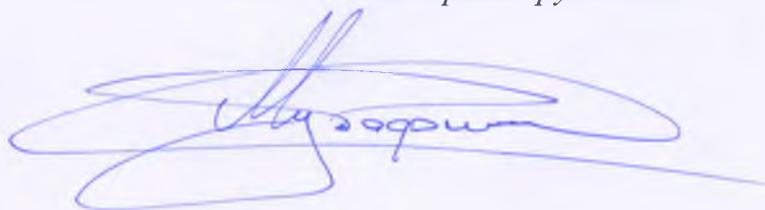


На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Мустафин', with several large, sweeping loops above the name.

МУСТАФИН Вадим Игоревич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЖНОГО ТОРЦЕВОГО
ВЫПУСКА РУДЫ ПРИ ДВУХЪЯРУСНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ
БУРОДОСТАВОЧНЫХ ВЫРАБОТОК**

**Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы
проектирования горнотехнических систем»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»»

- Научный руководитель** доктор технических наук, профессор
САВИЧ Игорь Николаевич
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор
КУЗЬМИН Евгений Викторович
начальник лаборатории моделирования
производственных процессов подземных
горных работ ОАО «ВНИПИпромтехнологии»
- кандидат технических наук,
ПАЦКЕВИЧ Петр Геннадьевич,
ведущий научный сотрудник отдела № 3
«Освоение месторождений твердых полезных
ископаемых на больших глубинах»
ИПКОН РАН
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное об-
разовательное учреждение высшего профес-
сионального образования
Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова, 455000,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38.

Защита диссертации состоится 17 июня 2015 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук по адресу: 111020, г. Москва, Е-20, Крюковский тупик, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте www.ipkonran.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

И.Ф.Жариков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время большинство месторождений богатых руд истощили свои запасы. Несмотря на это мировая потребность в минеральных ресурсах постоянно увеличивается, в связи с чем становится целесообразным вовлечение в разработку руд убогих, с низким содержанием полезных компонентов на новых или действующих рудниках с соответствующим снижением бортового содержания. Таким образом, приоритетное значение имеет реализация технологических решений, обеспечивающих низкую себестоимость добычи руды.

При подземном способе наименьшими затратами на добычу руды отличаются системы с массовым обрушением, позволяющие сокращать трудовые и материальные затраты горнодобывающего предприятия, повышая при этом конкурентоспособность выпускаемого товарного продукта на рынке ресурсов. Помимо низкой себестоимости добычи системы с обрушением обеспечивают высокую концентрацию и производительность горных работ. Недостатком технологий с обрушением является относительно высокий уровень потерь и разубоживания руды, что несколько сужает область их применения.

Современное состояние горных работ на подземных рудниках и многоаспектность проблем, возникающих в процессе добычи, обуславливают развитие теории проектирования в части разработки и совершенствования ресурсосберегающих технологий и их адаптацию к конкретным условиям месторождений. В этом свете система с этажным торцевым выпуском является весьма перспективным технологическим решением.

Недостаточный практический опыт при проектировании и эксплуатации этажного торцевого выпуска на отечественных подземных рудниках влечет за собой высокие потери полезного ископаемого, снижение качества добываемой руды, дополнительные расходы на обогащение, ухудшение экологической обстановки и, как следствие, нерациональное использование недр. В связи с этим обоснование параметров системы с этажным торцевым выпуском, является актуальной научной задачей, решение которой позволит улучшить качественные и количественные показатели извлечения полезного ископаемого и повысить эффективность разработки мощных рудных и нерудных месторождений России.

Цель работы состоит в обосновании конструктивных и технологических параметров системы этажного обрушения, обеспечивающих снижение потерь и разубоживания руды при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

Идея работы заключается в том, что повышение качественных характеристик рудной массы при этажном обрушении с торцевым выпуском достигается при расположении выпускных выработок в два яруса.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. В системах с этажным обрушением снижение объема подготовительно-нарезных работ и повышение устойчивости буровыпускных выработок достигается при двухъярусном их расположении на расстояниях, обеспечивающих наличие контакта между фигурами, развивающимися при торцевом выпуске из верхнего и нижнего ярусов на всю высоту этажа.

2. При принудительном этажном обрушении с торцевым выпуском минимальный уровень разубоживания, достигается при толщине отбиваемого слоя $0,1 \div 0,12$ высоты этажа.

3. Минимальный уровень потерь обеспечивается при условии, что межосевое расстояние $L_{\text{мо}}$ между буровыпускными выработками при их двухъярусном расположении одинаково и не превышает $(0,85 \div 0,9) \cdot (D_{\text{н}} + D_{\text{в}})$, где: $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{в}}$ - максимальные диаметры формируемых фигур выпуска соответственно из нижнего и верхнего яруса, при этом заглубление кровли выработок нижнего яруса по отношению к верхнему должно составлять $(0,63 \div 0,65) \cdot L_{\text{мо}}$, м.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Разработан вариант системы разработки с этажным торцевым выпуском руды, включающий двухъярусное расположение буродоставочных выработок на горизонте выпуска, обеспечивающее снижение объемов подготовительно-нарезных работ и повышение качества добываемой руды.

- Выявлены зависимости показателей извлечения от изменения конструктивных параметров системы с двухъярусным этажным торцевым выпуском с учетом гранулометрического состава рудной массы получаемого в результате отбойки.

- Обоснованы параметры системы: толщина, ширина и высота отбиваемого слоя, величина заглубления выработок нижнего яруса при двухъярусной конструкции горизонта выпуска.

- Установлены коэффициенты пропорциональности между толщиной отбиваемого слоя и высотой этажа, расстоянием между буродоставочными выработками и величиной заглубления с учетом минимизации потерь и разубоживания при последовательном и одновременном выпуске из выработок верхнего и нижнего ярусов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: надежностью и представительностью исходных данных, достаточной степенью сходимости результатов физического и компьютерного моделирования и теоретических расчетов по апробированным методикам.

Научное значение работы заключается в установлении зависимостей, определяющих влияние параметров выпуска рудной массы в системе этажного обрушения с двухъярусным торцевым выпуском руды на количественные и качественные показатели извлечения полезного компонента из недр.

Практическое значение работы заключается в совершенствовании конструктивных параметров системы этажного принудительного обрушения с торцевым выпуском руды для наиболее эффективной отработки мощных рудных залежей.

Научные результаты и практические рекомендации, изложенные в диссертации, могут быть рекомендованы при проектировании горнодобывающих предприятий разрабатывающих мощные железорудные месторождения, при разработке кимберлитовых трубок и горнохимического сырья, а также использованы в учебном процессе при подготовке горных инженеров.

Апробация работы. Основное содержание работы и ее отдельные положения докладывались и получили одобрение на научных симпозиумах МГГУ «Неделя горняка» (Москва, 2011-2015 гг.), на научных семинарах кафедры ТПР Горного института НИТУ «МИСИС» (2011-2015 гг.), на заседаниях международной молодежной научной школы «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» ИПКОН РАН (2011-2015гг.).

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано 9 статей, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 53 рисунка, 27 таблиц, список литературы из 108 наименования.

Автор выражает благодарность научному руководителю – проф., д.т.н. И.Н.Савичу, чл.-корр. РАН, проф., д.т.н. Д.Р.Каплунову, проф., д.т.н. М.В.Рыльниковой, доц., к.т.н. А.А.Павлову, преп., к.т.н. А.А.Девятеню за помощь в работе над диссертацией и консультации, а также м.н.с. В.А.Романову и м.н.с. Д.И.Сухову за помощь в проведении лабораторных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проведенный анализ опыта освоения запасов мощных месторождений системами с массовым обрушением руды и вмещающих пород в России и

странах СНГ показал, что довольно широкое распространение на отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятиях получила система этажного принудительного обрушения с донным выпуском руды, долгое время отвечающая динамике развития российской горной промышленности.

В последнее десятилетие повсеместно прослеживается тенденция перехода от морально устаревших систем разработки к более гибким, современным системам с комплексной механизацией и автоматизацией всех основных производственных процессов. Все чаще технологию с этажным принудительным обрушением и донным выпуском заменяют систему подэтажного обрушения с торцевым выпуском, которая хорошо зарекомендовала себя при подземной разработке мощных месторождений. Основанием для этого перехода послужили трудоемкость подготовки горизонта выпуска, сложности с поддержанием горных выработок в связи с усугубляющейся геомеханической обстановкой от ежегодного понижения горных работ и т.п. Однако переход с этажной отбойки на подэтажную связан с увеличением затрат на подготовительно-нарезные работы. Кроме того, в силу ограниченности подэтажа по вертикали формируемая фигура выпуска не всегда развивается в ширину до размеров, соответствующих расстоянию между буродоставочными выработками, установленному по геомеханическим условиям, что ведет к ухудшению показателей извлечения из-за образования гребней невыпущенной рудной массы.

Таким образом, путем развития теоретических основ в части обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров при проектировании горнотехнических систем можно добиться повышения эффективности освоения запасов мощных месторождений и на базе этого - расширения области применения этажного торцевого выпуска руды.

Установлению рациональных параметров систем с обрушением и закономерностей истечения сыпучих сред на разных этапах развития теории проектирования горнотехнических систем посвящены труды: М.И.Агошкова, В.Ф.Абрамова, Л.И.Барона, П.М.Вольфсона, В.Р.Глотова, В.А.Горбунова, Н.Г.Дубынина, В.Р.Именитова, Д.Р.Каплунова, Р.П.Каплунова, Е.В.Кузьмина, В.В.Куликова, Г.М.Малахова, С.С.Минаева, Р.Г.Пепелева, И.Н.Савича, З.А.Терпогосова, А.М.Фрейдина, В.Л.Щербакова, В.А.Шестакова и других ученых. В их трудах основное уделено влиянию ряда конструктивных и технологических параметров этих систем разработки на количественные и качественные показатели извлечения руды. В результате были выделены наиболее существенные из них, такие как: толщина и высота отбиваемого слоя; ширина и угол на-

клона отбиваемых слоев; физико-механические свойства и гранулометрический состав руды и обрушенных пород; организация выпуска руды; геометрические параметры и положение смежных забоев относительно друг друга и др.

В известных работах при этажной выемке рассматриваются проблемы, связанные с традиционными системами при донном выпуске руды, а также торцевом выпуске подэтажами. Говорится о преимуществах торцевого выпуска и перспективах его дальнейшего применения. Кроме того, указывается на перспективность увеличения высоты отбиваемого слоя для сокращения подготовительно-нарезных работ и улучшения показателей извлечения за счет сокращения потерь в рудных гребнях между буродоставочными выработками.

Вопросы обоснования параметров этажного торцевого выпуска руды в литературе практически отсутствуют.

В процессе исследований в этой области знаниями сотрудниками института ВНИИцветмет (Усть-Каменогорск) была разработана методика определения рациональной толщины отбиваемого слоя в процессе физического моделирования на эквивалентных материалах. Попытки компьютерного моделированием выпуска рудной массы, выполненные в соответствии с методикой переноса масс проф. Куликова В.В., были сделаны в Норильском индустриальном институте.

Практическое апробирование выпуска на всю высоту этажа осуществили: в Казахстане на рудниках им. XXII съезда КПСС и Салаирском; на Юкспорском руднике ПО «Апатит»; на Южном участке «Прирезки» рудника Заполярный ГМК «Норильский Никель», где система на опытных участках показала хорошие результаты, однако дальнейшего развития не получила.

Исходя из вышеизложенного для более детального изучения процесса торцевого выпуска рудной массы при этажной выемке в диссертации были поставлены и решены задачи, связанные с:

- определением степени влияния гранулометрического состава рудной массы на ее сыпучие свойства и показатели извлечения;
- обоснованием диапазона рационального изменения толщины отбиваемого слоя;
- установлением уровня показателей извлечения в зависимости от расстояния между смежными пунктами выпуска;
- обоснованием рациональной величины заглубления выработки нижнего яруса при двухъярусном торцевом выпуске руды;

- обоснованием рационального режима выпуска рудной массы для снижения потерь и разубоживания в процессе добычи;

В качестве основных инструментов, позволяющих решить поставленные задачи, автором выбраны аналитические методы исследования, опытно-экспериментальные исследования на физических и компьютерных моделях, в процессе которых соблюдались общие положения теории моделирования выпуска рудной массы с учетом данных, полученных на рудниках.

Планирование и определение необходимого числа независимых экспериментов осуществлялись по общепринятой методике с допустимым отклонением не более 10%.

Для получения корректных результатов в процессе физического моделирования этажного торцевого выпуска было обеспечено функциональное (геометрическое, кинематическое и динамическое) подобие модели и природы. При соблюдении равенства определяющих констант, входящих в их дифференциальные уравнения.

Физическое моделирование осуществлялось с учетом основных характеристик функциональности, указывающих на подобие систем модели и природы: параметров фигуры выпуска, площади и количества зависаний, высоты выпускного слоя, прогиба и диаметра воронки провала, включая требования к эквивалентному материалу.

Для сверки результатов физического моделирования с аналитическими расчетами предварительно определялись физико-механические свойства эквивалентного материала на вспомогательных лабораторных стендах. С помощью экспериментов установлен коэффициент $m=0,49 \text{ м}^{-1}$, характеризующий его сыпучие свойства и параметры фигуры выпуска при используемой кусковатости материала.

Основная физическая модель, имитирующая этажный торцевой выпуск рудной массы, выполнена в масштабе 1:100 (рис.1). Размеры модели: 73 см x 30 см x 110 см (соответственно длина, ширина, высота). Буродоставочные выработки расположены в два яруса, расстояние по осям между выработками верхнего яруса - 15 см, заглубление нижнего яруса - 20 см. Выбран центрально-фланговый порядок отработки. Выпуск руды равномерно-последовательный.



Рис.1. Общий вид физической модели этажного торцевого выпуска

Результаты физического моделирования этажного торцевого выпуска руды при двухъярусном расположении буродоставочных выработок представлены в табл.1. На рис. 2 приведены графики зависимости выхода рудной массы от потерь и разубоживания.

Таблица 1

Результаты выпуска рудной массы при физическом моделировании

Слой	H=20, м ³	H=40, м ³	H=60, м ³	H=80, м ³	Порода, м ³	Всего выпущено р.м., м ³	П, %	Р, %	Кд, дол. ед.
Выпуск руды из выработок верхнего яруса									
1	0	2870	4732	3848	571	12021	93,2%	4,8%	0,071
2	0	5717	9260	7661	1279	23917	86,6%	5,3%	0,142
3	0	8438	14647	14080	2171	39336	78,0%	5,5%	0,233
4	0	12352	21276	20718	3454	57800	67,8%	6,0%	0,342
5	0	17385	29471	26602	7786	81244	56,5%	9,6%	0,481
6	0	21425	36111	31441	11015	99992	47,3%	11,0%	0,592
7	0	22073	36529	32822	11112	102536	45,9%	10,8%	0,607
8	0	22370	36793	33897	11861	104921	44,9%	11,3%	0,621
Выпуск руды из выработок нижнего яруса									
9	2023	25926	39869	35333	15558	118709	38,9%	13,1%	0,703
10	4493	27908	40583	36349	19298	128631	35,3%	15,0%	0,762
11	5482	28167	40816	36894	21582	132941	34,1%	16,2%	0,787
12	7742	29534	42342	38635	24632	142885	30,0%	17,2%	0,846
13	9049	30130	42563	38858	27163	147763	28,6%	18,4%	0,875
14	10383	30742	42781	39074	30012	152992	27,2%	19,6%	0,906
15	11718	31358	42997	39295	32757	158125	25,8%	20,7%	0,936
16	13244	32103	43351	39553	35220	163471	24,1%	21,5%	0,968

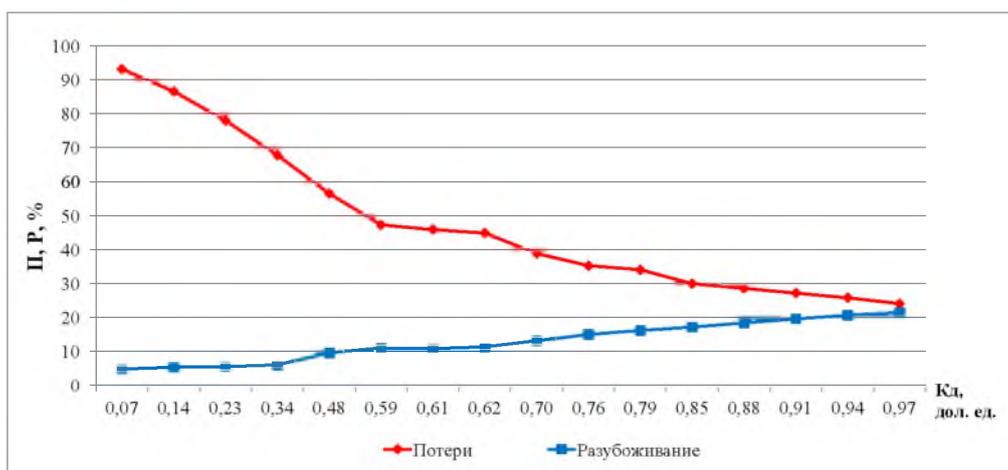


Рис.2. Графики, характеризующие выход рудной массы в зависимости от уровня потерь и разубоживания

Полученные в результате физического моделирования статические данные сопоставляли с данными, полученными на аналогичной компьютерной модели (рис.3). Для этого в программном продукте MINECAD задавались такие же параметры системы, как и при физическом моделировании.

В основу работы программы заложены принципы стохастического моделирования различных технологических процессов горного производства, в том числе выпуска рудной массы, которые обоснованно доказаны рядом ученых: В.В.Куликовым, В.А.Горбуновым, Е.В.Кузьминым, С.М.Чурсиным, Т.А.Гагиевым.

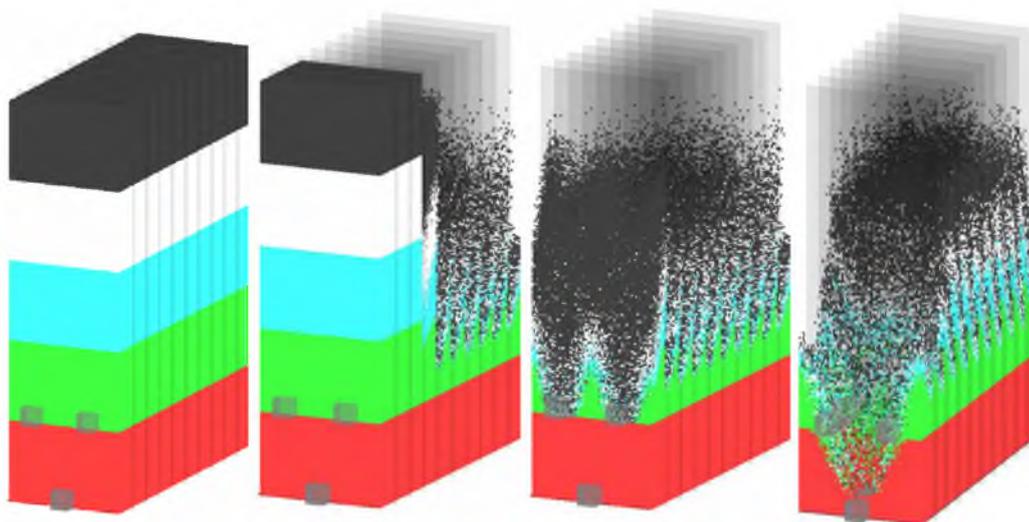


Рис. 3. Компьютерная модель этажного торцевого выпуска

Результаты компьютерного моделирования этажного торцевого выпуска руды при двухъярусном расположении буродоставочных выработок представлены в табл.2. На рис. 4 приведены графики зависимости выхода рудной массы от потерь и разубоживания.

Результаты выпуска рудной массы при компьютерном моделировании

Слой	H=20, м ³	H=40, м ³	H=60, м ³	H=80, м ³	Порода, м ³	Всего вы- пущено р.м., м ³	П, %	Р, %	Кд, дол. ед.
Выпуск руды из выработок верхнего яруса									
1	0	3757,14	4335,6	4326,83	4069,94	16489,51	92,7%	24,7%	0,097
2	0	7396,44	8557,04	8517,42	8046,56	32517,46	85,6%	24,7%	0,191
3	0	10951,03	12768,51	12701,41	12008,25	48429,2	78,6%	24,8%	0,285
4	0	14752,83	17199,76	17007,62	16185,28	65145,49	71,2%	24,8%	0,383
5	0	18285,84	22423,99	21300,43	20151,51	82161,77	63,5%	24,5%	0,483
6	0	22054,70	27838,05	25682,85	24298,81	99874,41	55,5%	24,3%	0,587
7	0	25767,22	32665,36	29885,59	28276,47	116594,64	48,0%	24,3%	0,686
8	0	29636,29	35488,33	34283,21	32442,94	131850,77	41,5%	24,6%	0,776
Выпуск руды из выработок нижнего яруса									
9	2154	30096,70	38620,23	35596,06	36430,22	142897,21	37,4%	25,5%	0,841
10	4765	30398,20	40756,31	36001,02	38152,31	150072,84	34,2%	25,4%	0,883
11	6043	30769,08	40995,01	36265,38	39331,21	153403,68	32,9%	25,6%	0,902
12	7926	31003,26	41596,96	36869,25	39699,54	157095,01	30,9%	25,3%	0,924
13	9523	31254,59	42184,39	37107,96	40001,92	160071,86	29,4%	25,0%	0,942
14	10256	31782,37	42365,90	37329,40	40152,37	161886,04	28,4%	24,8%	0,952
15	11598	32109,83	43025,31	37756,03	40568,21	165057,38	26,8%	24,6%	0,971
16	13156	32245,97	42968,91	39059,12	40823,08	168253,08	25,0%	24,3%	0,990

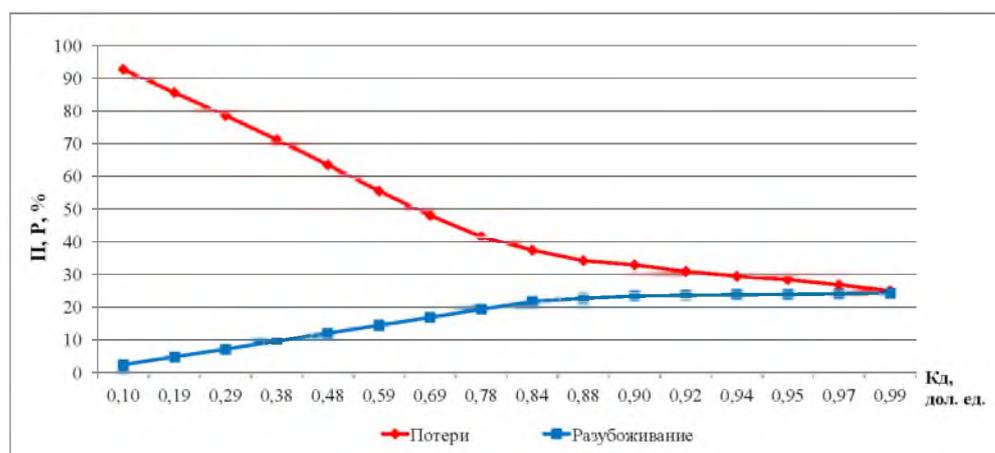


Рис.4. Графики, характеризующие выход рудной массы в зависимости от уровня потерь и разубоживания (компьютерная модель)

Сопоставление результатов физического и компьютерного моделирования для определения статической связи между полученными случайными величинами показало тесную корреляционную связь. По результатам расчетов линейный коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,9999$.

Таким образом, полученные при различных видах моделирования результаты говорят о практически полной их сходимости, что дает основание в дальнейших исследованиях опираться на компьютерную модель.

При определении гранулометрического состава рудной массы использо-

вался прямой метод измерения по фотоматериалам, предоставленным действующими предприятиями, применяющими системы с массовым принудительным обрушением руды (результаты представлены на рис. 5).

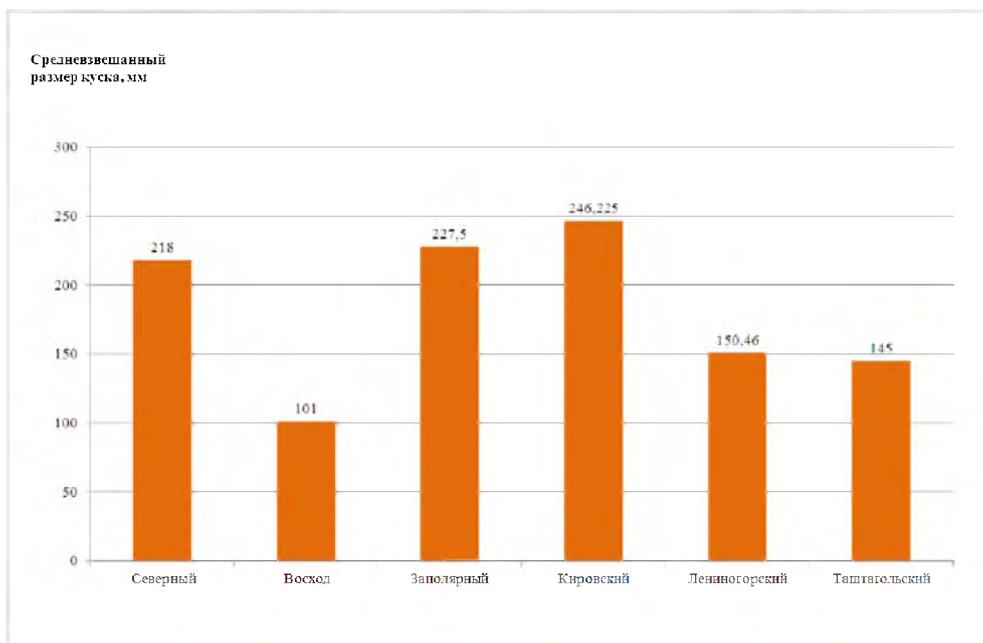


Рис. 5. Гистограмма средневзвешенного грансостава рудной массы на рудниках

Исследования на компьютерной модели проводились в полученном диапазоне гранулометрического состава рудной массы 150÷250 мм.

Для определения рациональной толщины выпускаемого слоя была проведена серия экспериментов на компьютерной модели. Как известно, средний размер куска рудной массы существенно влияет на ее сыпучие свойства и, как следствие, на параметры формируемой фигуры выпуска.

Результаты моделирования представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние гранулометрического состава на сыпучие свойства рудной массы

Средний размер куска, мм	m, m^{-1}	Дэл., м
150	1,17	7,16
180	1,03	7,63
200	0,94	7,98
220	0,87	8,3
250	0,78	8,8
350	0,61	9,91
400	0,54	10,54

Анализ данных, приведенных в таблице, показал, что чем мельче фракционный состав руды, получаемый в результате отбойки, тем больше вытянутость эллипсоида в вертикальном направлении при одной и той же высоте отбивае-

МОГО СЛОЯ.

В табл. 4 представлены результаты исследований по влиянию изменения толщины отбиваемого слоя на уровень потерь при фиксированном критическом уровне разубоживания руды, равным 25%.

Таблица 4

Показатели извлечения руды при изменении толщины отбиваемого слоя

Толщина отбиваемого слоя d_r , м	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Потери, %	61,45	42,51	40,69	38,77	37,18	36,9	36,5	36,22	36,3	39,66	42,4

На рис. 6 представлена зависимость уровня потерь руды от толщины отбиваемого слоя при высоте 60 м.

Установлено, что минимальные потери руды при одинаковом уровне ее разубоживания могут быть достигнуты, если толщина отбиваемых слоев составляет $6 \div 7$ м.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что толщину отбиваемого слоя не следует определять, базируясь на ранних теоретических посылах, как половину меньшей оси формируемой фигуры выпуска.

Нами установлено, что диапазон изменения толщины отбиваемого слоя по отношению к малому диаметру фигуры выпуска следует определять, используя коэффициент $0,75 \div 0,88$, который в пересчете на высоту этажа составляет $0,1 \div 0,12$.

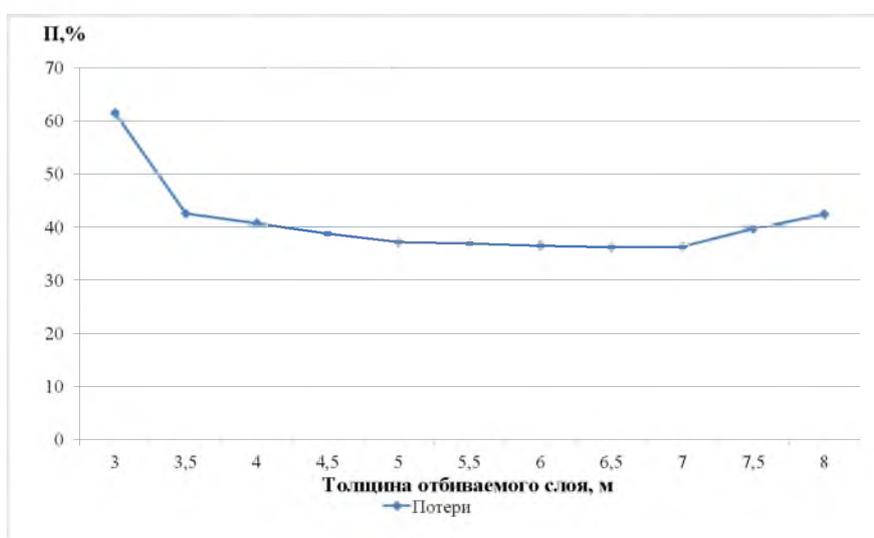


Рис. 6. Зависимость показателей извлечения от толщины отбиваемых слоев

Это позволило сформулировать **второе научное положение**, - при этаж-

ном торцевом выпуске минимальный уровень потерь и разубоживания достигается при условии, что толщина отбиваемого слоя при изменении средневзвешенного размера куска в диапазоне 150÷250 мм составляет 0,1÷0,12 высоты этажа – $d_T = (0,1 \div 0,12) \cdot H_{\text{эт}}$.

Дальнейшие исследования проводились в части обоснования рационального расстояния между буродоставочными выработками. При этом, как известно, следует учитывать взаимовлияние формируемых в процессе выпуска фигур. Не всегда это взаимодействие возможно, поскольку чаще всего по геомеханическим условиям разработки смежные выпускные выработки приходится разносить на расстояние, превышающее максимальный диаметр фигуры выпуска.

Для определения расстояния между выработками, при котором происходит взаимодействие фигур, рассматривались варианты этажного торцевого выпуска руды с буродоставочными выработками, расположенными сначала в одном, а затем в двух ярусах (рис.7). В результате было установлено, при каком удалении выработок друг от друга отсутствует пересечение фигур выпуска. Расстояние между выработками изменялось в диапазоне 12÷20 м, высота отбиваемого слоя составляла – 80 м, средний размер куска устанавливался в исследуемом диапазоне, толщина отбиваемого слоя составляла 6,5÷7,5 м.

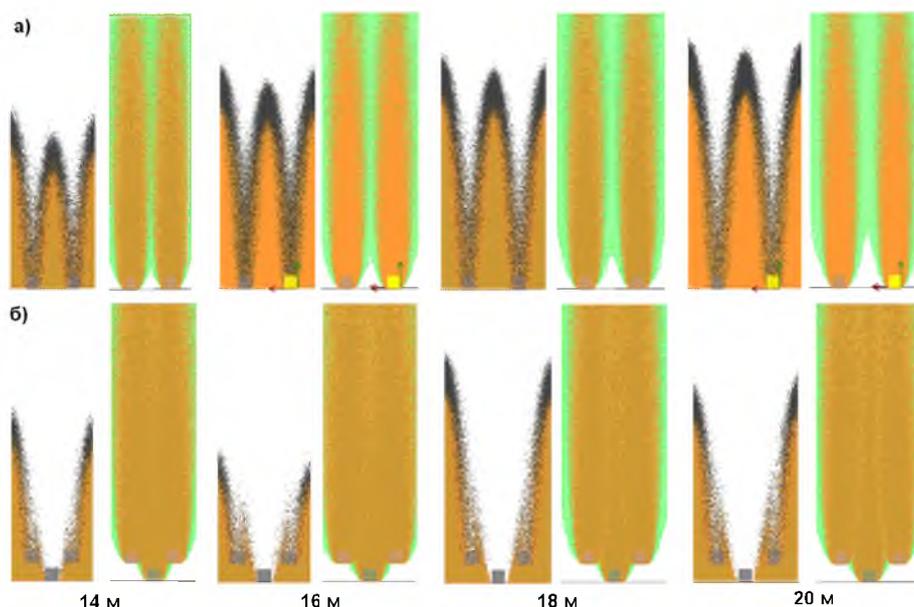


Рис.7. Взаимовлияние фигур выпуска при регулировании расстояния между буродоставочными выработками: а) вариант с одним горизонтом выпуска; б) двухъярусное расположение выработок

Как видно, традиционный вариант этажного торцевого выпуска руды не позволяет формируемым фигурам выпуска иметь контакт друг с другом, если расстояние между смежными выработками по осям составляет 14 и более мет-

ров. Из этого следует, что рудный гребень, образовавшийся между ними, может достигать высоты отбиваемого слоя, что ведет к большим потерям руды. Таким образом, для достижения наибольшей полноты извлечения полезного ископаемого необходимо либо сближать буродоставочные выработки, что зачастую невозможно по геомеханическим соображениям, либо переходить на двухъярусное исполнение.

Исследования показали, что при двухъярусном торцевом выпуске достигаются наилучшие показатели извлечения по сравнению с традиционным вариантом. Обеспечивается снижение уровня потерь на 43÷48%.

При обосновании рационального пространственного расположения буродоставочной выработки нижнего яруса по отношению к выработкам верхнего диапазон изменения величины заглубления составлял 3÷17 м с шагом в 1 м. Межосевое расстояние менялось от 12 до 20 м. При этом величина заглубления не превышала установленного межосевого расстояния с учетом высоты выработки.

Минимальное заглубление определяли с условием, что вредное взаимодействие выработок друг на друга исключено. При расчете устойчивости потолчины между ярусами учитывали глубину разработки и величину ее нагружения массой обрушенных вышележащих пород.

В результате исследований определено, что величина заглубления выработки нижнего яруса, обеспечивающая минимальный уровень потерь и разубоживания, зависит от межосевого расстояния выработок верхнего яруса с учетом угла истечения руды.

Это позволило сформулировать **третье научное положение**, которое определяет, что при двухъярусном торцевом выпуске рациональное расстояние между буродоставочными выработками в обоих ярусах одинаково и для обеспечения взаимодействия между ними не должно превышать величину, определяемую из выражения $L_{\text{мо}} = (0,85 \div 0,9) \cdot (D_{\text{н}} + D_{\text{в}})$, где: $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{в}}$ - максимальные диаметры формируемых фигур выпуска соответственно из нижнего и верхнего яруса - при этом рациональное заглубление кровли выработок нижнего яруса может изменяться в диапазоне $h_3 = (0,63 \div 0,65) \cdot L_{\text{мо}}$, м.

Предлагаемый к реализации вариант системы разработки этажного обрушения с торцевым выпуском руды представлен на рис. 8.

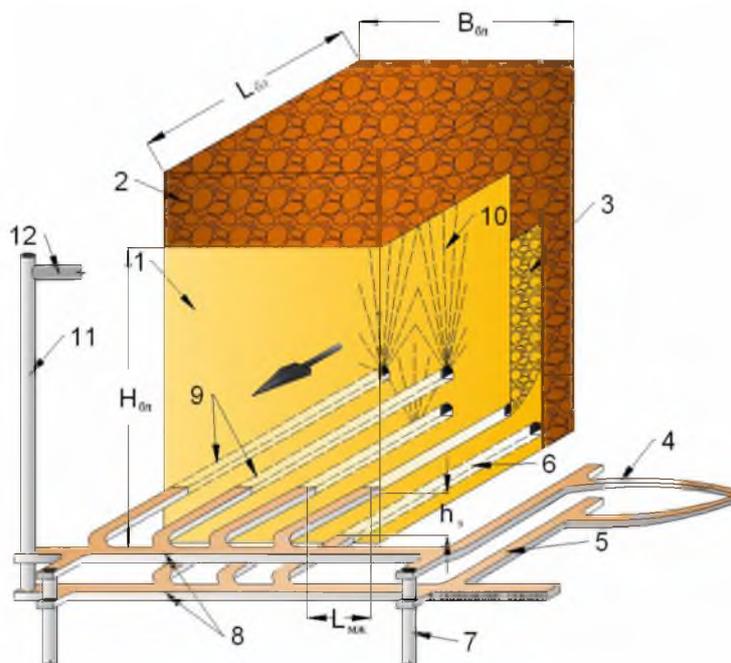


Рис. 8. Принципиальная схема системы этажного обрушения с торцевым выпуском при двухъярусном расположении буродоставочных выработок: 1 – рудное тело; 2 – вмещающие обрушенные породы; 3 – отбитая руда; 4 – спиральный съезд; 5 – транспортный штрек; 6 – штрек нижнего яруса; 7 – рудоспуск; 8 – транспортный орт; 9 – штреки верхнего яруса; 10 – взрывные скважины; 11 – вентиляционно-ходовой восстающий; 12 – вентиляционный горизонт

Отработку запасов месторождения ведут в нисходящем порядке с отбойкой и выпуском рудной массы на буродоставочные штреки (орты). Подготовительно-нарезные работы начинают с проходки полевых панельных штреков, которые с помощью заездов сбиваются со спиральным съездом, после чего проходят отрезные орты в зоне контакта руды и вмещающих пород. Далее на определенном расстоянии друг от друга производят нарезку блока буродоставочными выработками. Выработки нижнего яруса располагают посередине между смежными выработками вышележащего яруса, а величину их заглубления определяют с учетом представленной зависимости.

Установлено, что при параллельном выпуске в двух ярусах уровень потерь руды может быть снижен на 4÷5% по сравнению с равномерно-последовательным режимом выпуска из каждого яруса по отдельности. Однако в этом случае на 3÷3,5% увеличивается общее разубоживание. Опускание линии контакта руда - налегающие породы протекает с меньшим провисанием.

Экономическое сравнения конкурентоспособных вариантов было произведено по критерию максимизации удельной, приведенной прибыли от разработки участка месторождения с аналогичной горнотехнической и горно-геологической ситуацией.

В качестве конкурирующих вариантов системы разработки рассмотрены:

- этажное принудительное обрушение с торцевым выпуском руды (вариант с одним ярусом выработок);

- этажное принудительное обрушение с торцевым выпуском руды (вариант с двухъярусным расположением буродоставочных выработок).

Проведенные расчеты показали экономию от 50 до 700 руб./т за счет применения предлагаемого к реализации варианта с двухъярусным исполнением.

Это позволило сформулировать **результатирующее (первое) научное положение**, которое утверждает, что в системах с этажным обрушением снижение объема подготовительно-нарезных работ и повышение устойчивости буровыпускных выработок достигается при двухъярусном их расположении на расстояниях, обеспечивающих наличие контакта между фигурами, развивающимися при торцевом выпуске из верхнего и нижнего ярусов на всю высоту этажа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены основные принципы проектирования системы подземной разработки с этажным обрушением и торцевым выпуском руды при двухъярусном расположении буродоставочных выработок, научно обоснован диапазон регулирования ее пространственно-конструктивных параметров в зависимости от условий разработки и нормативных показателей извлечения для обеспечения высокой экономической эффективности освоения ресурсного потенциала рудных и нерудных месторождений России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Определено, что повышение эффективности очистной выемки за счет снижения объема подготовительно-нарезных работ и улучшения качественных характеристик рудной массы в системах с этажным обрушением и торцевым выпуском руды достигаются при двухъярусном их расположении на расстояниях, обеспечивающих наличие контакта между фигурами, развивающимися при торцевом выпуске из верхнего и нижнего ярусов на всю высоту этажа.

2. Установлено, что на отечественных горнодобывающих предприятиях, осуществляющих добычу руды системами с массовым обрушением руд и вмещающих пород, средневзвешенный размер кусков, составляющих рудную массу, в натуральных условиях находится в диапазоне 150÷250 мм, что препятствует развитию фигуры выпуска в ширину, приводит к «трубообразованию» и, как следствие раннему разубоживанию с существенным увеличением потерь руды.

3. Обоснованы параметры системы этажного обрушения с торцевым выпуском руды для подземной разработки рудных и нерудных залежей, предусматривающей двухъярусную конструкцию горизонта выпуска, позволяющую увеличивать расстояние между смежными буродоставочными выработками при одновременном снижении уровня конструктивных потерь на 43÷48%.

4. Установлено, что минимальный уровень потерь и разубоживания при средневзвешенном размере куска в рудной массе, изменяющемся в диапазоне 150÷250мм, достигается при условии, что толщина отбиваемого слоя изменяется в зависимости от высоты этажа в диапазоне $d_T = (0,095 \div 0,12) \cdot H_{\text{эт}}$.

5. Выявлено, что уровень потерь руды зависит от ее пространственного расположения в блоке по высоте отбитого слоя до начала выпуска, условно разделенного на верхнюю, среднюю и нижнюю части. Так, при развитии фигуры выпуска на 2/3 высоты слоя для объемов руды, находившейся в средней его части, уровень потерь на 32÷35% ниже по отношению к нижней, при этом чем крупнее средний размер куска, тем существеннее это снижение. В дальнейшем при выпуске всего отбитого слоя уровень потерь руды из верхней его части (1/3 от общего объема) возрастает на 7,5÷12%, но в этом случае больший уровень потерь руды соответствует большему фракционному составу отбитой рудной массы.

6. Установлено, что рациональный диапазон изменения заглубления h_3 кровли буродоставочных выработок нижнего яруса по отношению к верхнему зависит от расстояния между буродоставочными выработками по осям, определенного в соответствии с геомеханическими условиями разработки и углом истечения отбитой руды, при обеспечении минимального уровня потерь руды, и составляет $(0,63 \div 0,65) \cdot L_{\text{МО}}$.

7. При двухъярусном расположении буродоставочных выработок следует применять параллельный режим выпуска одновременно из верхнего и нижнего ярусов. Параллельный режим обеспечивает практически горизонтальный контакт руда - налегающие породы по сравнению с равномерно-последовательным выпуском и позволяет снизить уровень потерь руды на 4÷5% при минимальном увеличении общего разубоживания на 3÷3,5%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих научных работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Савич И.Н., Мустафин В.И. Обоснование параметров этажного торцевого выпуска при разработке мощных рудных залежей // ГИАБ. – 2013. – №06. – С.23-28. – М.: Горная книга;

2. Ищенко В.Л., Павлов А.А., Мустафин В.И. Рациональный режим выпуска руды // Геотехнологии при разработке рудных месторождений, ГИАБ. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2013. – №04. – 28с. – М.: Горная книга;

3. Павлов А.А., Мустафин В.И., Романов В. А., Сухов Д. И. Влияние гранулометрического состава рудной массы на параметры торцевого выпуска при изменяющейся высоте подэтажа // Геотехнологии при разработке рудных месторождений. ГИАБ. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2013. – №04. – 28 с. – М.: Горная книга;

4. Зенько Д.К. Павлов А.А. Мустафин В.И. Обоснование глубины заложения выпускных выработок при разработке наклонных рудных тел системами подэтажного обрушения // Проблемы проектирования технологии подземной и комбинированной разработки рудных месторождений. ГИАБ. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2013. – №05. – С.117-121. – М.: Горная книга;

5. Савич И.Н., Мустафин В.И. Перспективы применения и обоснование проектных решений при этажном и подэтажном торцевом выпуске руды // ГИАБ. – 2015. – ОВ-1. – С.419-429. – М.: Горная книга.

В прочих изданиях:

6. Мустафин В.И. Анализ опыта применения систем с принудительным обрушением руды и вмещающих пород на территории РФ // Научный вестник МГГУ. – 2012. – № 3 (24). – С. 77-84;

7. Мустафин В.И., Смирнов И.А. Анализ применения различных вариантов системы с принудительным обрушением руды и вмещающих пород на примере апатит-нефелиновых месторождений Кольского полуострова // 9 Международная научная школа «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – Изд. ИПКОН РАН. – 2012. № 2. – С. 250-255;

8. 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;

9. Зенько Д.К., Мустафин В.И., Романов В.А., Сухов Д.И., Смирнов И.А. Закономерности движения руды при выпуске под обрушенными породами // 10 Международная научная школа «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – Изд. ИПКОН РАН. – 2013. № 1. – С. 237-240.