

УДК 622.272:622.023.623

Антипин Юрий Георгиевич,

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: geotech@igduran.ru

Смирнов Алексей Алексеевич,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Барановский Кирилл Васильевич,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: karingist@list.ru

Рожков Артём Андреевич,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: 69artem@bk.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ
ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССА ВЫПУСКА
СИЛЬНОТРЕЩИНОВАТЫХ РУД
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ***

Аннотация:

С целью повышения безопасности и эффективности очистной выемки в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, обусловленных сильной трещиноватостью и слабой устойчивостью рудного массива, в настоящей работе решается актуальная задача по обоснованию параметров подземной геотехнологии, обеспечивающей интенсификацию процесса выпуска руды. На основе анализа опыта подземной разработки установлено, что цель достигается за счет совершенствования конструкции днища блока и интенсификации процесса выпуска руды путем увеличения расстояний между выпускными выработками и применения более производительного оборудования. В результате разработаны рациональные варианты системы этажного самобрушения с модернизированной конструкцией днищ блоков под размещение виброустановок и электровозную откатку руды, позволяющие значительно увеличить интенсивность отработки запасов месторождения за счет сниже-

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.03.018

Antipin Yury G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of underground
geotechnology,
Institute of Mining UB RAS,
58 Mamina-Sibiryaka Str.,
620075 Ekaterinburg
e-mail: geotech@igduran.ru

Smirnov Alexey A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining UB RAS

Baranovsky Kirill V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: karingist@list.ru

Rozhkov Artem A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining UB RAS
e-mail: 69artem@bk.ru

**FORMATION OF MINING CONDITIONS
FOR INTENSIFICATION OF THE PROCESS
OF HIGHLY FRACTURED ORE DRAWING
DURING UNDERGROUND MINING**

Abstract:

In order to improve safety and efficiency of stoping in difficult mining, geological and mining-engineering conditions caused by fracturing and weak stability of the ore massif, this paper addresses the urgent task of substantiating the parameters of underground geotechnology that ensures intensification of the ore drawing process. Based on the analysis of underground mining experience, it was found that the goal is achieved by improving the block bottom design and intensifying the ore drawing process by increasing the distances between workings and using more efficient equipment. As a result of the work, rational options for the floor salve caving mining system with a modernized block bottom design for placing vibratory units and electric locomotive haulage of ore were developed, allowing for a significant increase in the intensity of deposit reserve mining by reducing the volume of preparatory and cutting work, increasing the stability of workings and labor productivity in stoping. It is shown that in comparison with the traditional technology based on scraper drawing and

* Исследования выполнены в рамках Гос. задания №075-00410-25-00. № гос. рег. 125070908257-0.

Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001).

ния объемов подготовительно-нарезных работ, повышения устойчивости выработок выпуска и производительности труда на очистной выемке. Показано, что в сравнении с традиционной технологией на основе скреперного выпуска и доставки рудной массы разработанные варианты позволяют уменьшить объем подготовительно-нарезных выработок по блоку на 20 – 25 %; повысить сменную производительность на выпуске и доставке руды в 1,9 раза и производительность труда по системе разработки в 1,6 – 1,7 раза. С учетом большой сложности и ресурсоемкости поддержания выработок большого сечения в рассматриваемых условиях переход на вибровыпуск руды в условиях мощных залежей сильнотрещиноватых и слабоустойчивых руд с мелкофракционным гранулометрическим составом является конкурентоспособной и низкочастотной альтернативой самоходному оборудованию.

Ключевые слова: технологическое развитие, самообрушение, выпуск руды, конструкция днища, виброустановка, сильнотрещиноватые руды.

delivery of ore mass, the developed options allow to reduce the volume of preparatory and cutting workings in a block by 20-25 %; to increase the shift productivity of ore drawing and delivery by 1.9 times and labor productivity in the mining system by 1.6-1.7 times. Taking into account the great complexity and resource intensity of maintaining large-section workings in the considered conditions, the transition to vibratory ore drawing in conditions of thick deposits of highly fractured and weakly stable ores with fine-grained granulometric composition is a competitive and low-cost alternative to self-propelled equipment.

Key words: technological development, self-caving, ore drawing, bottom design, vibratory feeders, highly fractured ores.

Введение

При подземной разработке месторождений со сложными горно-геологическими условиями, в частности представленных сильнотрещиноватыми и слабоустойчивыми рудами [1], проявляются специфические горнотехнические особенности. С одной стороны, такие горно-геологические условия позволяют применять низкочастотную систему разработки с самообрушением руды [2], с другой – требуют усиленного крепления при поддержании горных выработок [3, 4]. Характерным примером горнотехнической системы, функционирующей в таких условиях, является шахта «ДНК», входящая в состав Донского ГОКа и обрабатывающая Кемпирсайское месторождение хромитовых руд.

На шахте применяется система разработки этажного самообрушения со скреперным способом выпуска и доставки руды [5]. Известные недостатки применения скреперов при очистной выемке – низкая производительность, высокая трудоемкость и большой удельный объем подготовительно-нарезных работ. Последнее особенно влияет на эффективность и безопасность подземной геотехнологии из-за малой устойчивости проходимых в рудном теле близкорасположенных скреперных выработок, необходимости их постоянного перекрепления и частого выхода из строя в процессе выпуска руды [6].

Таким образом, при добыче сильнотрещиноватых и слабоустойчивых руд с целью повышения безопасности и эффективности очистной выемки актуальной является задача технологического развития горнотехнической системы за счет совершенствования конструкции днища блока и интенсификации процесса выпуска руды путем увеличения расстояний между выпускными выработками и применения более производительного оборудования [7 – 9].

Анализ способов интенсификации выпуска руды

Из опыта подземной разработки рудных месторождений [10 – 15] известно, что альтернативой скреперного выпуска и доставки является выпуск руды вибропитателями или самоходными погрузочно-доставочными машинами. Принимая во внимание сложные горно-геологические условия (высокая средняя плотность руды месторождения – 3,9 т/м³ и неблагоприятная геомеханическая обстановка), горнотехнические усло-

вия (сечения горно-капитальных выработок и применяемое транспортное оборудование), переход на самоходное оборудование потребовал бы существенной реконструкции транспортных выработок и значительных затрат на его приобретение. С учетом проектной производственной мощности шахты 6 млн т в год переход на самоходную технику [16 – 18] является перспективным при освоении запасов следующего этажа с проведением горно-капитальных выработок с соответствующими сечениями.

Анализ опыта [19 – 29] применения виброустановок на выпуске и доставке руды на различных месторождениях постсоветского пространства показал, что переход со скреперного на вибрационный выпуск во всех случаях обеспечил значительное повышение эффективности и безопасности добычных работ. Установлено, что таким образом возможно достичь повышения производительности труда в 1,2 – 3 раза [19 – 22]; снижения себестоимости очистных работ на 10 – 40 % [23 – 27]; уменьшения удельного количества завесаний руды в выпускных выработках до 3 и более раз [28, 29]. Таким образом, сделан вывод о том, что повысить интенсивность отработки запасов во вскрытом и эксплуатируемом этаже рационально за счет перехода на вибрационный выпуск руды и подготовки днищ блоков под размещение виброустановок для отработки оставшейся части запасов этажа.

Наибольшее распространение на подземных рудниках, применявших вибрационный выпуск руды, получили виброустановки типа ВДПУ-4ТМ и ВВДР-5, разработанные ИГД СО АН СССР (ныне – ИГД СО РАН) и НИИКМА, соответственно. При этом доля объемов добычи, приходившаяся на виброустановку ВДПУ-4ТМ, в несколько раз превосходила все остальные виброустановки вместе взятые, в основном находившие только локальное применение и не производимые серийно. В настоящее время вибрационный выпуск руды в значительном масштабе применяется на ограниченном числе предприятий – на железорудных шахтах Горной Шории (виброустановка ВДПУ-4ТМ) и шахте им. Губкина КМА (виброустановка ВВДР-5). Этому способствуют горнотехнические условия разработки, при которых обеспечиваются значительные запасы выпускаемой руды на одну виброустановку, большой опыт эксплуатации виброустановок и соответствие сопутствующих технологических процессов добычи руды требованиям вибровыпуска. Также установками ВДПУ-4ТМ оборудуются рудоспуски на рудниках по добыче апатит-нефелиновых руд (Кольский полуостров) и ряде других предприятий [30]. При этом выпуск руды из блоков производится погрузочно-доставочными машинами или скреперными лебедками. В частности, шахта «ДНК» имеет положительный опыт применения виброустановок ВДПУ-4ТМ при погрузке руды из рудоспусков.

Виброустановка типа ВВДР-5, разработанная для условий месторождений железистых кварцитов, предназначена для выпуска достаточно легких и средней тяжести руд (2,5 – 3,0 т/м³). Таким образом, условиям Донского ГОКа со средней плотностью руды 3,9 т/м³ данная установка не соответствует.

Наиболее дешевой и простой конструктивно является установка ВДПУ-4ТМ, не имеющая подвижных частей, что позволяет изготавливать их на ремонтно-механических базах горных предприятий, применять для выпуска и погрузки руды практически любой крепости и гранулометрического состава.

Учитывая неблагоприятные геомеханические условия, сложность и трудоемкость процессов проведения, крепления и продолжительного поддержания выработок, следует учитывать объем ниши, необходимой для монтажа и функционирования виброустановки. Наименьший необходимый объем ниши у ВДПУ-4ТМ – 23 м³, что меньше, чем у прочих установок, в 2 раза и более.

Прогнозная оценка объема запасов рассматриваемого блока, приходящихся на одну виброустановку, – 30 – 40 тыс. т. Учитывая разовое использование виброустановки или трудоемкие мероприятия по ее перестановке, не целесообразно применение виброустановок с ресурсом 100 – 150 тыс. т.

Принимая во внимание все вышесказанное, для конструирования днища блока рекомендуется виброустановка ВДПУ-4ТМ с боковым и торцовым расположением выпускных выработок.

Результаты исследований и их обсуждение

С целью опытно-промышленного испытания технологии с вибрационным выпуском руды для проектирования был выделен опытный блок, представляющий собой разделительный целик между двумя ранее отработанными участками. По простиранию опытный блок с обеих сторон граничит с очистным пространством, заполненным обрушенными налегающими породами. Одной из приоритетных задач в рассматриваемых условиях являлось обоснование устойчивых параметров расположения выпускных выработок в днище опытного блока. Соответствующие исследования были выполнены сотрудниками отдела геомеханики ИГД УрО РАН, в результате чего рекомендованы устойчивые параметры расположения выработок выпуска и доставки руды в днище блоков [31, 32].

С учетом данных результатов разработаны конструкции системы этажного самообрушения, представленные на рис. 1 и 2.

Блок разделяется на 3 (вариант 1) или 4 (вариант 2) панели, располагаемые длинной стороной вкрест простирания рудного тела. Каждая панель делится на секции, включающие от 1 до 4 точек выпуска.

Параметры панелей: длина – от 112 до 144 м; ширина – от 26 до 28 м (вариант 1) и 20 м (вариант 2); высота – равна вертикальной мощности рудного тела. Параметры секций: длина – от 16 до 32 м; ширина – от 26 до 28 м (вариант 1) и 20 м (вариант 2); высота – равна вертикальной мощности рудного тела.

Расстояние между выпускными отверстиями в ряду – 16 м, расстояние между рядами в пределах секции – 12 м (вариант 1) и 13 м (вариант 2). Ширина и высота выпускного отверстия – 1,8×1,8 м (вариант 1) и 1,3×1,8 м (вариант 2).

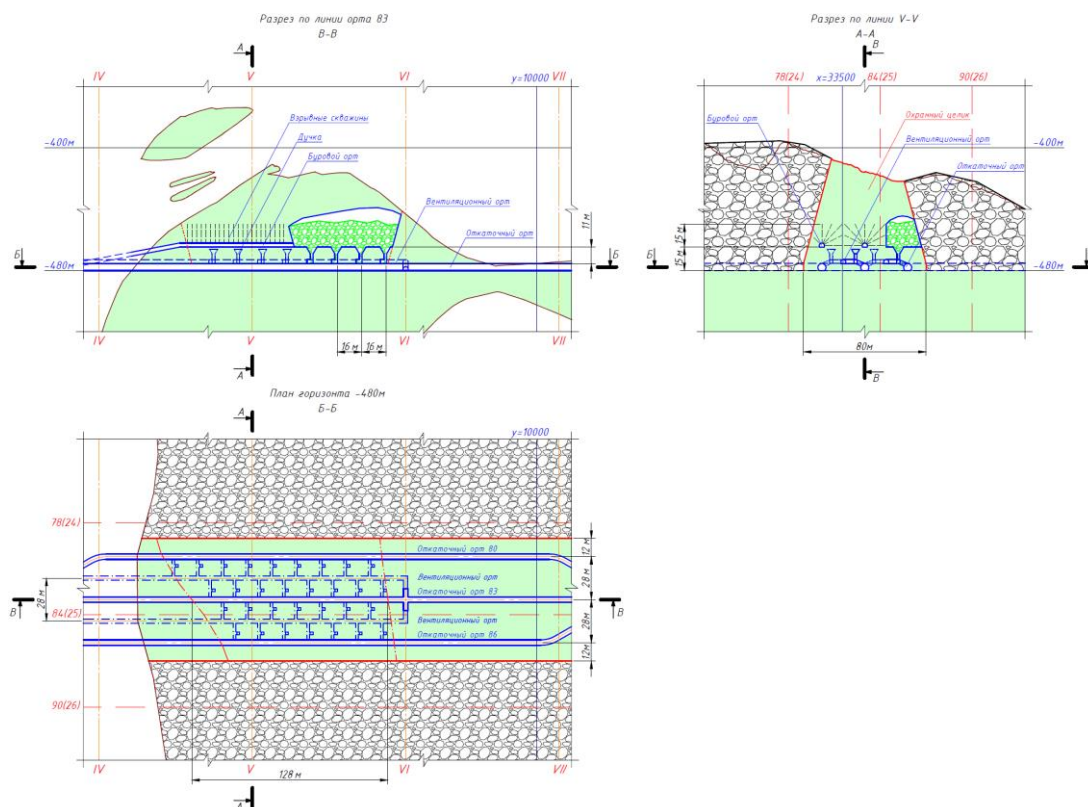


Рис. 1. Система разработки этажного самообрушения с вибровыпуском руды из боковых дучек (вариант 1)

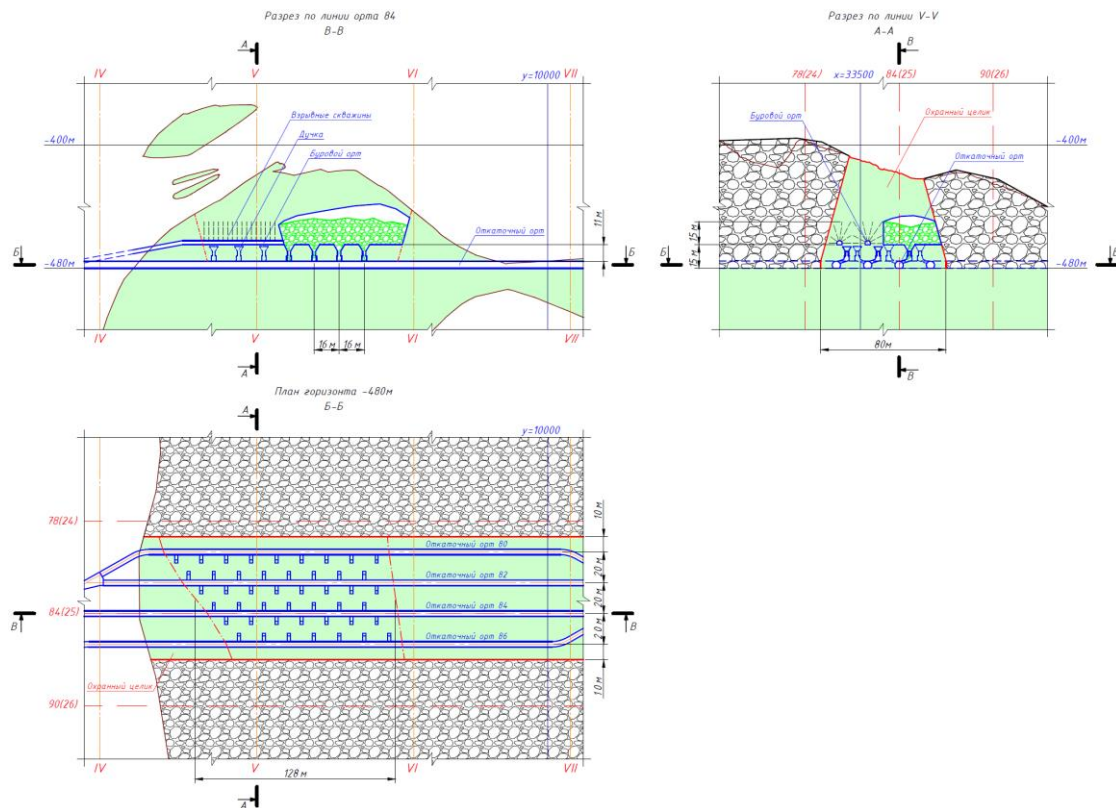


Рис. 2. Система разработки этажного самообрушения с вибровыпуском руды из торцевых дучек (вариант 2)

По нижнему горизонту панелей проходятся откаточные орты, из которых в шахматном порядке оформляются камеры вибропитателей типа ВДПУ-4ТМ. По верхней границе днища проходят подсечные орты с целью создания достаточной площади горизонтального обнажения рудного массива для инициирования и развития процесса его самообрушения [33 – 37].

Подсечка осуществляется посекционно, взрыванием вееров восходящих скважин длиной 10 – 15 м и планомерным выпуском отбитой руды. Выпуск руды виброустановками осуществляется непосредственно на откаточную выработку с прямой загрузкой электровозных составов и их последующей откаткой к скиповому стволу для выдачи рудной массы на поверхность.

Массив хромитовых руд характеризуется сильной трещиноватостью, а трещины заполнены серпентинитом, тальком и другими минералами. Сцепление по трещинам слабое, прочность заполнителя низкая. При разрушении массива он переизмельчается, что способствует подвижности рудной массы [38 – 41]. Рудный массив вблизи выработанного пространства существенно нарушен и представляет практически сыпучую среду. При этом даже в зажатой среде происходит сползание рудного массива в зону выпуска. Характерный показатель этого явления – опыт отработки разрезных панелей шахты «Молодежная» Донского ГОКа в конце 80 – 90-е г. прошлого века [42], в результате чего было установлено следующее:

- фактический объем добытой руды превышал проектные запасы выемочных единиц в 1,34 – 2,02 раза;
- фактическое содержание Cr_2O_3 в добытой руде колебалось относительно проектного в интервале 0,81–1,04;
- фактическое извлечение Cr_2O_3 превысило проектные значения в 1,4 – 2,0 раза.

Такие результаты объясняются вовлечением в добычу неотбитых запасов смежных панелей, сползающих в зону выпуска под углом 60 – 65°. Над выпускным отвер-

стием истечение руды происходит в форме воронки (конуса) с углом наклона образующих $60 - 70^\circ$. Подобный характер истечения отбитой руды при выпуске также установлен и детально исследован проф. Н.Г. Дубыниным.

Для определения размеров зоны истечения из выпускного отверстия нами использованы теоретические положения [43 – 45], учитывающие дилатансионные свойства материала. Сыпучие свойства материала и его поведение при выпуске определяется суммой углов внутреннего трения недилатансирующего материала (φ') и дилатансии (ν). В зависимости от степени разрыхления и кусковатости материала угол дилатансии изменяется в диапазоне $0 - 8^\circ$. При выпуске руды из обособленного отверстия образуется зона потока в виде конуса, угол наклона образующей которого (β) равен

$$\beta = 45 + \frac{1}{2} \arcsin \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \nu), \text{ град.} \quad (1)$$

Таким образом, в дальнейших расчетах для хромитовых руд шахты «ДНК» принимается $\beta=65^\circ$, что соответствует опытным данным.

При совместном выпуске руды из выпускных отверстий зоны их влияния на уровне подсечки пересекаются, образуется общая площадь обнажения и происходит постепенное обрушение рудного массива. После самообрушения всего рудного массива происходит обрушение налегающей породы. Равномерный выпуск руды из выпускных отверстий приводит к тому, что вся масса обрушенной руды и породы в секции опускается с одной скоростью до определенной критической высоты. В пределах потока руды над выпускным отверстием горизонтальный контакт между слоями также сохраняется выше критической высоты и начинает прогибаться при его подходе к конической части потока. Высота определяется расстоянием между смежными выпускными отверстиями. Тогда критическая высота ($h_{кр}$) равна

$$h_{кр} = 2 \left(R - \frac{1}{2} d_o \right) \operatorname{tg} \beta, \text{ м,} \quad (2)$$

где R – половина наибольшего расстояния между смежными выпускными отверстиями в секции, м; d_o – ширина потока на уровне выхода на виброплощадку, $d_o=1,2$ м; β – угол истечения руды, град, $\beta=65^\circ$.

При $R=8$ м критическая высота $h_{кр}=32$ м.

Критическая высота отсчитывается от уровня подошвы выпускной выработки, расположенной на 4 м выше почвы откаточной выработки. Ниже критической высоты истечение руды происходит из каждого выпускного отверстия независимо друг от друга, а фигура потока имеет форму конуса высотой $h_{кр}$.

После опускания контакта «руда – порода» до критической высоты начинает образовываться воронка внедрения пустых пород. Для дальнейшего расчета показателей извлечения руды использовались методы общепринятой теории выпуска руды под обрушенными породами [46, 47].

При выпуске рудной массы ниже критической высоты объем чистой руды будет равен объему эллипсоида выпуска высотой, равной критической. После этого будет осуществляться выпуск засоренной руды. По стандарту шахты «ДНК» выпуск разубоженной руды прекращается при весовом разубоживании $R_b=40,1$ %. При плотности руды $3,9$ т/м³ и породы $2,7$ т/м³ объемное разубоживание составит $R_{об}=49,3$ %.

По методике проф. Г.М. Малахова высота эллипсоида выпуска (H), отвечающая такому разубоживанию, определяется из формулы

$$R_{об} = 1 + \frac{2h_{кр}^2}{H^3} - \frac{3h_{кр}^3}{H^2}, \text{ \%}. \quad (3)$$

Объем ($Q_{кр}$) выпуска рудной массы из одного выпускного отверстия на этом этапе равен

$$Q_{кр} = \frac{\pi r H^2}{3K_p}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где r – показатель сыпучести, доли ед.; K_p – коэффициент разрыхления.

Расчетные показатели могут быть достигнуты только при обеспечении равномерности выпуска руды не только по площади секции, но и по всей эксплуатационной площади блока. Принятая на шахте «ДНК» сменная доза выпуска из одного выпускного отверстия в объеме 144 т обеспечивает получение прогнозных результатов. Погрузка руды вибропитателями позволяет достаточно строго выдерживать режим выпуска руды из секции и в целом из блока.

Таблица 1

**Технико-экономические показатели вариантов отработки опытного блока
системой этажного самообрушения**

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Система этажного самообрушения		
			со скреперным выпуском руды	с вибровыпуском руды	
				вариант 1	вариант 2
1	Промышленные запасы	тыс. т	1645	1434	1437
2	Потери	%	16,0	25,7	14,9
3	Разубоживание	%	19,0	16,9	19,9
4	Эксплуатационные запасы	тыс. т	1702	1283	1525
5	Удельный объем ПНР	м ³ /1000т	15,9	12,9	11,8
6	Производительность труда на ПНР	м ³ /чел.-см.	2,1	4,7	5,0
7	Производительность труда на выпуске и доставке руды	т/чел.-смену	224	288	288
8	Производительность труда на очистной выемке	т/чел.-смену	68,3	125,6	127,1
9	Производительность труда по системе разработки	т/чел.-смену	44,5	72,7	75,4
10	Сменная эксплуатационная производительность блока на выпуске и доставке руды	т/смену	448	864	864
11	Годовой объем добычи руды из блока	тыс. т	471,6	833,9	833,9
12	Продолжительность отработки блока	мес.	52	25	25

Сравнение технико-экономических показателей отработки опытного блока системой этажного самообрушения с различной конструкцией днища и применяемым на выпуске руды оборудованием представлено в табл. 1.

Заключение

В результате проведенных исследований для сложных горно-геологических условий подземной добычи сильнотрещиноватых и слабоустойчивых руд установлено, что разработанные варианты системы этажного самообрушения с модернизированной конструкцией днищ блоков под размещение виброустановок и электровозную откатку руды позволяют значительно увеличить интенсивность отработки запасов месторождения за счет снижения объемов подготовительно-нарезных работ, повышения устойчивости выработок выпуска и производительности труда на очистной выемке.

Сравнительный анализ основных показателей позволил установить, что в сравнении с традиционной технологией на основе скреперного выпуска и доставки рудной массы разработанные варианты системы этажного самообрушения позволяют умень-

шить объем подготовительно-нарезных выработок по блоку на 20 – 25 %; повысить сменную производительность на выпуске и доставке руды в 1,9 раза и производительность труда по системе разработки в 1,6 – 1,7 раза. Вместе с тем, по сравнению с конструкцией традиционной технологии, вариант 1 хуже по показателю потерь, тогда как вариант 2 сопоставим. Показатели разубоживания во всех вариантах сопоставимы. Таким образом, с учетом показателей производительности наиболее эффективным из рассмотренных является вариант 2.

При этом, учитывая значительное повышение надежности и устойчивости конструкции днищ при вариантах системы разработки с вибровыпуском руды, их оба можно рекомендовать к практическому использованию, поскольку показатели извлечения при традиционном варианте могут значительно ухудшаться вследствие преждевременного разрушения выработок выпуска. С учетом большой сложности и ресурсоемкости поддержания выработок большого сечения в рассматриваемых условиях переход на вибровыпуск руды в условиях мощных залежей сильнотрещиноватых и слабоустойчивых руд с мелкофракционным гранулометрическим составом является конкурентоспособной и низкочувствительной альтернативой самоходному оборудованию.

Список литературы

1. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., 2021. Выявление геодинамически активных блоковых структур в массивах горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-2, С. 30-41. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_30.
2. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Кульминский А.С., 2011. Отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях. *Горный журнал*, № 1, С. 63-66.
3. Насыров Р.Ш., Третьяк А.В., Неугомонов С.С., Мажитов А.М., 2024. Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород. *Горная промышленность*, № 3, С. 126-130. DOI 10.30686/1609-9192-2024-3-126-130
4. Харисов Т.Ф., Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н., Харисова О.Д., 2024. Комплексная методика выбора параметров крепления подготовительно-нарезных выработок. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 1, С. 376-387.
5. Kaplunov D., Bekbergenov D., Djangulova G., 2018. Particularities of solving the problem of sustainable development of chromite underground mining at deep horizons by means of combined geotechnology. *E3S Web of Conference*, Vol. 56, 01015. DOI:10.1051/E3SCONF/20185601015
6. Бекбергенов Д., Джангулова Г., Абаканов А., Сейдахметова Ж., 2019. Оценка геотехнической ситуации в зоне выпускных выработок при системе самообрушения руды для безопасного и устойчивого развития добычи хромитов на глубоких горизонтах шахт ДонГОКа. *Промышленность Казахстана*, № 1, С. 57-59.
7. Яковлев В.Л., 2022. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых. *Горная промышленность*, № S1, С. 34-45. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45.
8. Яковлев В.Л., 2023. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России. *Проблемы недропользования*, №3(38), С. 21-34. DOI 10.25635/2313-1586.2023.03.021.
9. Смирнов А.А., Барановский К.В., Рожков А.А., 2025. Уточнение методики расчета показателей извлечения с учетом увеличенного расстояния между выработками выпуска руды. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, №1, С. 611-625. EDN ETRQGO.

10. Еременко А.А., Еременко В.А., Гайдин А.П., 2008. *Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов*. Новосибирск: Наука, 312 с.
11. Славиковский О.В., 2015. Импортзамещающая техника и технология для рудных шахт. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7, С. 24-27.
12. Власов В.Н., Клишин В.И., 2004. Способы разработки месторождений с обрушением и одновременным дозированным вибровыпуском руды под покрывающими породами. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 248-254.
13. Савич И.Н., Мустафин В.И., Савич А.О., 2024. Этажное обрушение с гравитационным перемещением рудной массы при вибрационном выпуске из приемных воронок днища блока. *Горный журнал*, № 10, С. 68-71. DOI 10.17580/gzh.2024.10.09.
14. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., 2013. Рациональная конструкция траншейного днища для выпуска руды при отработке переходной зоны подземного рудника «Удачный». *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 1, С. 106-117.
15. Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А., Ключев М.В., 2020. Обзор комбинированных систем подземной разработки рудных месторождений. *Проблемы недропользования*, № 3(26), С. 5-22. DOI 10.25635/2313-1586.2020.03.005. EDN NADOCR.
16. Савич И.Н., Бекбергенов Д.К., Насыров Р.Ш., Джангулова Г.К., 2022. Перспективы применения систем с самообрушением руды при искусственном днище блоков на глубоких горизонтах Донского хромитового рудника. *Горный журнал*, № 2, С. 35-40. DOI 10.17580/gzh.2022.02.06.
17. Насыров Р.Ш., Третьяк А.В., Неугомонов С.С., Мажитов А.М., 2024. Технологические решения адаптации системы разработки с блочным самообрушением для условий рудных тел Донского ГОКа. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 4, С. 60-68. DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68.
18. Zhang Z.X., 2023. Lost-ore mining—A supplementary mining method to sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 168, P. 105420. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105420.
19. Солодянкин С.С., Бугаец П.В., Кубликов С.Н., 2017. Особенности скважинной отбойки и направления развития буровзрывных работ на шахте им. Губкина. *Горная промышленность*, № 5(135), С. 74-76.
20. Учитель А.Д., Гушин В.В., 1981. *Вибрационный выпуск горной массы*. Москва: Недра, 232 с.
21. Вакулов Ю.В., 1999. Применение вибровыпуска руды в отечественной горнорудной практике. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 109-110.
22. Хартович Ю.И., Исаков В.А., 1974. *Вибрационный выпуск руды*. Алма-Ата: Наука, 126 с.
23. Бабаянц Г.М., Вертлейб Л.К., Журин Н.Я., 1988. *Подземная разработка железистых кварцитов*. Москва: Недра, 168 с.
24. Копытов А.И., Масаев Ю.А., 2016. Методические основы для выбора эффективной геотехнологии разработки опасных по горным ударам железорудных месторождений Кузбасса. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*, № 3, С. 28-36.
25. Каварма И.И., 1984. *Научно-технические основы процессов и создание комплексов вибровыпуска – конвейерной доставки руды*: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06. Кривой Рог, 343 с.
26. Филиппов П.А., 2012. *Разработка и научное обоснование геотехнологий добычи железных руд при освоении природных и техногенных месторождений Западной Сибири*: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22. Новосибирск, 256 с.

27. Сапрыкин А.Н., Томаев В.К., 2005. Комбинат «КМАруда» в новом тысячелетии. *Горная промышленность*, № 2(60), С. 4-8.
28. Иофин С.Л., Шкарпетин В.В., Сергеев В.Е., 1979. *Поточная технология подземной добычи крепких руд*. Москва: Недра, 278 с.
29. Именитов В.Р., Абрамов В.Ф., Хуцишвили В.Г., Блаев Б.Х., Пустовалов А.И., 1981. Применение вибровыпуска на руднике «Молибден». *Горный журнал*, № 2, С. 29-31.
30. Белоусов В.В., Абрашитов А.Ю., Сахаров А.Н., 2014. Состояние и перспективы развития подземной разработки глубокозалегающих месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского массива. *Горный журнал*, № 10. С. 28-33.
31. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., Сосновская Е.Л., Харисова О.Д., 2022. Влияние последовательности выемки обособленного рудного блока на устойчивость подготовительно-нарезных выработок. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 320-334.
32. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., Авдеев А.Н., Харисова О.Д., 2023. Обоснование оптимального порядка отработки рудной залежи в условиях высоких напряжений и низкой прочности массива. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 3, С. 55-65. DOI 10.21440/0536-1028-2023-3-55-65.
33. Laubscher D.H., 1990. A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock mass in Mine Design. *Journal of South Africa Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 90, No. 10, P. 257-273.
34. Morales D., Castro R., Gomez R., 2024. A Methodology to Determine Undercutting Height in Block/Panel Caving. *Mining*, Vol. 4(2), P. 417-428. DOI 10.3390/mining4020024
35. Vasquez P., Díaz-Salas J., Barindelli G., 2023. Lecciones aprendidas, colapsos MB N01S02, Chuquicamata Subterránea. In *1o Congreso Chileno Mecánica de Rocas. Universidad de Santiago de Chile: Santiago, Chile*, pp. 940–947.
36. Tishkov M., 2018. Evaluation of caving as mining method for the Udachnaya underground diamond mine project. *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, pp. 835-846. DOI 10.36487/ACG_rep/1815_66_Tishkov
37. Zhang Ju., Zhou Z., Zhang Ji., Liu Yi., Liu Ya., 2023. Two-Stage Caving Characteristics of Complex Irregular Goaf: A Case Study in China. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 4, P. 1-16. DOI 10.1155/2023/7471721
38. Соколов И.В., Рожков А.А., Барановский К.В., 2023. Параметризация технологии снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке месторождений. *Горная промышленность*, № 5, С. 78-82. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5-78-82. EDN UYCLRI.
39. Соколов И.В., Рожков А.А., Барановский К.В., Соломеин Ю.М., 2025. Изыскание направлений снижения ущерба от переизмельчения металлических руд при системах разработки с обрушением. *Взрывное дело*, № 146-103, С. 70-88. EDN АОХРҮҚ.
40. Соколов И.В., Рожков А.А., Антипин Ю.Г., 2023. Методический подход к обоснованию технологий снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 352-367. EDN NFGXWZ.
41. Рожков А.А., 2021. Систематизация способов снижения потерь рудной мелочи при подземной разработке месторождений. *Проблемы недропользования*, № 3(30), С. 16-28. DOI 10.25635/2313-1586.2021.03.016. EDN LPADUR.
42. *Исследование и внедрение высокоэффективной технологии подземной разработки Донских хромитовых месторождений (шахта Молодежная)*. 1987. ИГД МЧМ СССР, Свердловск, Отчет о НИР: Рук. Болкисев В.С., 50 с.

43. Дубынин Н.Г., Храмов В.Ф., 1970. *Управление выпуском руды при подземной разработке*. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 119 с.
44. Стажевский С.Б., 1986. Об особенностях напряженно-деформированного состояния сыпучих материалов в сходящихся каналах и бункерах. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 3, С. 15-24.
45. Мирный А.Ю., 2019. Исследования дилатансии в дисперсных грунтах и методы ее количественной оценки. *Инженерная геология*, Т. 14, № 2, С. 34-43. DOI 10.25296/1993-5056-2019-14-2-34-43.
46. Малахов Г.М., Безух Р.В., Петренко П.Д., 1968. *Теория и практика выпуска руды*. Москва: Недра, 311 с.
47. Куликов В.В., 1980. *Выпуск руды*. Москва: Недра, 303 с.

References

1. Balek A.E., Kharisov T.F., 2021. Vyuavlenie geodinamicheski aktivnykh blokovykh struktur v massivakh gornykh porod [Identification of geodynamically active block structures in rock massifs]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5-2, P. 30-41. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_30.
2. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Kul'minskii A.S., 2011. Otrabotka podkar'ernykh zapasov trubki "Udachnaya" v slozhnykh klimaticheskikh, gorno- i gidrogeologicheskikh usloviyakh [Mining of the Udachnaya underground pipe reserves in difficult climatic, mining and hydrogeological conditions]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P. 63-66.
3. Nasyrov R.Sh., Tret'yak A.V., Neugomonov S.S., Mazhitov A.M., 2024. Razrabotka tekhnologii provedeniya i krepleniya gornoj vyrabotki v zone tektonicheski-oslablennykh porod [Development of technology for conducting and securing mining in a zone of tectonically weakened rocks]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, P. 126-130. DOI 10.30686/1609-9192-2024-3-126-130
4. Kharisov T.F., Sosnovskaya E.L., Avdeev A.N., Kharisova O.D., 2024. Kompleksnaya metodika vybora parametrov krepleniya podgotovitel'no-nareznykh vyrabotok [A comprehensive methodology for selecting the mounting parameters of preparatory rifling workings]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 1, P. 376-387.
5. Kaplunov D., Bekbergenov D., Djangulova G., 2018. Particularities of solving the problem of sustainable development of chromite underground mining at deep horizons by means of combined geotechnology. *E3S Web of Conference*, Vol. 56, 01015. DOI:10.1051/E3SCONF/20185601015
6. Bekbergenov D., Dzhangulova G., Abakanov A., Seidakhmetova Zh., 2019. Otsenka geotekhnicheskoi situatsii v zone vypusknnykh vyrabotok pri sisteme samoobrusheniya rudy dlya bezopasnogo i ustoichivogo razvitiya dobychi khromitov na glubokikh gorizon-takh shakht DonGOKa [Assessment of the geotechnical situation in the area of the final workings by the ore self-caving system for the safe and sustainable development of chromite mining in the deep horizons of the DonGOK mines]. *Promyshlennost' Kazakhstana*, № 1, P. 57-59.
7. Yakovlev V.L., 2022. Osnovnye etapy i rezul'taty issledovaniy po razrabotke metodologicheskikh osnov strategii razvitiya gornotekhnicheskikh sistem pri osvoenii glubokozalegayushchikh mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh [The main stages and results of research on the development of the methodological foundations of the strategy for the development of mining engineering systems in the exploitation of deep-lying deposits of solid minerals]. *Gornaya promyshlennost'*, № S1, P. 34-45. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45.
8. Yakovlev V.L., 2023. Obsuzhdenie nazrevshei problemy osobennosti sovremennogo perioda issledovaniy po problemam kompleksnogo osvoeniya nedr i razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy Rossii [Discussion of the urgent problem at the modern period of research on the problems of integrated development of mineral resources and the development

of the mineral resource base of Russia]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №3(38), P. 21-34. DOI 10.25635/2313-1586.2023.03.021.

9. Smirnov A.A., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2025. Utochnenie metodiki rascheta pokazatelei izvlecheniya s uchetom uvelichennogo rasstoyaniya mezhdu vyrabotkami vypuska rudy [Refinement of the methodology for calculating extraction rates, taking into account the increased gap between ore output levels]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, №1, P. 611-625. EDN ETRQGO.

10. Eremenko A.A., Eremenko V.A., Gaidin A.P., 2008. Sovershenstvovanie geotekhnologii osvoeniya zhelezorudnykh udaropasnykh mestorozhdenii v usloviyakh deistviya prirodnykh i tekhnogennykh faktorov [The improvement of geotechnology for the development of iron ore high-impact deposits under the influence of natural and man-made factors]. Novosibirsk: Nauka, 312 p.

11. Slavikovskii O.V., 2015. Importozameshchayushchaya tekhnika i tekhnologiya dlya rudnykh shakht . [Import-substituting machinery and technology for ore mine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 7, P. 24-27.

12. Vlasov V.N., Klishin V.I., 2004. Sposoby razrabotki mestorozhdenii s obrusheniem i odnovremennym dozirovannym vibrovypuskom rudy pod pokryvayushchimi porodami [Methods of mining deposits with collapse and simultaneous metered vibratory discharge of ore under the covering rocks]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 7, P. 248-254.

13. Savich I.N., Mustafin V.I., Savich A.O., 2024. Etazhnoe obrushenie s gravitatsionnym peremeshcheniem rudnoi massy pri vibratsionnom vypuske iz priemnykh voronok dnishcha bloka [Floor collapse with gravitational displacement of the ore mass during vibrational release from the receiving funnels of the block bottom]. *Gornyi zhurnal*, № 10, P. 68-71. DOI 10.17580/gzh.2024.10.09.

14. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., 2013. Ratsional'naya konstruktsiya transheinogo dnishcha dlya vypuska rudy pri otrabotke perekhodnoi zony podzemnogo rudnika "Udachnyi" [Rational design of the trench bottom for ore release during the development of the transition zone of the Udachny underground mine]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 1, P. 106-117.

15. Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., Klyuev M.V., 2020. Obzor kombinirovannykh sistem podzemnoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii [Overview of combined underground mining systems of ore deposits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3(26), P. 5-22. DOI 10.25635/2313-1586.2020.03.005. EDN NADOCF.

16. Savich I.N., Bekbergenov D.K., Nasyrov R.Sh., Dzhangulova G.K., 2022. Perspektivy primeneniya sistem s samoobrusheniem rudy pri iskusstvennom dnishche blokov na glubokikh gorizontakh Donskogo khromitovogo rudnika [Prospects for the application of systems with self-caving of ore in artificial block bottoms in the deep horizons of the Don chromite mine]. *Gornyi zhurnal*, № 2, P. 35-40. DOI 10.17580/gzh.2022.02.06.

17. Nasyrov R.Sh., Tret'yak A.V., Neugomonov S.S., Mazhitov A.M., 2024. Tekhnologicheskie resheniya adaptatsii sistemy razrabotki s blochnym samoobrusheniem dlya uslovii rudnykh tel Donskogo GOKa . [Technological solutions for adapting the block self-caving mining system to the conditions of the ore bodies of the Donskoy GOK]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 4, P. 60-68. DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68.

18. Zhang Z.X., 2023. Lost-ore mining—A supplementary mining method to sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 168, P. 105420. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105420.

19. Solodyankin S.S., Bugaets P.V., Kublikov S.N., 2017. Osobennosti skvazhinnoi otboiki i napravleniya razvitiya burovzryvnykh rabot na shakhte im. Gubkina [The specifics of downhole drilling and the directions of development of drilling and blasting operations at the Gubkin mine]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5(135), P. 74-76.

20. Uchitel' A.D., Gushchin V.V., 1981. Vibratsionnyi vypusk gornoj massy [Vibrational release of rock mass]. Moscow: Nedra, 232 s.
21. Vakulov Yu.V., 1999. Primenenie vibrovypuska rudy v otechestvennoi gornorudnoi praktike [Use of vibratory ore release in domestic mining practice]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 7, P. 109-110.
22. Khartovich Yu.I., Isakov V.A., 1974. Vibratsionnyi vypusk rudy [Vibrating ore release]. Alma-Ata: Nauka, 126 p.
23. Babayants G.M., Vertleib L.K., Zhurin N.Ya., 1988. Podzemnaya razrabotka zhelezistykh kvartsitov [Underground mining of ferruginous quartzites]. Moscow: Nedra, 168 p.
24. Kopytov A.I., Masaev Yu.A., 2016. Metodicheskie osnovy dlya vybora effektivnoi geotekhnologii razrabotki opasnykh po gornym udaram zhelezorudnykh mestorozhdenii Kuzbassa [Methodological foundations for the selection of effective geotechnology for the development of mining-hazardous iron ore deposits in Kuzbass]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti, № 3, P. 28-36.
25. Kavarma I.I., 1984. Nauchno-tehnicheskie osnovy protsessov i sozdanie kompleksov vibrovypuska – konveiernoi dostavki rudy [Scientific and technical foundations of processes and the construction of complexes for vibratory discharge and conveyor delivery of ore]: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.06 . Krivoi Rog, 343 s.
26. Filippov P.A., 2012. Razrabotka i nauchnoe obosnovanie geotekhnologii dobychi zheleznykh rud pri osvoenii prirodnykh i tekhnogennykh mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri [Development and scientific substantiation of geo-technologies for iron ore mining in the development of natural and man-made deposits in Western Siberia]: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 25.00.22. Novosibirsk, 256 p.
27. Saprykin A.N., Tomaev V.K., 2005. Kombinat "KMAruda" v novom tysyacheletii [The KMAruda plant in the new millennium]. Gornaya promyshlennost', № 2(60), P. 4-8.
28. Iofin S.L., Shkarpetin V.V., Sergeev V.E., 1979. Potochnaya tekhnologiya podzemnoi dobychi krepkiykh rud [On-line technology of underground mining of hard ores]. Moscow: Nedra, 278 p.
29. Imenitov V.R., Abramov V.F., Khutsishvili V.G., Blaev B.Kh., Pustovalov A.I., 1981. Primenenie vibrovypuska na rudnike "Molibden" [Use of vibration release at the Molybdenum mine]. Gornyi zhurnal, № 2, P. 29-31.
30. Belousov V.V., Abrashitov A.Yu., Sakharov A.N., 2014. Sostoyanie i perspektivy razvitiya podzemnoi razrabotki glubokozalegayushchikh mestorozhdenii apatit-nefelinovykh rud Khibinskogo massiva [State and prospects of development of underground mining of deep-lying deposits of apatite-nepheline ores of the Khibiny massif]. Gornyi zhurnal, № 10. P. 28-33.
31. Balek A.E., Kharisov T.F., Sosnovskaya E.L., Kharisova O.D., 2022. Vliyanie posledovatel'nosti vyemki obosoblennogo rudnogo bloka na ustoychivost' podgotovitel'no-nareznykh vyrabotok [The effect of the sequence of excavation of a separate ore block on the stability of preparatory rifling workings]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 4, P. 320-334.
32. Balek A.E., Kharisov T.F., Avdeev A.N., Kharisova O.D., 2023. Obosnovanie optimal'nogo poryadka otrabotki rudnoi zalezhi v usloviyakh vysokikh napryazhenii i nizkoi prochnosti massiva [Substantiation of the optimal procedure for mining an ore deposit under conditions of high stresses and low strength of the massif]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 3, P. 55-65. DOI 10.21440/0536-1028-2023-3-55-65.
33. Laubscher D.H., 1990. A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock mass in Mine Design. *Journal of South Africa Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 90, No. 10, P. 257-273.
34. Morales D., Castro R., Gomez R., 2024. A Methodology to Determine Undercutting Height in Block/Panel Caving. *Mining*, Vol. 4(2), P. 417-428. DOI 10.3390/mining4020024

35. Vasquez P., Díaz-Salas J., Barindelli G., 2023. Lecciones aprendidas, colapsos MB N01S02, Chuquicamata Subterránea. *In 1o Congreso Chileno Mecánica de Rocas. Universidad de Santiago de Chile: Santiago, Chile*, pp. 940–947.
36. Tishkov M., 2018. Evaluation of caving as mining method for the Udachnaya underground diamond mine project. *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Australian Centre for Geomechanics*, pp. 835-846. DOI 10.36487/ACG_rep/1815_66_Tishkov
37. Zhang Ju., Zhou Z., Zhang Ji., Liu Yi., Liu Ya., 2023. Two-Stage Caving Characteristics of Complex Irregular Goaf: A Case Study in China. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 4, P. 1-16. DOI 10.1155/2023/7471721
38. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Baranovskii K.V., 2023. Parametrizatsiya tekhnologii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya rudy pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii [Parameterization of the technology for reducing damage from over-grinding of ore during subsurface mining]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5, P. 78-82. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5-78-82. EDN UYCLRI.
39. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Baranovskii K.V., Solomein Yu.M., 2025. Izyskanie napravlenii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya metallicheskih rud pri sistemakh razrabotki s obrusheniem [Finding ways to reduce damage from the over-grinding of metallic ores in mining systems with collapse caving]. *Vzryvnoe delo*, № 146-103, P. 70-88. EDN AOXPYQ.
40. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Antipin Yu.G., 2023. Metodicheskii podkhod k obosnovaniyu tekhnologii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya rudy pri podzemnoi razrabotke [Methodological approach to substantiating technologies for reducing damage from ore over-grinding during underground mining]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, P. 352-367. EDN NFGXWZ.
41. Rozhkov A.A., 2021. Sistematizatsiya sposobov snizheniya poter' rudnoi melochi pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii [Systematization of ways to reduce the loss of ore fines during underground mining]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3(30), P. 16-28. DOI 10.25635/2313-1586.2021.03.016. EDN LPADUR.
42. Issledovanie i vnedrenie vysokoeffektivnoi tekhnologii podzemnoi razrabotki Donskikh khromitovykh mestorozhdenii (shakhta Molodezhnaya) [Research and implementation of highly efficient technology for underground mining of the Don chromite deposits (Molozhnaya mine)]. 1987. IGD MChM SSSR, Sverdlovsk, Otchet o NIR: Ruk. Bolkisev V.S., 50 p.
43. Dubynin N.G., Khramtsov V.F., 1970. Upravlenie vypuskom rudy pri podzemnoi razrabotke [Ore release management in underground mining]. *Novosibirsk: IGD SO AN SSSR*, 119 p.
44. Stazhevskii S.B., 1986. Ob osobennostyakh napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya sypuchikh materialov v skhodyashchikhsya kanalakh i bunkerakh [On the features of the stress-strain state of bulk materials in converging channels and bunkers]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 3, P. 15-24.
45. Mirnyi A.Yu., 2019. Issledovaniya dilatatsii v dispersnykh gruntakh i metody ee kolichestvennoi otsenki [Studies of dilatation in dispersed soils and methods of its quantitative assessment]. *Inzhenernaya geologiya*, Vol. 14, № 2, P. 34-43. DOI 10.25296/1993-5056-2019-14-2-34-43.
46. Malakhov G.M., Bezukh R.V., Petrenko P.D., 1968. *Teoriya i praktika vypuska rudy* [Theory and practice of ore production]. Moscow: Nedra, 311 p.
47. Kulikov V.V., 1980. *Vypusk rudy* [Ore release]. Moscow: Nedra, 303 p.