК» при составлении рабочих проектов на отработку отдельных участков Ждановского месторождения, а также в процессе подготовки специалистов по соответствующим направлениям.

Апробация работы. Основное содержание работы и ее отдельные положения докладывались и получили одобрение на Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2012-2017 гг.), на научных семинарах кафедры «ГеоТех» Горного института НИТУ «МИСиС» (2012-2016 гг.), на семинарах Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» ИПКОН РАН (2012-2016 гг.).

Публикации. По результатам выполненной работы автором опубликовано 20 статей, в том числе 10 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 27 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 98 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Разработка рудных месторождений, представленных в настоящее время относительно бедными рудами, как правило с неравномерным распределением полезного компонента и сложным геологическим строением, предопределяет использование технологий, предусматривающих выпуск руды под обрушенными породами. Для эффективного освоения данных месторождений следует использовать накопленный опыт в части проектирования систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород, а так же базируясь на нем, совершенствовать технологии и расширять знания в области теории

проектирования освоения недр. Изучением этих горнотехнических систем и процесса выпуска занимались многие ученые: М.И. Агошков, В.Ф. Абрамов, Л.И. Барон, П.М. Вольфсон, В.Р. Глотов, В.А. Горбунов, Н.Г. Дубынин, В.Р. Именитов, Д.Р. Каплунов, Р.П. Каплунов, Е.В. Кузьмин, В.В. Куликов, Г.М. Малахов, С.С. Минаев, Р.Г. Пепелев, И.Н. Савич, З.А. Терпогосов, А.М. Фрейдин, В.А. Шестаков и другие. В следствии этого, в данной области наработана большая научная база.

Основные этапы развития теории выпуска:

- В.Р.Именитовым, С.И. Минаевым, Г.М. Малаховым, В.В. Куликовым разработан метод моделирования выпуска руды на физических моделях;
- В.В. Куликов предложил в качестве критерия подобия коэффициент сыпучести руды, который учитывает гранулометрический состав, влажность и слеживаемость руды;
- В.Р. Именитов расширил возможности физического моделирования, предложив использовать в качестве критерия функциональное подобие, т. е. подобие процессов по основным технологическим функциям, пренебрегая нарушениями в подобии по второстепенным, несущественным характеристикам процесса;
- П.А. Кузнецов ввел коэффициент разрыхления для определения масштаба моделирования. Геометрические размеры и объемы фигур выпуска в модели при этом будут подобны натурным;
- в обоснование применения при исследовании процессов подземных горных работ стохастического моделирования существенный вклад внес В.А. Горбунов. В дальнейшем методика моделирования была уточнена С.М. Чурсиным;
- Пепелев Р.Г. обосновал аналитический метод определения показателей извлечения при выпуске руды.

Большой вклад в развитие теории выпуска сделали такие зарубежные ученые как Р. Труман, Р. Квапил, Д. Лобшер и др. В их работах особая роль отведена изучению зон взаимовлияния выпускных отверстий.

Р. Квапил предложил располагать выпускные отверстия таким образом, чтобы изолированные зоны движения (ИЗД) над смежными выпускными отверстиями пересекались. Д. Лобшер и др. высказывали мнение о том, что выпускные отверстия могут быть расположены на расстоянии 1,5 ширины ИЗД, если выпуск производится сразу из нескольких выпускных отверстий.

Исследованиями взаимодействия изолированных зон выпуска (ИЗВ) для определения оптимальных расстояний между выпускными отверстиями занимались в Колорадской горной школе. ИЗВ были также исследованы Д. Питерсом, который установил, что ИЗВ могут взаимодействовать на расстоянии в 1,14 раза превышающим их ширину. Р. Макнирни и Д. Абель пришли к выводу, что ИЗВ имеет форму перевернутого конуса. Они установили, что для предотвращения раннего разубоживания расстояние между выпускными отверстиями должно соответствовать ширине ИЗВ.

При использовании систем разработки с принудительным обрушением руды, залежь по падению разделяют на этажи, в днище очистных блоков располагают специальные выработки, через которые отбитая руда попадает в доставочные выработки, по которым за счет средств механизации осуществляется доставка. Применение технологий, предусматривающих безэтажный торцевой выпуск, предполагает отработку рудной залежи на полную вертикальную мощность.

В результате анализа и обобщения литературных источников выявлено, что в области применения технологий, предусматривающих безэтажное и этажное обрушение с торцевым выпуском руды, накоплен относительно малый опыт в связи с практически полным отсутствием применения данных систем на рудниках.

В условиях разработки месторождений со сложной морфологией рудных тел для достижения наилучших показателей извлечения важно правильно выбрать параметры обрабатываемых слоев. В соответствии с этим, на основе проведенных стендовых испытаний на физических моделях с использованием

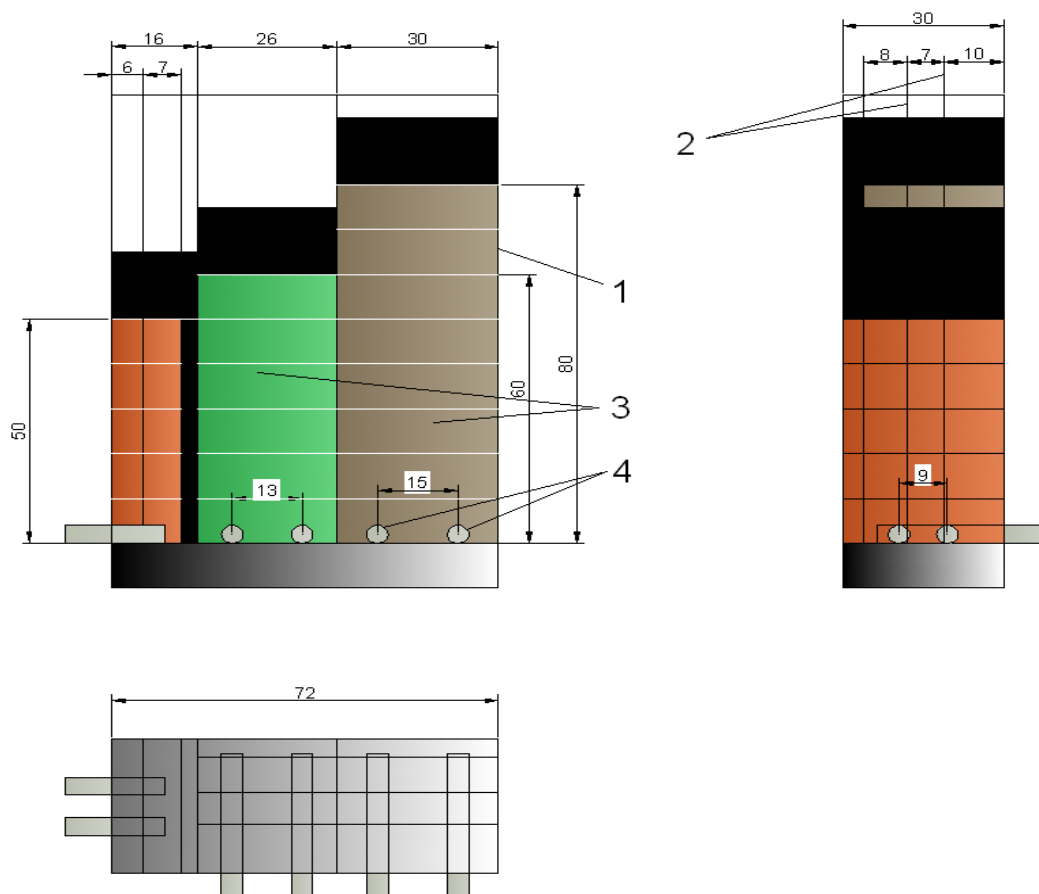
компьютерного моделирования и аналитических методов, в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

- исследован процесс формирования фигуры выпуска и определены ее параметры на разных стадиях развития;
- определен объем выпускаемой чистой руды до начала разубоживания и момент внедрения пород, расположенных над отбитой рудой в зависимости от взаимовлияния смежных слоев различной высоты;
- установлена степень влияния гранулометрического состава рудной массы на форму фигуры выпуска;
- обоснован диапазон изменения толщины отбиваемого слоя, обеспечивающего наилучшие показатели извлечения с учетом изменчивой вертикальной мощности рудных тел.

Изучение процесса торцевого выпуска руды в производственных условиях является сложной задачей из-за большой трудоемкости, неудобства наблюдения за основными процессами при выпуске руды и т. д. В результате чего, для решения поставленных в работе задач, в качестве основных методов исследования приняты опытно-экспериментальные методы исследования на физических и компьютерных моделях, а так же аналитические способы. В процессе исследования соблюдались положения теории моделирования выпуска, разработанные в трудах В.В. Куликова Г.М. Малахова, Е.В. Кузьмина, И.Н. Савича, В.Р. Именитова, Р.Г. Пепелева и других авторов.

Моделирование процесса выпуска рудной массы проводилось на физической и компьютерной моделях.

Схема физической модели для проведения экспериментов по исследованию выпуска и установления показателей извлечения руды из двух смежных выработок по каждому слою представлена на рисунке 1.



1 – каркас; 2 – вертикальные разделительные стенки для слоев;
3 – секции; 4 – выпускные выработки

Рисунок 1 – Схема физической модели торцевого выпуска руды

Лабораторный стенд представляет собой конструкцию, состоящую из каркаса, стенок и перегородок с масштабом моделирования 1:100.

Физическая модель была разделена на три секции со следующими параметрами:

- секция 1 (серый) – высота слоев 80 м, толщина 10 м, 8 м, 7 м;
- секция 2 (зеленый) - высота слоев 60 м, толщина 9 м, 8 м, 7 м;
- секция 3 (оранжевый) - высота слоев 50 м, толщина 7 м, 6 м.

Для обеспечения возможности визуального наблюдения за процессами выпуска, в качестве основного материала в модели использовалось прозрачное органическое стекло. В основании каждой секции располагались по две металлические трубы, имитирующие выпускные выработки с диаметром 4,5 м.

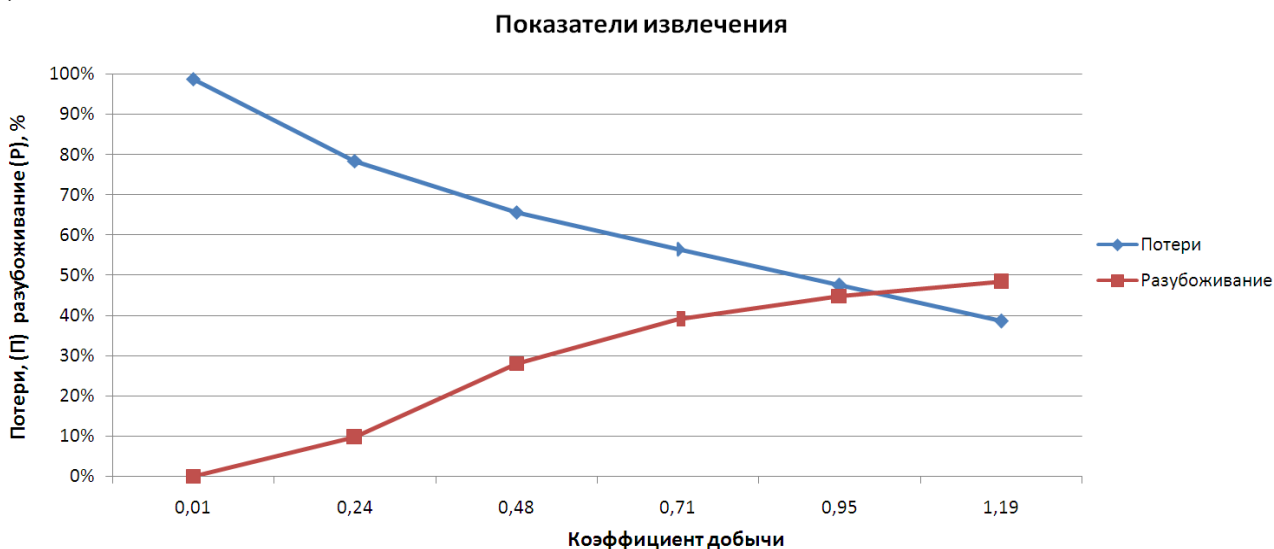
Расстояние между ними было выбрано по условию пересечения фигур выпуска, которое вычислялось математически.

Модель заполнялась полимерными гранулами различной формы и размерности, которые использовались в качестве материала, имитирующего отбитую руду и обрушенные породы. Имитационный материал соответствовал гранулометрическому составу руды и обрушенных пород в натурных условиях с учетом масштаба моделирования. Таким образом, в модели размер гранулы сыпучего материала для имитации руды составлял $3 \div 4$ мм и $4 \div 7$ мм для породы. В каждой секции со стороны от задней стенки был присыпан слой с пустой породой. Высота слоя пород лежащих над слоями составляла 15 м.

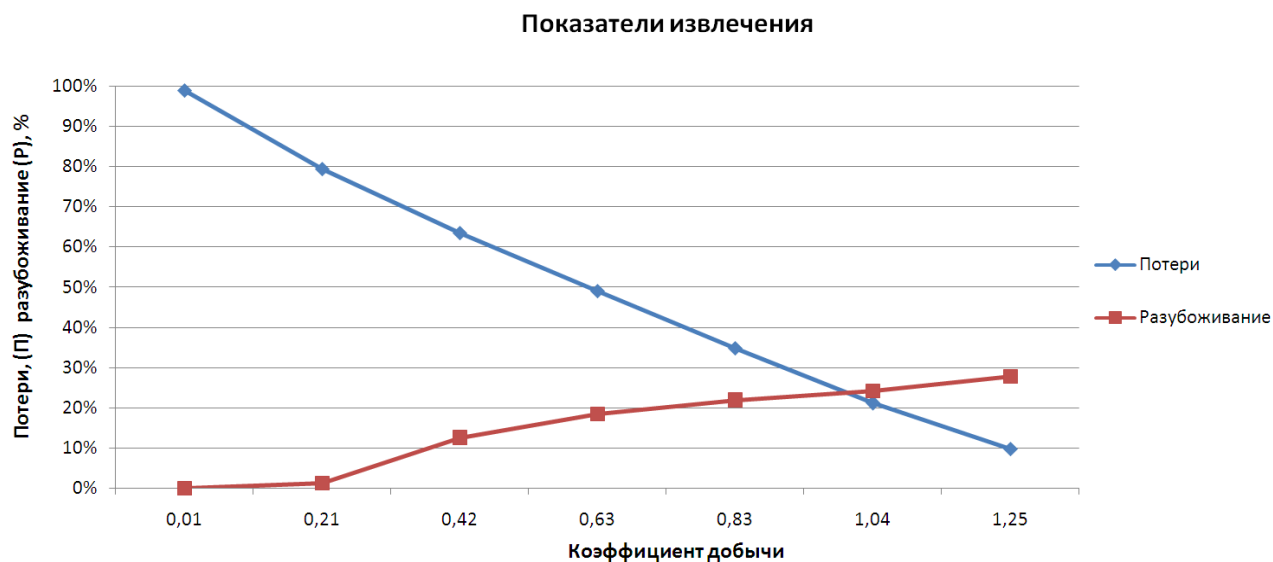
Руду выпускали послойно в равномерно – последовательном режиме из двух смежных выработок. Выпуск продолжался до достижения разубоживания в дозе $78 \div 80$ %. В эксперименте был принят объем дозы выпуска, соответствующий 100 м^3 в натурных условиях. Выемка материала велась при помощи ручного ковша, с наполнением $8 \div 10 \text{ м}^3$.

На рисунке 2 показаны зависимости, полученные в результате равномерно-последовательного выпуска слоев из двух смежных выработок размещенных в секции высотой 80 м в ходе физического моделирования.

а)



б)



в)

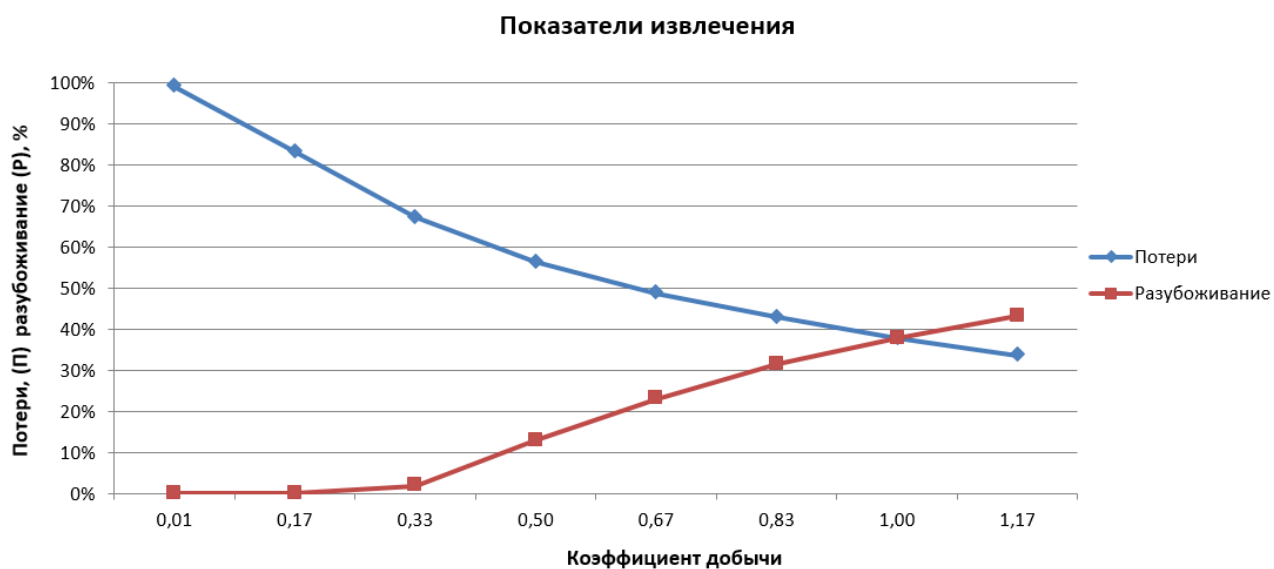


Рисунок 2 – Показатели извлечения руды для слоев: а – 7 м; б – 8 м; в – 10 м

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наилучшие показатели извлечения руды были достигнуты при выпуске слоя толщиной 8 м (рисунок 2б). В точке пересечения графика потерь и разубоживания показатели извлечения составили 24 %, что вполне приемлемо при отработке залежей с большой вертикальной мощностью. При выпуске слоя 10 м (рисунок 2в) достигнуто наибольшее (в процентном соотношении) количество чистой руды

до прихода первых вмещающих пород. Однако в точке пересечения графиков, уровень потерь и разубоживания составил 38 %, что значительно хуже, чем при выпуске слоя с толщиной 8 м. Самые низкие показатели извлечения были выявлены при отработке слоя 7 м (рисунок 2а). В точке пересечения полученных зависимостей, показатель был на уровне 45 %.

Для повышения полноты и качества исследования процесса торцевого выпуска руды и вмещающих пород, эксперименты проводили на компьютерных моделях, в которых были заложены методы и алгоритмы, основанные на принципах стохастического моделирования. Надежность и полнота данных, получаемых в результате исследований на вероятностных моделях, обоснованы в работах ряда ученых.

Исследования на компьютерной модели проводились последовательно для каждого слоя с высотой 80, 70, 60 и 50 м при толщине 10, 9, 8, 7, 6 и 5 м. Выпуск осуществляли через буро-доставочные выработки шириной 4,5 м.

Полученные результаты сопоставляли с данными, полученными при проведении экспериментов на физической модели. Определение степени корреляции между физическим и компьютерным моделированием проводили по общепринятой методике. По результатам расчетов, линейный коэффициент корреляции составил 0,997, что говорит о высокой степени сходимости, тем самым это позволило в дальнейших исследованиях опираться на результаты полученные в ходе компьютерного моделирования.

При выпуске слоя с высотой 80 м, наилучшие показатели извлечения (в точке пересечения графиков) были достигнуты при толщине, которая составляла $7 \div 8$ м. Потери и разубоживание при выпуске данного слоя были на уровне 20 %. При этом максимальное количество чистой руды до начального разубоживания было выпущено из слоев с толщиной 9 и 10 м и составило $40 \div 43$ % от объема. Наилучшие показатели выпуска при отработке слоя с высотой 60 м были достигнуты при толщине отбиваемого слоя 5 м. Показатели извлечения были на уровне 20 %. Такой же уровень потерь и разубоживания получили при выпуске руды из слоя с толщиной $5 \div 6$ м и высотой 50 м.

Так как основным недостатком данной системы разработки является относительно высокий уровень потерь и разубоживания, определение параметров отбиваемых слоев, при которых показатели извлечения будут наилучшими, является важнейшим обоснования целесообразности ее применения. Установление параметров формируемых фигур при выпуске руды является одним из важнейших принципов в решении поставленной задачи. Поэтому на основе компьютерного моделирования были определены параметры изолированных фигур выпуска на разной стадии формирования для разного гранулометрического состава руды и с учетом призабойной стенки (рисунок 3). Это позволяет определить, откуда придет первоначальное разубоживание при разной толщине отбиваемого слоя и установить характер взаимодействия руды с вмещающими породами при различных режимах выпуска, что дает возможности правильно подбирать и корректировать параметры слоя.

При незначительной разнице в гранулометрическом составе руды и вмещающих пород, после отбойки на зажатую среду, наибольшая полнота извлечения руды достигается при толщине отбиваемого слоя, которая составляет $0,65 \div 0,75$ от половины диаметра изолированного эллипсоида выпуска.

Параметры фигур выпуска

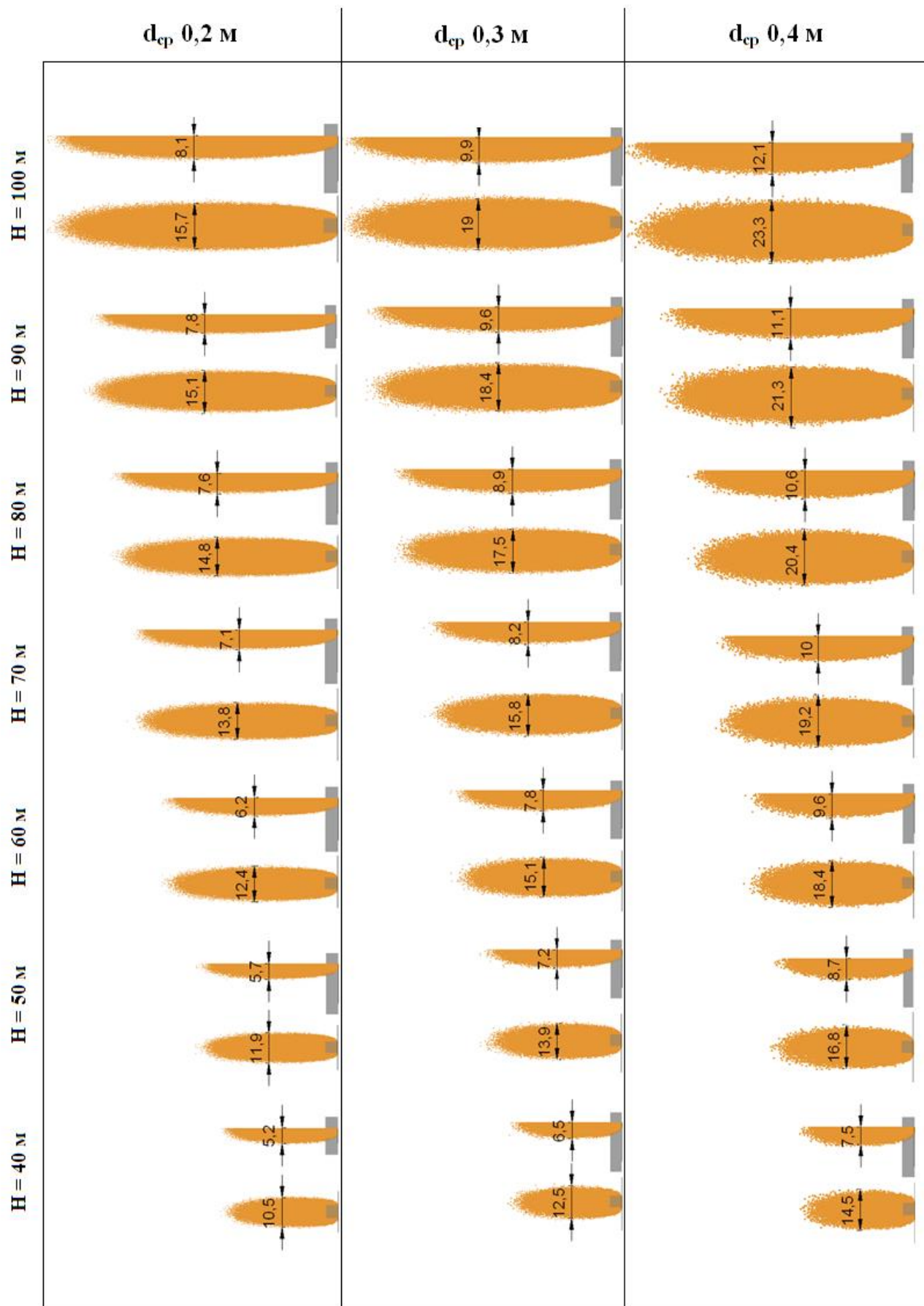


Рисунок 3 – Формирование изолированной фигуры выпуска с учетом призабойной стенки на разной стадии

На графиках (рисунок 4) представлены показатели извлечения с учетом различного вида контакта руды с вмещающими породами с заданным уровнем разубоживания, принятым 25 %.

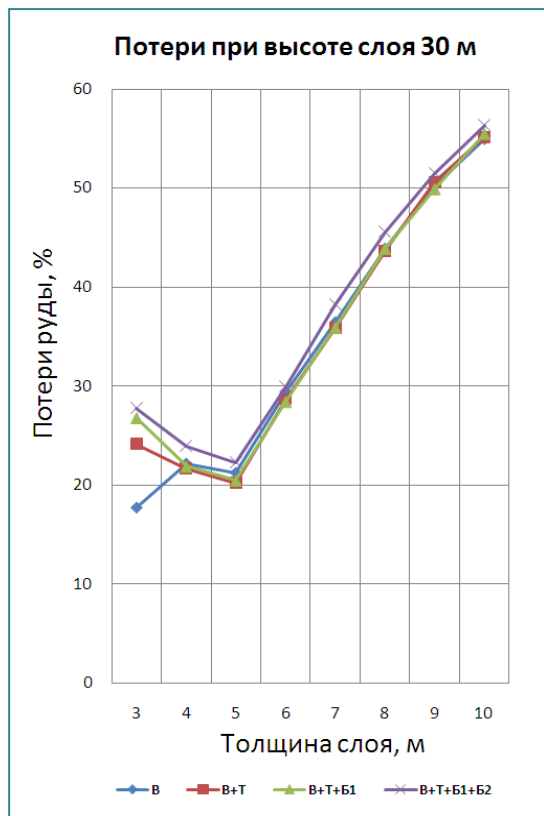
Контакт руды с вмещающими породами:

- В – с верхними породами. Отбитый слой руды граничит с обрушенными породами только сверху;
- В+Т – с верхними и торцевыми породами. Отбитый слой руды граничит с обрушенными породами сверху и с торца (отсутствует боковое разубоживание, т. к. смежные по горизонтали забои располагаются в одну линию, включая вариант бокового контакта выпускаемого слоя руды с массивом), это вариант, характеризуемый наилучшими показателями извлечения;
- В+Т+Б1 – с верхними, торцевыми и породами с одного бока. Отбитый слой руды граничит с обрушенными породами сверху, с торца и по одной из боковых сторон, а по второй боковой стороне – контакт с массивом или с замагазинированной рудой (фронт работ по горизонтали - ступенчатый), это вариант, наиболее применяемый в практике и характеризуемый приемлемыми показателями для рядовых руд;
- В+Т+Б1+Б2 – контакт отбитого слоя руды с породами по всей площади поверхности. Отбитый слой руды граничит с обрушенными породами сверху, с торца и по двум боковым сторонам (для отстающих в отработке забоев, при непланомерном (хаотичном) порядке отработки запасов блока или панели) – вариант изолированного выпуска, это вариант наихудший по показателям извлечения и не рекомендуемый для использования.

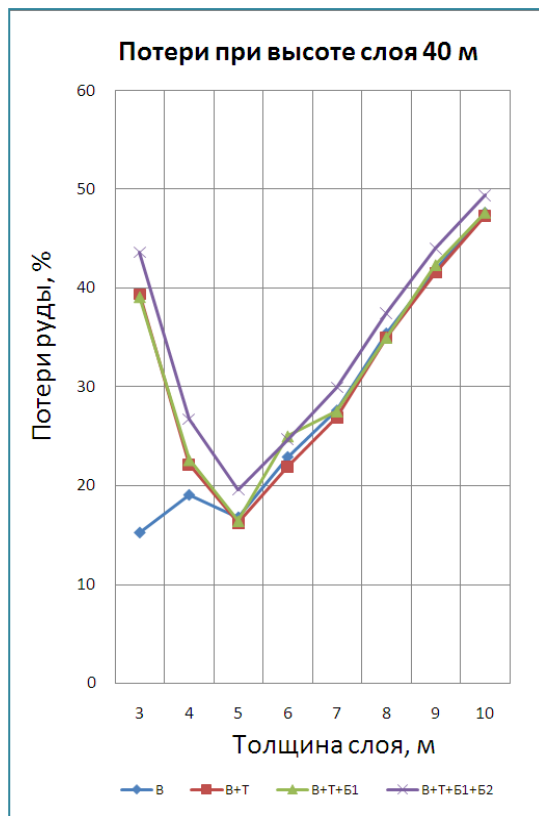
Наиболее благоприятный выпуск будет в случае когда отбитый слой руды граничит с обрушенными породами только сверху и с торца, т. е. при фронтальном развитии добычных работ.

Высота отбиваемого слоя составляла 30, 40, 50, 60, 70 и 80 м, а толщина 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 м. При этом его ширина была выбрана исходя из диаметра фигуры выпуска.

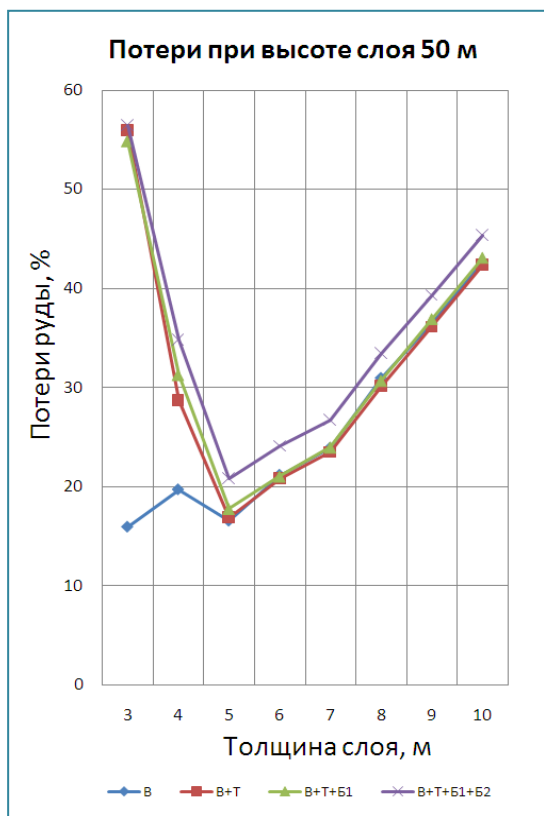
а)



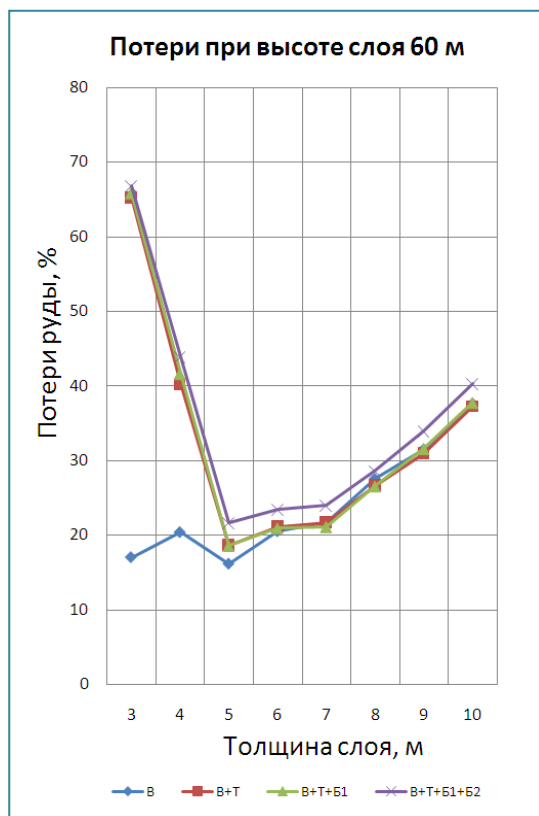
б)



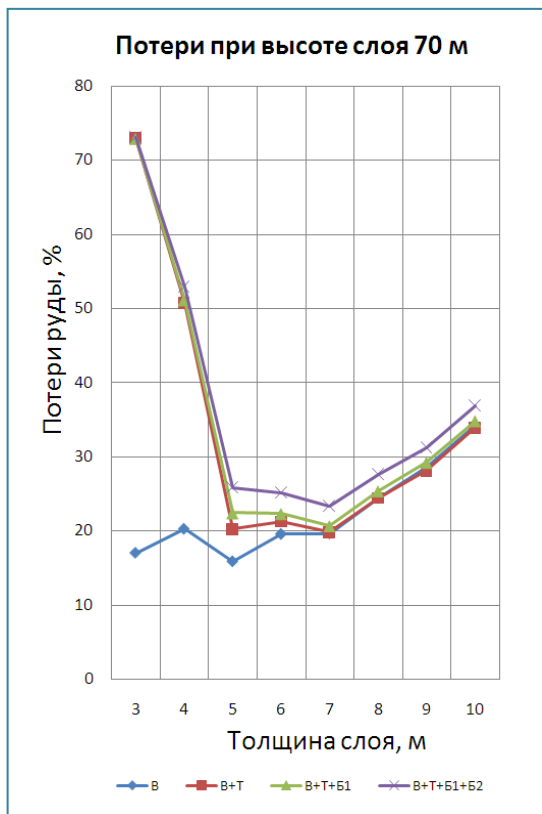
в)



г)



д)



е)

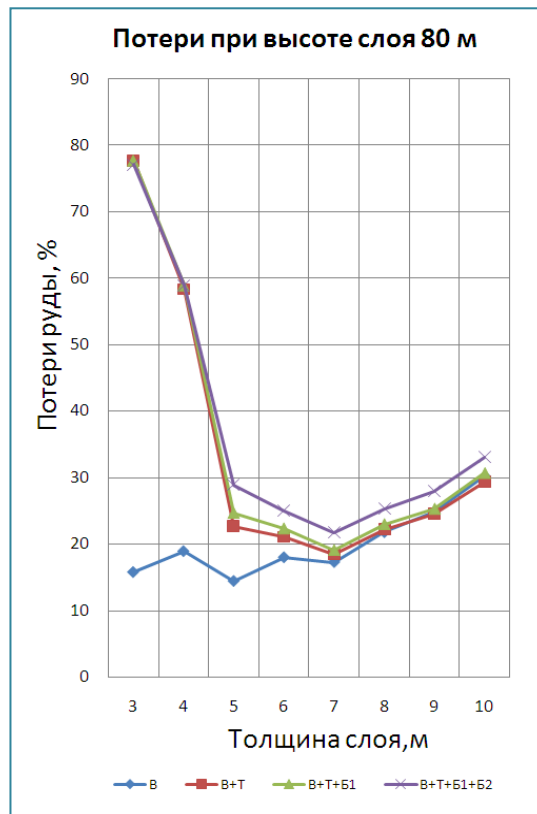


Рисунок 4 – Графики показателей потерь из слоев высотами: а – 30 м; б – 40 м; в – 50 м; г – 60 м; д – 70 м; е – 80 м

При выпуске слоя высотой 30 ÷ 40 м (рисунок 4 а, б), с увеличением его толщины, происходит интенсивное нарастание потерь. Увеличение толщины на метр, приводит к росту уровня потерь на 5 ÷ 10 %. Соответственно, если главным приоритетом является снижение уровня потерь, то при отработке участков с небольшой вертикальной мощностью не следует отклоняться от оптимума.

В процессе выпуска слоев большей высоты (рисунок 4 в, г, д, е), со смещением толщины отбиваемого слоя в большую сторону от оптимальной, интенсивность нарастания уровня потерь снижается. Это обеспечивает возможность более широкого диапазона выбора параметров отбиваемых слоев. По результатам исследований установлено, что при наличии двух и более контактов отбитого массива руды с вмещающими породами, потери в большинстве случаев изменяются незначительно, т.е. с увеличением количества

контактов уровень потерь увеличивается не более, чем на $1 \div 5$ %.

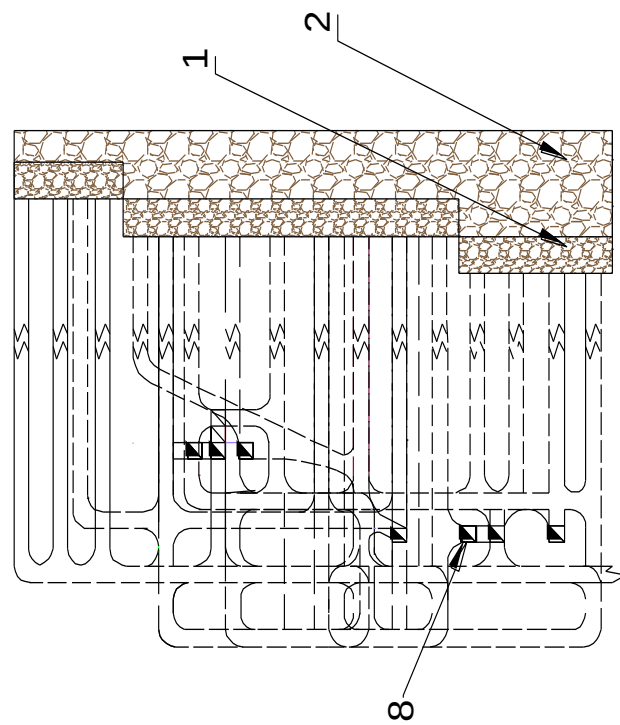
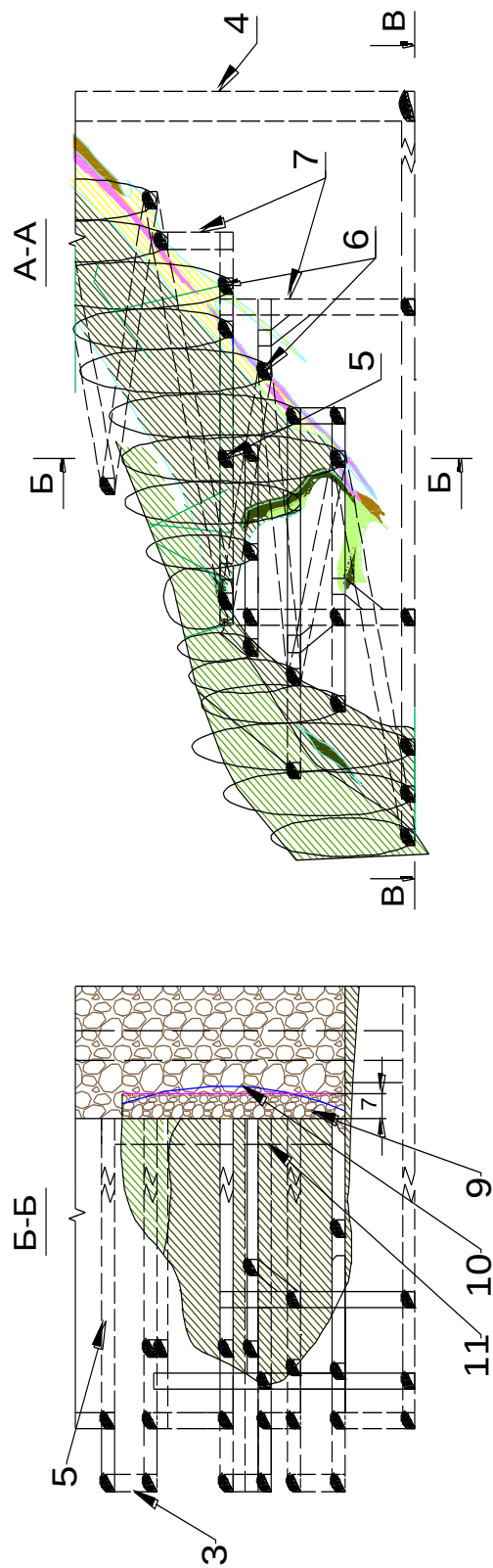
Использование «безэтажного» торцевого выпуска обусловлено необходимостью снижения затрат при разработке залежей сложного строения и возможностью снижения уровня потерь и разубоживания в совокупности.

Полнота извлечения увеличивается по мере возрастания степени взаимодействия выпускных выработок. Для этого расстояние между смежными буродоставочными выработками не должно превышать диаметр фигуры выпуска и быть не менее допустимого с учетом геомеханической обстановки.

На рисунке 5 рассмотрен вариант системы разработки с послышной отбойкой и торцевым выпуском руды на всю вертикальную мощность (безэтажный торцевой выпуск) на примере отработки участка Ждановского месторождения медно – никелевых руд, вместо принятой на руднике подэтажной системы.

Отработку запасов месторождения ведут в нисходящем порядке с отбойкой и выпуском рудной массы на буродоставочные выработки (штреки), расположенные на расстоянии, определенным исходя из условия взаимовлияния фигур выпуска формируемых над ними и геомеханической ситуации. Сечение выработок составляет 4,5 x 4,5 м.

Выработки, на которые осуществляется выпуск руды, расположены по контуру лежащего бока рудного тела. При отработке мощных участков месторождения проводятся дополнительные буровые выработки, которые необходимы для отбойки рудного массива. С учетом особенностей геологического строения залежей на одном горизонте могут располагаться и буровые и буродоставочные выработки. Для минимизации уровня разубоживания от боковых пород отработку следует вести в нисходящем порядке с равномерным выпуском руды из ряда выработок. Разделяя рудное тело на условные части с выдержанной вертикальной мощностью и выпуская отбитую руду одновременно через несколько выработок широким фронтом, качество процесса извлечения руды будет увеличиваться, тем самым удастся достигнуть минимального уровня потерь и разубоживания.



- 1 - отбитая руда;
- 2 - обрушенные вмещающие породы;
- 3 - спиральный съезд;
- 4 - шахтный ствол;
- 5 - буровые штреки;
- 6 - буродоставочные штреки;
- 7 - рудопуски;
- 8 - рудоскаты;
- 9 - отбитый слой;
- 10 - граница фигуры выпуска
- 11 - отбиваемый слой

Рисунок 5 – Принципиальная схема системы разработки с обрушением и безэтажным торцевым выпуском руды

Перед отбойкой руды определяют толщину отбиваемого слоя с таким расчетом, чтобы она составляла $0,65 \div 0,75$ от полудиаметра (малой полуоси) формируемой фигуры выпуска, исходя из ее развития на полную высоту слоя. Это позволяет обеспечить снижение уровня потерь и разубоживания за счет изменения параметров отбойки в соответствии с характером истечения рудной массы.

Оценка эффективности предлагаемой конструкции системы осуществляется с учетом изменения величины удельного дохода от извлечения 1 т запасов руды. Для сравнения в качестве базового варианта принята система разработки с подэтажным обрушением при торцевом выпуске руды, применяемая при отработке Ждановского месторождения. Себестоимость добычи данной системы составляет 715 руб./т с учетом ПНР, удельный объем которого равен 3,4 п. м. на 1000 тонн. В предлагаемом варианте системы разработки с безэтажным торцевым выпуском удельный объем ПНР составляет 0,8 п.м. на 1000 тонн. Расчетная себестоимость добычи предлагаемого варианта с учетом сокращения затрат на ПНР приблизительно в 4 раза, составляет 485 руб./т. Себестоимость транспортировки руды для подэтажной системы составляет 20 руб./т для предлагаемого варианта 15 руб./т. Себестоимость переработки принимаем исходя из справочных данных для системы разработки с обрушением руды 200 руб./т. Содержание товарного продукта в рудах Ждановского месторождения в среднем составляет около 1 %.

Проведенная оценка сравниваемых вариантов показала:

- для системы с принудительным обрушением руды и безэтажным торцевым выпуском удельный доход составит: по никелю $d_{Ni} = 3342,5$ руб./т по меди $d_{Cu} = 1155,1$ руб./т. Суммарный удельный доход по Ni и Cu составит 4497,5 руб./т.
- для подэтажного принудительного обрушения удельный доход составит по никелю $d_{Ni} = 3112,5$ руб./т по меди $d_{Cu} = 872,4$ руб./т. Суммарный удельный доход по Ni и Cu составит 3985 руб./т.

Таким образом, результаты технико-экономического анализа позволяют говорить о том, что эффективность применения системы с безэтажным торцевым выпуском руды на всю вертикальную мощность с расположением буродоставочных штреков в лежащем боку в условиях разработки Ждановского месторождения приблизительно на 11 ÷ 12 % выше базового варианта.

На рисунке 6 представлена динамика изменения экономической эффективности в зависимости от ценности руды.

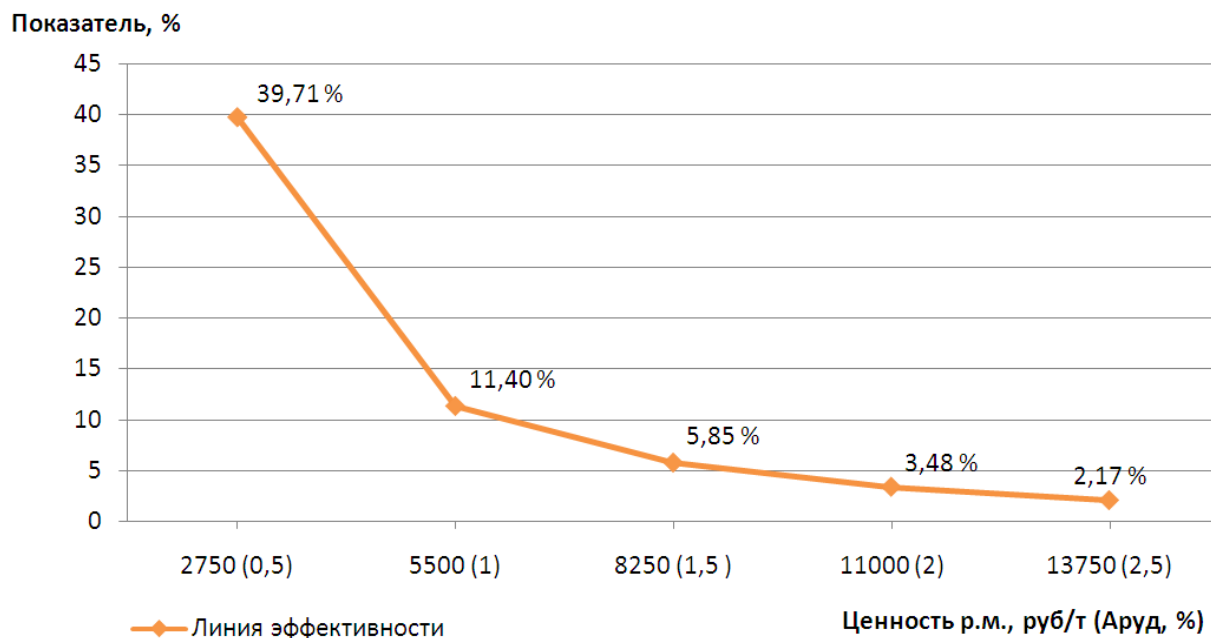


Рисунок 6 – Изменение экономических показателей при безэтажной выемке наклонных рудных тел со сложной морфологией

При разработке месторождений с меньшей ценностью руд, использование предлагаемой системы разработки с безэтажным торцевым выпуском руды и ее параметров будет еще более оправдано за счет существенного, по сравнению с применяемыми вариантами системы, снижения объема подготовительнонарезных работ и упрощения технологических процессов, т. е. эффективность в этом случае будет возрастать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено и научно обосновано технологическое решение актуальной научной задачи в части выбора параметров системы с безэтажным торцевым выпуском при подземной разработке месторождений со сложной морфологией рудных тел, обеспечивающее минимальный уровень потерь и разубоживания руды в процессе очистной выемки.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. По результатам исследований установлено, что для минимизации уровня потерь и разубоживания в процессе выпуска выпускаемого слоя рудной массы, его толщина (d_T) должна находиться в диапазоне $0,08 \div 0,12$ от его высоты (H), т. е. $d_T = 0,08 \div 0,12H$.

2. Установлено, что при безэтажном равномерно-последовательном торцевом выпуске слоя рудной массы высотой 80 м наилучшие показатели извлечения достигаются если его толщина составляет 8 м. Наибольшее количество чистой руды до начала разубоживания было извлечено из слоя толщиной 10 м и составило $27 \div 29$ %.

3. Результаты проведенных опытов позволили установить, что в процессе выпуска слоя руды толщиной $0,09 \div 0,12H$ на всю вертикальную мощность (при $M_v \geq 40$ м), уровень разубоживания в дозе гарантировано не превысит 40 % на протяжении выпуска не менее $60 \div 70$ % от общего объема извлеченной рудной массы, а общее разубоживание составит не более 25 %.

4. Анализ изменения показателей извлечения при различных параметрах выпуска позволил установить, что наибольшее количество руды при предельном уровне разубоживания 25 % будет выпущено в том случае, если толщина отбиваемого слоя составит $0,65 \div 0,75$ от толщины изолированной фигуры выпуска, сформированной с учетом наличия призабойной стенки.

5. При безэтажном торцевом выпуске (на всю вертикальную мощность рудного тела) с заданным уровнем разубоживания, с прибавлением мощности

на каждые 10 м, интенсивность нарастания потерь снижается до 2 % на каждый метр увеличения толщины отбиваемого слоя.

6. Оптимальная толщина слоя для отбиваемых слоев ниже 40 м будет резко отличаться от слоев с большей высотой. Для последних она находится в диапазоне $0,09 \div 0,12$ от высоты отбиваемого слоя.

7. Определено, что при снижении ценности руды прибыль от внедрения системы разработки с принудительным обрушением и безэтажным торцевым выпуском будет увеличиваться по сравнению с применяемой технологией.

8. При использовании предлагаемого варианта обеспечивается снижение удельного объема подготовительно – нарезных работ приблизительно в 4 раза по отношению к принятой на руднике системе разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды, что обеспечивает снижение себестоимости добычи одной тонны запасов на ~ 230 рублей.

9. В процессе исследований было выявлено, что максимальная полнота извлечения балансовых запасов при разработке рудных тел со сложной морфологией, была достигнута путем безэтажного торцевого выпуска руды из выработок расположенных по простиранию рудных тел, посредством оптимизации параметров отбиваемых слоев с учетом изменения вертикальной мощности рудного тела.

10. Реализация предложенных технических решений на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК» позволит более эффективно отрабатывать рудные залежи или их участки со сложным строением.

Основные положения диссертации отражены в следующих опубликованных работах автора:

1. Сухов Д.И., Павлов А.А., Романов В.А. Обоснование толщины отбиваемого слоя при применении систем с обрушением руды и вмещающих пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. - № 7. - С. 61-63.

2. Сухов Д.И., Савич И.Н., Павлов А.А., Романов В.А. Подэтажный торцевой выпуск при подземной разработке наклонных рудных тел с неравномерным оруденением. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. - № 8. - С. 57-60.

3. Сухов Д.И., Савич И.Н., Романов В.А. Особенности подэтажного торцевого выпуска из выработок расположенных на разных уровнях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. - № 213. - С. 3-6.

4. Сухов Д.И., Павлов А.А., Мустафин В.И., Романов В.А. Влияние гранулометрического состава рудной массы на параметры торцевого выпуска при изменяющейся высоте подэтажа. // Геотехнологии при разработке рудных месторождений / Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). - 2013. - №04. - 28с.

5. Сухов Д.И., Савич И.Н., Мустафин В.И., Романов В.А. Мониторинг состояния и направление совершенствования технологических процессов для улучшения среды обитания человека в регионах КМА // Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 2/ Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). - 2014. - №12. - С.62-69.

6. Сухов Д.И., Зенько Д.К., Мустафин В.И., Романов В.А. Смирнов И.А. Закономерности движения руды при выпуске под обрушенными породами // X международная научная школа «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». - Изд. ИПКОН РАН: 2013. - № 1. - С. 237-240.

7. Сухов Д.И., Романов В.А., Мустафин В.И., Зенько Д.К. Влияние крупнофракционной зоны дробления на параметры фигуры выпуска. – Научный вестник МГГУ. 2013. - № 7 (40). - С. 29-32.

8. Сухов Д.И. Управление траекторией движения руды при выпуске под обрушенными породами // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования» сборник научных трудов. - Изд. Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" -2013. Ч. 2. - С. 150.

9. Сухов Д.И., Савич И.Н., Мустафин В.И., Романов В.А. Торцевой выпуск из выработок, расположенных на разных уровнях // VIII Международная конференция «Комбинированная геотехнология: устойчивое и экологически сбалансированное освоение недр».- Сборник тезисов - 2015. С. 90-91. - Магнитогорск.

10. Сухов Д.И., Савич И.Н., Мустафин В.И., Романов В.А. Рациональный режим выпуска руды // VIII Международная конференция «Комбинированная геотехнология: устойчивое и экологически сбалансированное освоение недр». - Сборник тезисов-2015. С. 91-93. - Магнитогорск.

11. Сухов Д.И., Савич И.Н., Мустафин В. И., Романов В.А. Параметры этажного торцевого выпуска руды при двухъярусном расположении буродоставочных выработок // Международная конференция «Miningworld».- Сборник тезисов «Технология подземной разработки месторождений полезных ископаемых» - 2016. - С. 33-36.

12. Сухов Д.И., Савич И.Н., Мустафин В.И., Романов В.А., Нестеров Ю.И. Особенности торцевого выпуска и его формирование при разработке месторождений с принудительным обрушением руд и вмещающих пород // IX Международная конференция «Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность».- Сборник трудов - 2017. С.71-72.- Магнитогорск.

13. Сухов Д. И., Павленко С. В., Мустафин В. И., Савич А. О. Организация выпуска руды при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. - № 12 (специальный выпуск 20) - 2021. С. 12-19.

14. Сухов Д. И., Мустафин В. И., Романов В. А., Савич А. О. Применение компьютерного моделирования для оценки количественных и качественных показателей извлечения рудной массы при подземной разработке месторождений системами с обрушением // Горный информационно-аналитический бюллетень. - № 12 (специальный выпуск 20) - 2021. С. 20-30.

15. Сухов Д. И., Романов В. А., Савич А. О. Подходы к проектированию горнотехнических систем при подземной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. - № 7 (специальный выпуск 6) - 2022. С. 21-29.

16. Сухов Д. И., Романов В. А., Савич А. О. Потери и разубоживание руды при поэтажном торцевом выпуске хромовых руд донского ГОКа// Горный информационно-аналитический бюллетень. - № 7 (специальный выпуск 6) - 2022. С. 30-39.

17. Sukhov D.I., Savich I.N., Gagiev T.A., Mustafin V.I., Romanov V.A. Caving systems parameters in the development of ore deposits // Miner's week – 2015 reports of the XXIII international scientific symposium. 2015. С. 410-412.

18. Sukhov D.I., Mustafin V.I, Biessikirski A., Terpak D., Romanov V.A. Application of photogrammetry analysis and hazen's index evaluation of muck pile fragmentation obtained in Russian ore mines // Inzynieria Mineralna 2(40) – LIPIEC-GRUNZIEN.- JULY-DESEMBER 2017-Journal of the Polish Mineral Engineering Society.- P. 293-301.-Poland.

19. Sukhov D.I., Savich I.N., Mustafin V.I., Romanov V.A Development of Design and Technological Parameters of Ore Extraction for Underground Mining // E3S Web of Conferences, 41. 2018.

20. Sukhov D.I., Biessikirski A., Terpak D., Mustafin V.I., Romanov V.A Complex photogrammetry analysis of the muck pile fragmentation obtained in Russian ore mines // Acta Montanistica Slovaca, Volume 23 (2018), Number 4, pp. 402-411.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [3], [4], [8], [12], [14], [16], [18], [20] - установлена зависимость изменения показателей извлечения руды от толщины отбиваемых слоев с изменчивой вертикальной мощностью;

[1], [2], [3], [7], [8], [14], [16], [17] - определена степень влияния конфигурации поверхности контакта руда – порода на показатели извлечения;

[3], [4], [5], [9], [10], [15], [11], [19] - предложен принцип выбора режима отработки рудных тел и их отдельных участков со сложным строением;

[1], [3], [4], [6] [15], [19] - разработан способ и порядок отработки рудных тел и их отдельных участков со сложным строением на всю вертикальную мощность.