ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ / GEOTECHNOLOGY, MINING MACHINES

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.71

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИСТЕМАМИ С ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ И ПОРОД

Научная статья

Ахпашев Б.А.[1, *], Голованов А.И.[2], Малиновский Е.Г.[3]
[1, 2, 3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bg1967[at]ya.ru)

Аннотация

Работа посвящена обоснованию рациональной технологии разработки пологих и наклонных рудных залежей системами этажного принудительного обрушения руды и налегающих пород, обеспечивающими получение максимальной прибыли, получаемой с 1 т погашаемых балансовых запасов при оптимальных значениях показателей полноты и качества их извлечения.

Для систем этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой, с фронтально-торцевым выпуском и с торцевым выпуском руды произведено физическое моделирование в масштабе 1:100 для различных углов падения и мощностей рудного тела. Отгрузка горной массы моделировалась моделью ковша погрузочной машины. В качестве исходного материала для физического моделирования выпуска рудной массы использованы керны Масловского месторождения, разрезанные вдоль оси.

Керны дробились и материал классифицировался посредством грохочения на классы: порода +8 − 10 и +10 − 15 мм;· руда +1 − 3; +3 − 5; +5 − 8; +8 −10 мм. Для визуализации процесса выпуска, а также для возможности разделения руды и породы в процессе проведения эксперимента, порода, как более крупная, была окрашена водоэмульсионной краской в белый цвет.

Используя выявленные на этапе физического моделирования значения показателя сыпучести материала, произведено:

- математическое моделирование выпуска руды в зависимости от расстояний между транспортно-доставочными выработками и их ширины;
- определено оптимальное соотношение показателей извлечения и изменения качества при выпуске руды по местам образования, на основании технико-экономических расчетов по критерию прибыли от погашения 1 т руды;
- установлены параметры систем разработок с оптимальными показателями извлечения и качества для различных условий залегания рудного тела.

На основании проведенных исследований разработаны предложения по потенциальному улучшению параметров систем разработки.

Ключевые слова: системы с обрушением, подземная разработка, пологие и наклонные залежи, физическое моделирование, потери и разубоживание.

THE SUBSTANTIATION OF RATIONAL TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF SLOPING AND INCLINED DEPOSITS WITH ORE AND ROCK CAVING SYSTEMS

Research article

Akhpashev B.A.[1, *], Golovanov A.I.[2], Malinovskii Y.G.[3]
[1, 2, 3] Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (bg1967[at]ya.ru)

Abstract

The work is dedicated to substantiation of rational technology of development of sloping and inclined ore deposits by systems of staged induced caving of ore and deposited rocks, ensuring maximum profit to be obtained from 1 ton of redeemable reserves with optimal values of indicators of completeness and quality of their extraction.

Physical modelling on a scale of 1:100 for various impact angles and ore body thicknesses was performed for the induced stage caving systems with triangular cut, with front-end sublevel caving outlet and sublevel ore outlet. Rock mass shipment was modelled with a loader shovel model. As the initial material for physical modelling of ore mass release, the Maslovskoye deposit cores cut along the axis were used.

Cores were ground, and the material was classified by screening into classes: rock +8 - 10 and +10 − 15 mm;· ore +1 - 3; +3 - 5; +5 - 8; +8 -10 mm. To visualize the release process, as well as to be able to separate the ore and rock during the experiment, the rock, as the larger one, was painted with water-emulsion paint in white.

Using the values of the flowability of the material identified at the stage of physical modelling, the following was conducted:

- mathematical modelling of ore output depending on the distance between the transport-delivery openings and their width;
- the optimum ratio of extraction parameters and quality changes in the release of ore by place of formation, based on technical and economic calculations according to the criterion of profit from the repayment of 1 ton of ore, was determined;
- the parameters of mining systems with optimal extraction and quality indices for different conditions of the ore body occurrence were established.

Based on this research, suggestions for potential improvements in the parameters of the development systems have been made.

Keywords: caving systems, underground development, sloping and inclined deposits, physical modelling, losses and dilution.

Введение

Исследования, направленные на повышение безопасности и эффективности применения систем разработки на пологих и наклонных залежах, являются весьма актуальными на современном этапе развития горного производства.

Широкое применение в отечественной и зарубежной практике в настоящее время находят системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Масштабы применения этих систем разработки весьма представительны. Данная система разработки находит применение на мощных и средней мощности рудных телах при различных углах падения залежи. Однако наиболее высокие показатели извлечения руды при использовании данной системы разработки достигаются на крутопадающих мощных рудных телах при шахматном расположении выпускных выработок (так называемый «шведский» вариант).

Отработка пологих и наклонных месторождений системами подэтажного обрушения применялась и применяется на рудниках Kiruna mine, Швеция [1], [3], [4], [5], Shangani mine, Зимбабве [6], [7], [8], Северный-Глубокий ПАО «Кольская горно-металлургическая компания» [9], [10], [11], Людерих, Германия [12], Лениногорский полиметаллический комбинат, Казахстан [12], [13], [14], [15], Сибайское месторождение, Россия; рудник Деглен, Алжир [12], рудник «Заполярный» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» [12], [16], [17].

В условиях аналогичных месторождению «Норильск-1» практики применения систем подэтажного обрушения с торцовым выпуском практически нет. Приближенными можно считать условия отработки месторождений «Ждановское» ПАО «Кольская ГМК» и «Деглен».

Необходимо отметить, что система подэтажного обрушения на руднике «Заполярный» применяется в сложных условиях. Наличие пологого падения, средней мощности и нарушенных руд и пород, необходимости принудительной посадки кровли не позволяет в полной мере использовать преимущества высокопроизводительных и сравнительно дешевых вариантов с торцевым выпуском и самоходным оборудованием.

Целью исследования является обоснование рациональных вариантов систем этажного принудительного обрушения при разработке пологих и наклонных залежей, обеспечивающих максимальную безопасность работ и прибыль, получаемую с 1 т погашаемых балансовых запасов при оптимальном соотношении показателей полноты и качества извлечения запасов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: проведение физического моделирования процесса выпуска руды под обрушенными породами для различных вариантов системы разработки; установление зависимостей величин потерь и разубоживания от угла падения и мощности рудного тела; определение оптимальных условий применения различных вариантов системы разработки этажного обрушения в условиях пологих и наклонных месторождений.

Методы и принципы исследования

Для обоснования рациональной технологии разработки первоначально было произведено физическое моделирование процесса выпуска рудной массы при системах с обрушением налегающих пород. Целью физического моделирования является определение соотношения показателей полноты и качества извлечения запасов в зависимости от выбранной технологии очистной выемки и горно-технологических параметров для уточнения параметров фигуры выпуска и получения исходных данных для дальнейшего экономико-математического моделирования.

Для физического моделирования выпуска рудной массы приняты следующие варианты систем разработки:

1) этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой;

2) этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском

3) этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском руды.

В качестве исходного материала для физического моделирования выпуска рудной массы использованы полученные керны с месторождения, разрезанные вдоль оси.

Керны дробились и материал классифицировался посредством грохочения на классы:

· порода +8 − 10 и +10 − 15 мм;

· руда +1 − 3; +3 − 5; +5 − 8; +8 −10 мм.

Для визуализации процесса выпуска, а также для возможности разделения руды и породы в процессе проведения эксперимента, порода, как более крупная, была окрашена водоэмульсионной краской в белый цвет.

Физическое моделирование выпуска рудной массы *для системы этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой* проведено для двух мощностей рудного тела m_p: 14,5 и 24,5 м и двух углов падения рудного тела α – 0 и 10° (всего 4 комбинации). Принятая ЛНС (w) – 2.5 м. Параметры отбитого рудного слоя: ширина – 1,2w = 2,5·1,2 = 3 м. Высота $hc = m_p$ - 4,5, где 4,5 м – высота подсечки. При m_p = 14,5 м, hc = 10 м; при m_p = 24,5 м, hc = 20 м.

Учитывая особенности веерной отбойки и данные промышленного эксперимента для испытаний использован дифференцированный по мощности рудного тела грансостав отбитой руды.

При мощности рудного тела 14,5 м (hc = 10 м), слой по высоте разделялся на 2 части:

- нижняя часть слоя (припочвенная) высотой 3,9 м. Гранулометрический состав +1 –3 (51,25%), +3 –5; +5 –8, при этом фракции берутся равными долями (46,25%), +8 –10 (2,5%);

- верхняя высотой 6,1 м. Гранулометрический состав +1 –3 (39,29%), +3 –5; +5 –8, при этом фракции берутся равными долями (48,07%), +8 –10 (12,64%).

При мощности рудного тела 24,5 м (hc = 20 м), слой по высоте разделялся на 3 части:

− нижняя часть слоя (припочвенная) высотой 3,9 м. Гранулометрический состав +1 –3 (51,25%), +3 –5; +5 –8, при этом фракции берутся равными долями (46,25%), +8 –10 (2,5%);

− средняя часть высотой 8,2 м. Гранулометрический состав +1 –3 (39,29%), +3 –5; +5 –8, при этом фракции берутся равными долями (48,07%), +8 –10 (12,64%);

− верхняя часть высотой 7,9 м. Гранулометрический состав -3 (0%), +3 –5 и +5 –8, при этом фракции берутся равными долями (53,00%), +8 –10 (47,00%).

Фрагмент системы разработки для физического моделирования выпуска рудной массы представлен на рисунке 1.

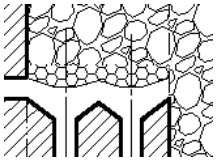

Рисунок 1 - Система этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой

Характерные фотографии процесса выпуска руды для системы этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой показаны на рисунке 2.

Рисунок 2 - Характерные этапы выпуска рудной массы при m_p = 14,5 м, α = 0°:
а − засыпанная на почву порода; *б* – засыпан нижний слой руды; *в* − засыпан верхний слой руды; *г* – засыпанная модель; *д* – шиберы удалены, начало выпуска; *е* – 12 м, 36 ковш; *ж* –10 м, 64 ковш; *з* – 102 ковш; *и* – окончание выпуска, 222 ковш

Физическое моделирование выпуска рудной массы *из камер* для *системы разработки этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском руды* проведено для трех мощностей рудного тела m_p: 9, 17 и 25 м и трех углов падения рудного тела α – 0, 5 и 10°. При мощности рудного тела 25 м – для 0 и 10°. Всего 8 серий. Количество опытов в каждой серии определялось сходимостью полученных результатов.

Принятая ЛНС (*w*) – 2.5 м. Ширина отбитого рудного слоя – 1,2*w* = 2,5·1,2 = 3 м.

Отбойка руды в очистной камере предусматривается параллельными скважинами. Гранулометрический состав отбитой рудной массы принимается равномерным по мощности +1 –3 (48,6%); +3 –5; (6,3%); +5 –8 (10,9%) и +8 –10 (34,2%).

Фрагмент системы разработки для физического моделирования выпуска рудной массы представлен на рисунке 3.

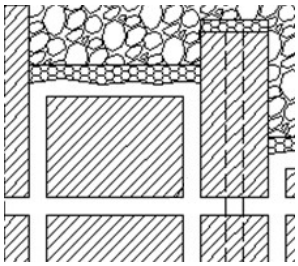

Рисунок 3 - Фрагмент системы разработки этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском для физического моделирования выпуска рудной массы

Примечание: камера отрабатывается с фронтально-торцевым выпуском, МКЦ – с торцевым выпуском

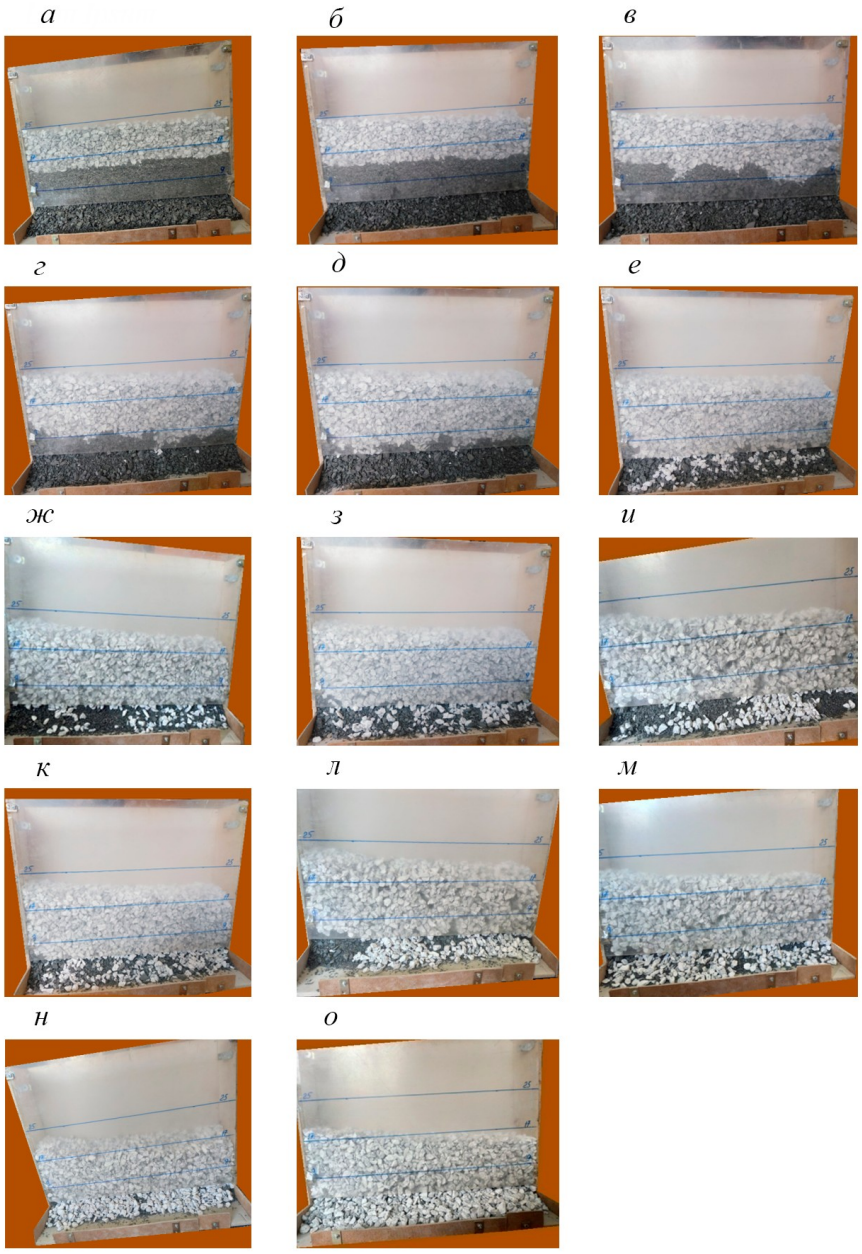

Рисунок 4 - Характерные этапы выпуска рудной массы при $m_р$ = 17 м и α = 5°:
а – засыпанная модель готовая к выпуску; *б* – 50 ковш; *в* – 100 ковш; *г* – 150 ковш; *д* – 200 ковш; *е* – 250 ковш; *ж* – 300 ковш; *з* – 350 ковш; *и* – 400 ковш; *к* – 450 ковш; *л* – 500 ковш; *м* – 550 ковш; *н* – 600 ковш; *о* – окончание выпуска, 694 ковш

Физическое моделирование выпуска рудной массы для системы разработки этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском для погашения МКЦ при системе с фронтально-торцевым выпуском руды и, собственно, для самостоятельной отработки запасов проведено для двух мощностей рудного тела $m_р$: 15 и 25 м и углов падения рудного тела α =0, 13 и 30° Принятая ЛНС (w) – 2.5 м. Параметры отбитого рудного слоя: ширина – 1,2w = 2,5·1,2 = 3 м. Высота hc = 1,1$m_р$. При $m_р$ = 15 м, hc = 16,5 м; при $m_р$ = 25 м, hc = 27,5 м.

Для испытаний использован дифференцированный по мощности рудного тела грансостав отбитой руды.

Характерные фотографии процесса выпуска руды для системы этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском руды при выемке камерных запасов показаны на рисунке 5.

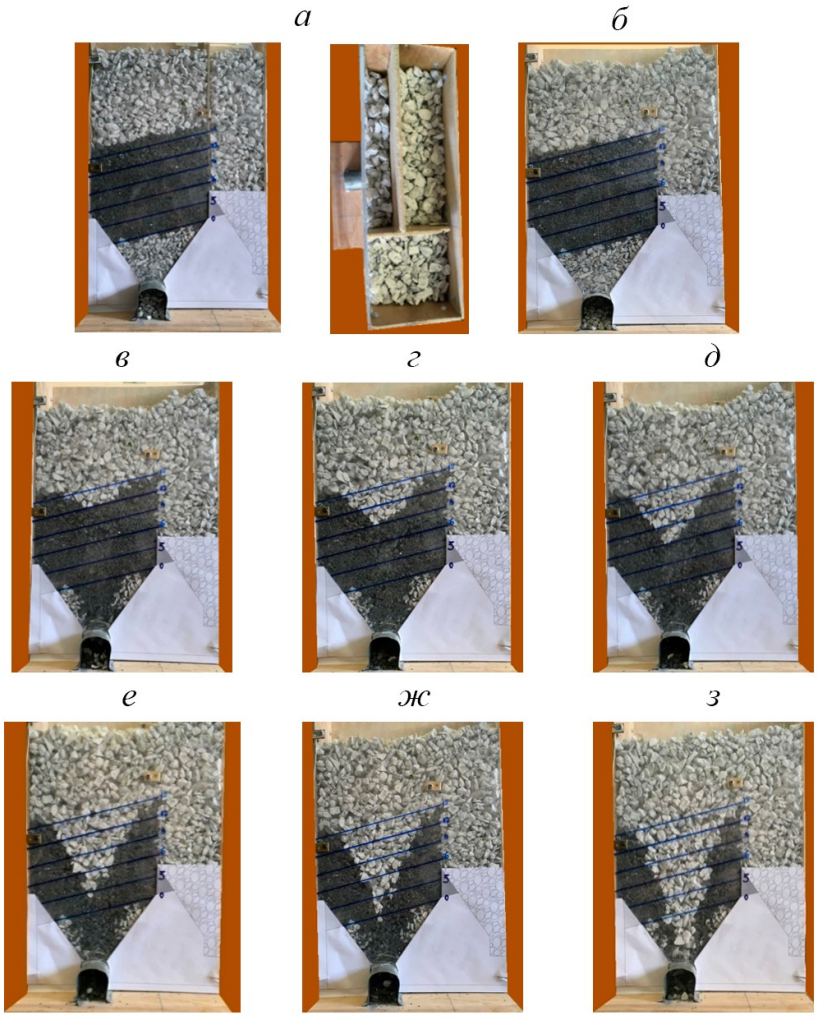

Рисунок 5 - Характерные этапы выпуска рудной массы при $m_р$ = 15 м и α = 13°:
а – засыпанная модель готовая к выпуску; *б* – начало выпуска, шиберы извлечены; *в* – 12 м; *г* – 9 м, 64 ковш; *д* – 6м, 80 ковш; *е* – 3 м, 103 ковш; *ж* – 0 м; *з* – окончание выпуска, 214 ковш

Как видно из рисунка 6 система этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой имеет меньшие величины потерь и разубоживания почти на всем диапазоне мощностей залежи.

Это объясняется тем, что на показатели извлечения в системе разработки этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском, отрицательно влияют показатели извлечения при отработке междукамерных целиков. Как видно на рисунке 7, величина оптимальных потерь и разубоживания при отработке камеры в системе разработки этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском меньше, чем при треугольной подсечке.

Сравнение величин потерь и разубоживания при отработке в аналогичных условиях системами с фронтально-торцевым выпуском, с треугольной подсечкой и с торцевым выпуском (рис.8), показывает, что система с торцевым выпуском проигрывает всем рассмотренным системам разработки.

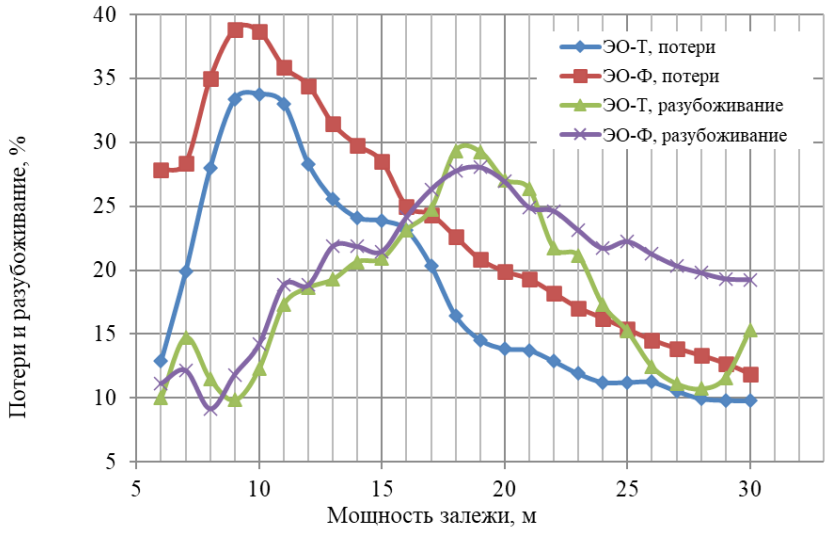

Рисунок 6 - Сравнительные графики потерь и разубоживания для систем разработки этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой и фронтально-торцевым выпуском (в целом система), для угла падения залежи 10 градусов

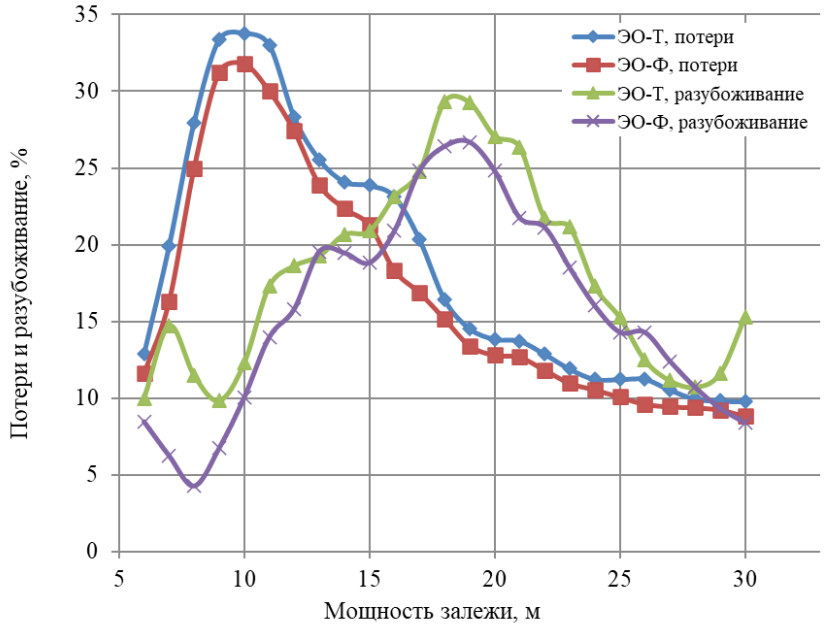

Рисунок 7 - Сравнительные графики потерь и разубоживания для систем разработки этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой и фронтально-торцевым выпуском (выемка камеры), для угла падения залежи 10 градусов

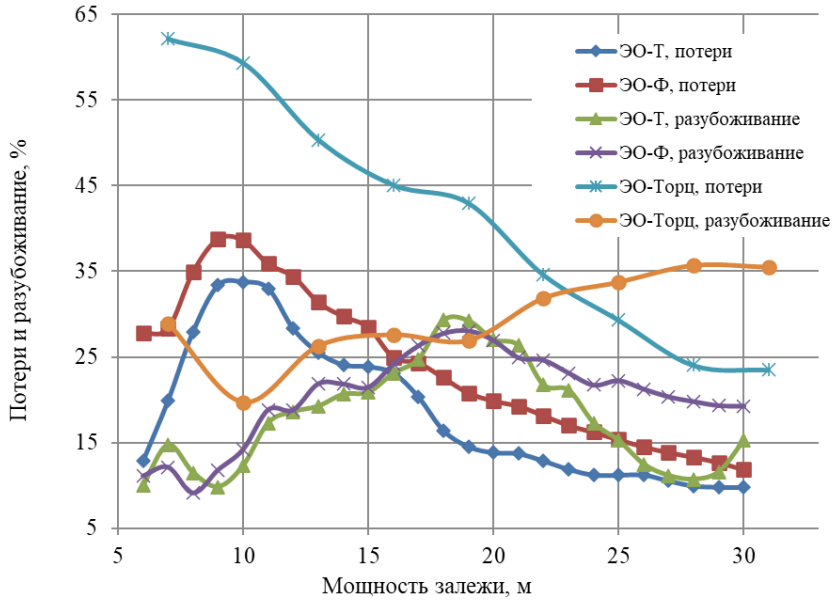

Рисунок 8 - Сравнительные графики потерь и разубоживания для систем разработки этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой, фронтально-торцевым выпуском (вся система) и с торцевым выпуском, для угла падения залежи 10 градусов

Основные результаты

Используя выявленные на этапе физического моделирования значения показателя сыпучести материала, произведено:

- математическое моделирование выпуска руды в зависимости от расстояний между транспортно-доставочными выработками и их ширины;
- определено оптимальное соотношение показателей извлечения и изменения качества при выпуске руды по местам образования, на основании технико-экономических расчетов по критерию прибыли от погашения 1 т руды;
- установлены параметры систем разработок с оптимальными показателями извлечения и качества для различных условий залегания рудного тела.

Заключение

В результате проведенных исследований установлены рациональные области применения рассматриваемых систем разработки:

- для мощности залежи более 8 м целесообразно применять систему разработки этажного принудительного обрушения с треугольной подсечкой;
- систему этажного принудительного обрушения с фронтально-торцевым выпуском целесообразно применять, если междукамерные целики приурочивать к участкам с углом падения более 12 градусов;
- этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском, в принятом конструктивном исполнении, следует применять в случае невозможности использования других систем разработки.

На основании проведенных исследований разработаны предложения по потенциальному улучшению параметров систем разработки.

Для системы разработки этажного обрушения с фронтально-торцевым выпуском:

- уменьшение ширины междукамерного целика с 20м до 15м (при допустимости по геомеханическим условиям).

Например, в базовом варианте при ширине МКЦ равной 20 м, для мощности 15 м и угла падения 5 градусов, потери и разубоживание в целом по системе равны 28,0 и 21,7%, соответственно. При уменьшении ширины целика до 15 м, при тех же мощности и угле падения, потери и разубоживание составят 19,9 и 28,4 %, соответственно.

Для системы разработки этажного обрушения с торцевым выпуском:

- сближение буро-доставочных штреков.

Например, при ширине секции 15 м, для мощности 15 м и угла падения 19 градусов, потери и разубоживание составят 23,3 и 24,9 %, соответственно. При тех же мощности и угле падения, но при ширине секции 20м (базовый вариант), потери и разубоживание равны 40,9 и 27,5%, соответственно.

Уменьшение ширины МКЦ и секции до 15 приведено для примера, т.к. этот размер также зависит от мощности залежи и параметров выпуска под обрушенными породами. Общая закономерность в том, что чем больше мощность залежи, тем меньшее сближение будет обеспечивать улучшение показателей извлечения.

Исследования по возможности уменьшения размеров междукамерных целиков должны вестись комплексно, с учетом геомеханических расчетов по обоснованию допустимых пролетов обнажения, устойчивости целиков, нарезных и подготовительных выработок.

При невозможности уменьшения ширины МКЦ с 20 до 15 м предлагается его увеличить до 30 м и одновременно отрабатывать двумя камерами шириной по 15 м системой этажного обрушения с торцевым выпуском рудной массы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community

Список литературы / References

1. Kiruna Iron Ore Mine, Sweden // Mining-Technology. — URL: http://www.mining-technology.com/projects/kiruna/. (accessed 12.12.2022)
2. Hustrulid W. Sublevel caving – past and future / W. Hustrulid, R. Kvapil // 5th International Conference and Exhibition on Mass Mining. — Lulee, 2008.
3. Опарин В.Н. Мировой опыт автоматизации горных работ на подземных рудниках / В.Н. Опарин и др.; отв. ред. Н.Н. Мельников; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т горного дела. — Новосибирск: Изд-во СОР АН, 2007. — 99 с.
4. Неверов А.А. К вопросу об автоматизации очистных работ при освоении систем разработки с обрушением с закладкой / А.А. Неверов, С.А. Неверов // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. — 2010. — 4. — с. 3-10.
5. У никелевой промышленности Зимбабве мало шансов на развитие // Информационно-аналитический центр МИНЕРАЛ. — URL: http://www.mineral.ru/Analytics/worldtrend/129/275/index.html. (дата обращения: 12.12.2022)
6. Jonah S.E. African Mining '91 / S.E. Jonah. — Elsevier Science Publishers Ltd, 1991. — 364 p.
7. Малышев А.И. Сера в магматическом рудообразовании / А.И. Малышев. — Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2004. — 189 с.
8. Федоровский Д.А. Проектные решения по ремонту рудоспуска и приемного бункера в камере дробления №2 дробильно-бункерного комплекса скипового ствола рудника «Северный» ОАО «Кольская ГМК» / Д.А. Федоровский, К.Ю. Хабло, Д.И. Герман и др. // Горный Вестник. — 2012. — с. 274-277.
9. Добывающие активы // ПАО «ГМК «Норильский никель». — URL: http://www.nornik.ru/kompaniya/proizvodstvo/kolskaya-gmk/dobyivayushhie-aktivyi1. (дата обращения: 12.12.2022)
10. Ведение подземных горных работ на руднике «Северный»: регламент технологических производственных процессов. — РТПП 2-48200234-44-03-2011.
11. Малиновский Е.Г. Повышение полноты и качества отработки запасов пологопадающих залежей системами с обрушением руды и налегающих пород на примере рудника «Заполярный»: дисс. … канд. техн. наук: 25.00.20 / Малиновский Евгений Геннадьевич. — Красноярск, 2004. — 159 с.
12. Шнайдер М.Ф. Совершенствование горных работ на Лениногорском руднике / М.Ф. Шнайдер, Г.Ф. Митирев, В.К. Матвеев и др. // Горный журнал. — 1981. — 6.
13. Тен Н.А. Сравнительная оценка экономической эффективности систем разработки на Лениногорском руднике / Н.А. Тен, М.Ф. Шнайдер, Р.А. Богуславский и др. // Горный журнал. — 1972. — 2.
14. Шашурин С.Л. Разработка мощных рудных месторождений системами с одностадийной выемкой / С.Л. Шашурин, Н.В. Плакса, А.П. Леднев. — М.: Недра, 1971. — 200 с.
15. Малиновский Е.Г. Сравнение результатов физического моделирования и натурного эксперимента по торцевому выпуску руды по системе этажного принудительного обрушения для пологих залежей / Е.Г. Малиновский, Б.А. Ахпашев, А.И. Голованов и др. // Известия вузов. Горный журнал. — 2019. — 7. — с. 34-44.
16. Малиновский Е.Г. Исследование влияния гранулометрического состава отбитой рудной массы на показатели извлечения при системе этажного принудительного обрушения руды физическим моделированием / Е.Г. Малиновский, А.И. Голованов, Б.А. Ахпашев // Вестник КузГТУ. — 2022. — 3. — с. 41-53.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kiruna Iron Ore Mine, Sweden // Mining-Technology. — URL: http://www.mining-technology.com/projects/kiruna/. (accessed 12.12.2022)
2. Hustrulid W. Sublevel caving – past and future / W. Hustrulid, R. Kvapil // 5th International Conference and Exhibition on Mass Mining. — Lulee, 2008.
3. Oparin V.N. Mirovoj opyt avtomatizacii gornyh rabot na podzemnyh rudnikah [World Experience in the Automation of Mining Operations at Underground Mines] / V.N. Oparin et al.; ed. by. N.N. Mel'nikov; Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Mining Institute. — Novosibirsk: Publishing house SOR AN, 2007. — 99 p. [in Russian]
4. Neverov A.A. K voprosu ob avtomatizacii ochistnyh rabot pri osvoenii sistem razrabotki s obrusheniem s zakladkoj [On the Automation of Clearing Operations in the Development of Development Systems with Caving with Stowing] / A.A. Neverov, S.A. Neverov // Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta [Bulletin of Kuzbass State Technical University]. — 2010. — 4. — p. 3-10. [in Russian]
5. U nikelevoj promyshlennosti Zimbabve malo shansov na razvitie [Zimbabwe's Nickel Industry Has Little Chance for Development] // Informacionno-analiticheskij centr MINERAL [MINERAL Information and Analysis Center]. — URL: http://www.mineral.ru/Analytics/worldtrend/129/275/index.html. (accessed: 12.12.2022) [in Russian]
6. Jonah S.E. African Mining '91 / S.E. Jonah. — Elsevier Science Publishers Ltd, 1991. — 364 p.

7. Malyshev A.I. Sera v magmaticheskom rudoobrazovanii [Sulfur in Magmatic Ore Formation] / A.I. Malyshev. — Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 2004. — 189 p. [in Russian]

8. Fedorovskij D.A. Proektnye reshenija po remontu rudospuska i priemnogo bunkera v kamere droblenija №2 drobil'no-bunkernogo kompleksa skipovogo stvola rudnika "Severnyj" OAO "Kol'skaja GMK" [Design Solutions for Repairing the Ore Dump and Receiving Hopper in Crushing Chamber No. 2 of the Crushing and Hopper Complex of the Skip Shaft of the Severny Mine, Kola MMC] / D.A. Fedorovskij, K.Ju. Hablo, D.I. German et al. // Gornyj Vestnik [Mountain Bulletin]. — 2012. — p. 274-277. [in Russian]

9. Dobyvajushhie aktivy [Mining Assets] // PAO «GMK «Noril'skij nikel'» // [MMC Norilsk Nickel]. — URL: http://www.nornik.ru/kompaniya/proizvodstvo/kolskaya-gmk/dobyivayushhie-aktivyi1. (accessed: 12.12.2022) [in Russian]

10. Vedenie podzemnyh gornyh rabot na rudnike «Severnyj»: reglament tehnologicheskih proizvodstvennyh processov [Conducting Underground Mining Operations at the Severny Mine: Regulations for Technological Production Processes]. — RTPP 2-48200234-44-03-2011. [in Russian]

11. Malinovskij E.G. Povyshenie polnoty i kachestva otrabotki zapasov pologopadajushhih zalezhej sistemami s obrusheniem rudy i nalegajushhih porod na primere rudnika «Zapoljarnyj» [Improvement of the Completeness and Quality of Stockpiling of Marginal Deposits with Ore Caving and Overburden Systems by the Example of the Zapolyarny Mine]: diss. … of PhD in Technical Sciences: 25.00.20 / Malinovskij Evgenij Gennad'evich. — Krasnoyarsk, 2004. — 159 p. [in Russian]

12. Shnajder M.F. Sovershenstvovanie gornyh rabot na Leninogorskom rudnike [Improvement of Mining Operations at the Leninogorsk Mine] / M.F. Shnajder, G.F. Mitirev, V.K. Matveev et al. // Gornyj zhurnal [Mountain Journal]. — 1981. — 6. [in Russian]

13. Ten N.A. Sravnitel'naja ocenka jekonomicheskoj jeffektivnosti sistem razrabotki na Leninogorskom rudnike [Comparative Assessment of Economic Efficiency of Mining Systems at Leninogorsk Mine] / N.A. Ten, M.F. Shnajder, R.A. Boguslavskij et al. // Gornyj zhurnal [Mountain Journal]. — 1972. — 2. [in Russian]

14. Shashurin S.L. Razrabotka moshhnyh rudnyh mestorozhdenij sistemami s odnostadijnoj vyemkoj [Development of Thick Ore Deposits with Single Stage Excavation Systems] / S.L. Shashurin, N.V. Plaksa, A.P. Lednev. — M.: Nedra, 1971. — 200 p. [in Russian]

15. Malinovskij E.G. Sravnenie rezul'tatov fizicheskogo modelirovanija i naturnogo jeksperimenta po torcevomu vypusku rudy po sisteme jetazhnogo prinuditel'nogo obrushenija dlja pologih zalezhej [Comparison of the Results of Physical Modeling and Full-scale Experiments on Ore End Discharge Using the Staged Forced Caving System for Gentle Deposits] / E.G. Malinovskij, B.A. Ahpashev, A.I. Golovanov et al. // Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal [Proceedings of Universities. Mountain Journal]. — 2019. — 7. — p. 34-44. [in Russian]

16. Malinovskij E.G. Issledovanie vlijanija granulometricheskogo sostava otbitoj rudnoj massy na pokazateli izvlechenija pri sisteme jetazhnogo prinuditel'nogo obrushenija rudy fizicheskim modelirovaniem [Study of the Influence of the Granulometric Composition of the Stripped Ore Mass on the Recovery Rates of the Staged Forced Ore Caving System by Physical Modeling] / E.G. Malinovskij, A.I. Golovanov, B.A. Ahpashev // Vestnik KuzGTU [KuzSTU Bulletin]. — 2022. — 3. — p. 41-53. [in Russian]