

Технологические решения адаптации системы разработки с блочным самообрушением для условий рудных тел Донского ГОКа

Насыров Р. Ш.¹, Третьяк А. В.², Неугомонов С. С.³, Мажитов А. М.^{3*}

¹ Шахта им. «10-летия независимости Казахстана», Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Казахстан

² Научно-инженерный центр Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Казахстан

³ Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

*e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

Реферат

Цель работы заключается в разработке и обосновании технологических решений по адаптации конструктивных параметров системы разработки с этажным самообрушением к горно-геологическим и горнотехническим условиям эксплуатируемых месторождений Донского ГОКа.

Методология исследования определена спецификой применения системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород при подземной разработке месторождений, в частности с блочным самообрушением, обуславливающая необходимость строгого регулирования потока обрушенной рудной массы. При этом на эффективность выпуска влияют разные факторы: гранулометрический состав обрушенной рудной массы и блочность массива, ее влажность, расстояние между выпускными выработками, их расположение и размеры. В статье рассмотрено влияние представленных факторов для условий отработки рудных тел Донского ГОКа.

Результаты работы. Приведены результаты производственных экспериментов и установлено, что для развития процесса самообрушения необходимы достаточные площадные размеры подсечного пространства при заданных плотности обрушаемого массива и расположении выпускных дучек, а также регулярном выпуске рудной массы. Нарушение режима выпуска рудной массы приводит к снижению эффективности применяемой системы разработки и заключается в низкой производительности очистного блока, высоком выходе негабаритов и закупорке выпускных выработок, куполообразовании при смещении эллипсоида выпуска в более разрыхленный массив, разрушении крепи выработок выпускного горизонта. Все это, в конечном итоге, приводит к образованию сверхнормативных показателей потерь и разубоживания, а также отсутствию технологической возможности извлечения подготовленных запасов добычного блока.

Выводы. Эффективность применения системы разработки с блочным самообрушением определяется также морфологией рудного тела. При сложной морфологии и нечетком контакте руды с породой, особенно в лежачем боку залежи, значительно ухудшаются показатели извлечения, что приводит к увеличению объема подготовительно-нарезных выработок при формировании горизонта выпуска. Изменение расположения подготовительно-нарезных выработок способствовало повышению эффективности очистных работ и улучшению качественных показателей выпуска.

Ключевые слова: блочное самообрушение; показатели выпуска руды; режим выпуска; выпуск рудной массы; конструкция горизонта выпуска; параметры системы разработки.

Введение. Основной системой разработки рудных тел месторождений Донского горно-обогатительного комбината в настоящее время является блочное самообрушение со скреперной доставкой. Сущность применяемой системы разработки заключается в создании условий самообрушения за счет подсечки блока и самотечного выпуска руды под собственным весом. Для повышения эффективности принятой системы разработки определяются условия ее применения: склонность рудного и породного массивов к самообрушению, а также выдержанная морфология рудных тел. Склонность горного массива к самообрушению определяется непрерывным движением кусков породы, слагающих массив, под собственным весом до полного заполнения пустот, образовавшихся при подсечке и выпуске. Продолжающийся процесс выпуска провоцирует дальнейшее движение налегающего массива и развитие обрушения. Факторы, влияющие на склонность пород к обрушению [1–3]:

- устойчивость массива горных пород;
- тектонические нарушения в совокупности с высокой трещиноватостью горного массива;
- ориентация и величина напряжений в массиве;
- морфология рудного тела, определяющая площадь горизонта выпуска.

Методология проведения исследований. Основным параметром, определяющим взаимосвязь между размерами выпускных выработок и обрушаемостью массива, является гидравлический радиус (HR) [4–6]. На Донском ГОКе приняты следующие параметры горизонта выпуска. Расстояние между выпускными дучками, используемое в текущих скреперных схемах, составляет 12×5 м. Такое расстояние получено опытным путем и является наиболее эффективным. По результатам проведенных опытно-промышленных исследований установлено:

- для инициирования процесса самообрушения необходимы достаточные площади подсечки, составляющие не менее 600 м^2 ; горизонтальные размеры блока составляют 30×20 м, при этом расчетная возможная высота самообрушения (свод) составит не более 40 м;
- для обеспечения регулярного полноценного развития процесса самообрушения необходимы достаточные площадные размеры не менее 1500 м^2 (30×50 м), при этом расчетная возможная высота самообрушения на этой площади составит не более 60 м.

Эффективность применения системы разработки с блочным самообрушением определяется также морфологией рудного тела. При сложной морфологии и нечетком контакте руды с породой, особенно в лежачем боку залежи, ухудшаются показатели извлечения, что приводит к увеличению объема подготовительно-нарезных работ при формировании горизонта выпуска.

Также необходимо отметить следующие негативные горнотехнические факторы, ограничивающие эффективность применения данной системы разработки [7–11].

На первом этапе ведения очистных работ массив, за счет возникающих в нем напряжений, испытывает две стадии деформирования: сначала упругоэластического характера, а затем неупругого деформирования. Указанные процессы деформирования наиболее интенсивно формируются вблизи контакта руда–порода, а также на участках, имеющих естественные геотектонические нарушения. Затем происходит интенсивное развитие деформационных процессов и вовлечение контурных участков массива за счет влияния очистного пространства или зоны опорного давления (рис. 1). При этом отмечается, что неупругое деформирование породного массива развивается даже при низких напряжениях в массиве, еще не достигших половины предела прочности пород на одноосное сжатие. Категория

нарушенности (модуль трещиноватости) массива является доминирующим фактором в процессе формирования и развития неупругих деформаций в массиве, подверженном влиянию очистных работ.

Применение пассивной двухслойной арочной податливой крепи с забутовкой межрамного пространства лесом – еще один негативный фактор. Такая крепь, обладая повышенными амортизационными характеристиками, способна на некоторый период времени (в практике – от 4 до 7 мес) противостоять постоянно усиливающимся смещениям в приконтурном массиве. Проблема устойчивости откаточных выработок, расположенных в зоне проявления опорного давления, является в настоящее время на подземных рудниках самой актуальной. В связи с преждевременной деформацией крепи и следующими за этим неоднократными перекреплениями откаточных выработок снижается производительность выемочной единицы, и для поддержания ее на плановом уровне необходимо увеличение площади выпуска, что усложняет своевременное поддержание горных выработок. В настоящее время откаточные выработки, уже попавшие в зону влияния опорного давления, по истечении указанного срока деформируются, и выработка подлежит перекреплению. На рис. 1 показаны деформации, изгиб и излом стоек крепи, образовавшихся в течении 2–3 мес. При этом наблюдается потеря сечения выработки на 60 %, крепь фактически неработоспособна.



Рисунок 1. Деформации крепи горной выработки
Figure 1. Mine support deformation

Третий фактор, ограничивающий эффективность принятой системы разработки, – преобладание ручного труда практически во всех операциях (основных и вспомогательных) производственного технологического процесса, что приводит не только к снижению производительности труда, но и к риску возникновения нарушений по технике безопасности.

Анализ положительной практики применения системы разработки с блочным самообрушением (более чем за 20 лет) позволил сформулировать некоторые требования и рекомендации [12–15]. Современный метод проходки горных выработок с применением активной крепи и торкретирования (иначе известный как NATM – New Australian Tunneling Method) обеспечивает стабильные профили и удовлетворительные темпы продвижения проходки. Это показывает, что изменение технологии проходки и крепления горных выработок в существующих условиях может значительно повысить эффективность и стать заменой традиционной податливой арочной крепи. Так, например, при отработке оставшихся запасов шахты им. «10-летия независимости Казахстана» («ДНК») проектом предусмотрено

применение системы разработки с механизированным блочным обрушением (MBC – mechanized block collapse) с применением комбинированной крепи горных выработок горизонта выпуска.

Анализ работы горнодобывающих предприятий показал, что существуют три предприятия, активно применяющие механизированное блочное обрушение, которые по горно-геологическим условиям являются полными прототипами месторождений Донского ГОКа. Единственная особенность рудников – применение гравитационного немеханизированного обрушения с последующим переходом к механизированным методам. Все три рудника отличаются наилучшими горно-геологическими условиями.

Henderson Climax – выпуск руды велся на грохот за счет собственного веса обрушенной рудной массы, со временем был произведен переход на скреперную доставку. Последним этапом стало внедрение самоходной техники и выпуск руды по схеме «елочка». Горно-геологические условия месторождения являются умеренными, а грансостав материала в породных блоках достаточно мелкозернистый. Находясь в относительно слабой породе, схема добычных горизонтов для механизированного обрушения требовала возведения арок в выпускных дучках, представлявших собой тяжелые стальные арки с монолитным бетоном.

Salvador La Inca – первый рудник, применяющий блочное самообрушение, на котором использовались погрузочно-доставочные машины. Следуя аналогичному пути развития, Salvador перешел на механизированную систему для добычи переходной первичной руды, которая является относительно слабой и фрагментированной.

Premier и другие рудники De Beers (теперь Petra). На руднике Premier используется современный добычный горизонт с предварительной подсечкой. Причиной рассмотрения рудников De Beers в качестве прототипов является то, что кимберлиты – очень сложный тип пород, склонный к набуханию, повторному уплотнению и обрушению обводненной рудной массы с очень сложными горно-геологическими условиями.

Результаты. Главным фактором, влияющим на схему механизированного блочного обрушения, является баланс между обеспечением достаточной плотности и распределением выпускных дучек, обслуживаемых погрузочно-доставочными машинами (ПДМ), без выемки слишком большого объема целиков, которое ставит под угрозу устойчивость добычного горизонта. Параметры схемы добычного горизонта определяются балансом между условиями породного массива и эксплуатационных факторов. Существуют две общепринятые схемы механизации добычи от штреков до выпускных воронок – Henderson и Teniente. Между этими двумя схемами с точки зрения механики горных пород нет существенной разницы, поскольку процентная разница извлечения породы из целика составляет 2 %. Имеются влияющие факторы, например, лучшая устойчивость конусов или усиление зон обрушения. Проект шахты «ДНК» реализован по второму принципу (рис. 2) производственной схемы рудников Henderson и Salvador, с учетом сложных горно-геологических условий и существующих схем подготовки с расположением штреков на расстоянии 24 м друг от друга. Следуя опыту рудника Henderson, обычной практикой при проектировании стало обеспечение достаточного вертикального пространства, расположенного ниже добычного горизонта, для обеспечения возможности организации восстановительного горизонта в качестве корректирующей меры в случае массового обрушения выпускных воронок, которое до сегодняшнего дня произошло лишь однажды.

Как правило, расположение добычных горизонтов, являющихся выемочной единицей по системе разработки, определяется формой рудного тела и минимальными эксплуатационными затратами. В рамках общей концепции вмещающие породы прочнее, чем руда, и может иметь смысл перенос добычного этажа на более низкий горизонт для размещения выработки в (более прочной) пустой породе, при условии, что отдельная выемка пустой породы и общая экономика оправдывают этот подход. Взаимодействие границ смежных блоков обрушения может потребовать наложения и, следовательно, определения последовательности отработки. Все такие детали разумно рассматриваются на стадии проектирования последовательности и динамики отработки, с учетом существующих геологических и геотехнических условий. Взаимодействие между зонами выпуска также зависит от высоты выпуска и высоты подсечки, а также формы выпускных воронок

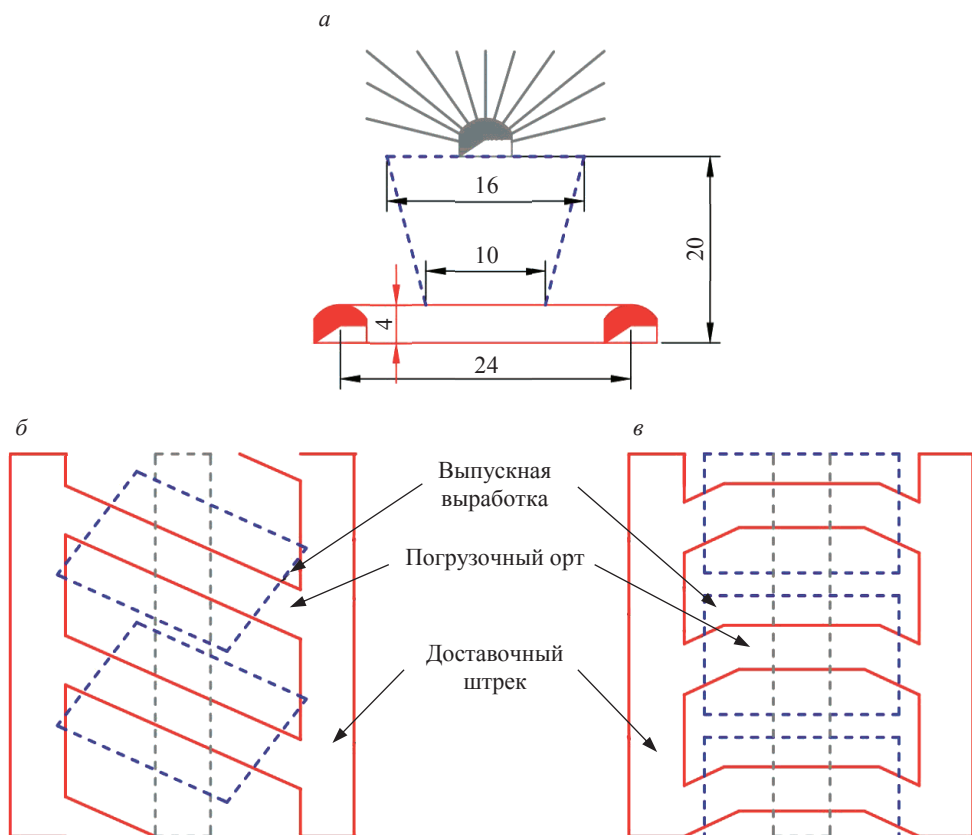


Рисунок 2. Схема расположения подготовительно-нарезных и выпускных выработок: *a* – вертикальный разрез выемочного блока; *б, в* – планы горизонта выпуска

Figure 2. Layout of preparatory and development workings and drawpoints: *a* – vertical section of the mine block; *б, в* – drawing horizon plans

вершины свода обрушения. На практике влияние прогноза дробимости породы на геометрию схемы обрушения является лишь очень приблизительным ориентиром. В итоге вся схема добычи рассчитана на весь срок эксплуатации рудника, но профиль дробимости породы может сильно различаться по мере развития обрушения. Предложенное расстояние между штреками (24 м на шахте «ДНК»), соответствует первым схемам механизированной добычи на рудниках Henderson

и Salvador) даст расстояние между выпускными дучками 12 м, что, в свою очередь, обеспечивает адекватное взаимодействие между зонами выпуска для мелко- и среднедробленых пород (как было определено анализом дробимости ранее). Это обеспечит ширину вершины свода обрушения (целика над производственными штреками) менее 14 м, что является достаточно низким показателем. Тенденция заключается в увеличении интервала между выпускными дучками с контролем того, что небольшое увеличение расстояния между ними не оказывает существенного влияния на общие характеристики потока, но позволяет экономить на строительстве и сохранить дополнительную прочность в целике [16]. Помня об этой тенденции, возможно, что при дальнейшем изучении и улучшении знаний о горно-геологических условиях проект шахты «ДНК» перейдет на схему 15×15 м. Текущее расстояние 12×15 м считается умеренно консервативным, соответствует расстоянию, принятому другими предприятиями, внедрившими механизацию в прошлом. Схема с более близким расположением по сравнению со стандартным 15×15 м приводит к увеличению стоимости строительства на 20 %.

Немаловажным фактором при проведении оценки эффективности применения схемы механизированного блочного обрушения является низкий показатель разубоживания, характерного для всех методов крупномасштабной добычи. Выпуск рудной массы должен быть регулярным и контролироваться как по горизонтали, так и по вертикали, таким образом, чтобы обрушение в выработке развивалось в эллипсоидальной форме [17–19]. Чрезмерный выпуск из одной или нескольких выпускных дучек или консервация заблокированных выпускных дучек могут очень быстро стать препятствием для обрушения, что приведет к преждевременному разубоживанию или к зависанию породы с риском возникновения последующей ударно-воздушной волны. Правильное планирование последовательности и динамики очистной выемки обеспечивает почти полное извлечение с ограниченным разубоживанием. Важно понимать, что последовательность и динамика производства очистных работ представляют собой наиболее важный фактор, контролирующий достижимую производительность.

Выводы. Необходимо отметить, что основными преимуществами применения системы механизированного блочного обрушения являются:

- относительно низкая себестоимость добычи;
- высокая производительность (до 60 тыс. т руды в сутки).

Применение МВС позволит не только полностью механизировать основные производственные процессы (проходка, крепление, выпуск, ремонт горных выработок и т. д.), но и в перспективе последовательно перейти к полной автоматизации технологических процессов с созданием так называемой системы «умный рудник». Своевременный переход на блочное обрушение позволит снизить капитальные затраты на проведение горно-капитальных работ в результате увеличения высоты этажа с 80 до 300 м.

Переход на механизированное блочное обрушение в условиях месторождений Донского ГОКа является одним из главных условий обеспечения проектной производительности и комплексного использования недр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown E. Block caving geomechanics. Queensland: JKMRС, 2002. 515 p.
2. Ефремов Е. Ю., Дорохов Д. В. Оценка состояния и мониторинг процесса воронкообразования при подземной разработке системами с блочным обрушением // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 4. С. 170–178.
3. Сэнди М., Доусон Л. Система подземной разработки с самообрушением – тенденция перехода к крупным проектам и сопутствующие риски // Горнодобывающая промышленность в 21 веке:

вызовы и реальность: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», Мирный, 15–16 сентября 2021 года / под общ. ред. И. В. Зырянова, И. Ф. Бондаренко. М: Перо, 2022. С. 7–21.

4. Макаров П. В., Смолин И. Ю., Евтушенко Е. П., Трубицын А. А., Трубицына Н. В., Ворошилов С. П. Моделирование обрушения кровли над выработанным пространством // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11. № 1. С. 44–50.

5. Макаров П. В., Смолин И. Ю., Евтушенко Е. П., Трубицын А. А., Трубицына Н. В., Ворошилов С. П. Моделирование поведения геосреды при ведении горных работ // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2008. № 2. С. 18–30.

6. Макаров П. В., Смолин И. Ю., Евтушенко Е. П., Трубицын А. А., Трубицына Н. В., Ворошилов С. П. Сценарии эволюции горного массива над выработкой // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 1. С. 65–82.

7. Кузьмин Е. В., Стародумов А. В. Обоснование применения этажно-камерных систем разработки с подэтажной отбойкой и донным выпуском руды в условиях месторождений ОАО «ППГХО» // ГИАБ. 2014. № 7. С. 18–21.

8. Павленко С. В., Савич И. Н., Котов А. А. Управление выпуском руд под обрушенными породами // ГИАБ. 2022. № S6. С. 11–20.

9. Антипин Ю. Г., Рожков А. А., Барановский К. В. Обоснование параметров камерной системы разработки с оставлением неизвлекаемых целиков // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 4. С. 15–23. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-15-23

10. Shinkevich M. V. Wave-like character of rock pressure in a longwall face // Minerals and Mining Engineering. 2022. No. 5. P. 46–52. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-5-46-52

11. Цариковский В. В., Сиротюк С. В. Системы разработки крутопадающих залежей железных руд с самообрушением рудного массива // Горный вестник. 2013. № 96. С. 65–68.

12. Jakubec J., Page C., Harvey P. Mining method selection for diamond mines – challenges in the Arctic // Proceedings of MassMin Conference, Instituto de Ingenieros de Chile. Santiago: 2004. P. 363–368.

13. Jakubec J., Woodward R., Boggis B., Clark L., Lewis P. Underground diamond mining at Ekati and Diavik diamond mines // Proceedings of the 11th International Kimberlite Conference. Gaborone, 2017. DOI: 10.29173/ikc4009

14. Панжин А. А. Исследование возможности применения систем подземной разработки с обрушением месторождения хромитовых руд // Горный журнал. 2011. № 11. С. 45–48.

15. Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р. Технологии с самообрушением. Развитие и новые возможности // Горная промышленность. 2005. № 3(61). С. 36–39.

16. Матаев А. К., Абеуов Е. А., Зейтинова Ш. Б., Шэйке Н. К., Lozynskiy V. Исследование геомеханической ситуации в массиве горных пород в зоне влияния очистных работ в условиях шахты Хромтауского месторождения // Труды университета. 2023. № 3(92). С. 220–231. DOI: 10.52209/1609-1825_2023_3_220

17. Munro D. D. Incline caving as a massive mining method // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2013. Vol. 133. No. 7. P. 555–563.

18. Brzovic A., Villaescusa E. Rock mass characterization and assessment of block-forming geological discontinuities during caving of primary copper ore at the El Teniente mine, Chile // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007. Vol. 44. Iss. 4. P. 565–583. DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2006.09.010

19. Rock mechanics and engineering / edited by Xia-Ting Feng. London: CRC Press, 2017. 760 p.

Поступила в редакцию 8 апреля 2024 года

Сведения об авторах:

Насыров Равиль Шаукатович – начальник шахты им. «10-летия независимости Казахстана», Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»). E-mail: ravil.nasyrov@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8601-9831>

Третьяк Анатолий Викторович – начальник научно-инженерного центра Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»). E-mail: anatolij.tretyak@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0007-3819-8402>

Неугомонов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: neugomonov_ss@uer74.ru; <https://orcid.org/0009-0008-3007-2917>

Мажитов Артур Маратович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: artur.mazhitov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8219-4264>

Technological solutions for adapting the block caving mining method to the ore body conditions at Donskoy GOK

Ravil Sh. Nasyrov¹, Anatolii V. Tretiak², Sergei S. Neugomonov³, Artur M. Mazhitov^{3*}

¹ Mine named after the “10th Anniversary of Kazakhstan’s independence”, Donskoy GOK (branch of TNC Kazchrome JSC), city of Khromtay, Kazakhstan

² Engineering Research center of Donskoy GOK (branch of TNC Kazchrome JSC), city of Khromtay, Kazakhstan

³ G. I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract

Research objective is to develop and justify technological solutions for adapting the design parameters of the block caving mining method to the mining-geological and mining-engineering conditions of Donskoy GOK operated deposits.

Methods of research are determined by the specifics of the underground mining method with ore and host rock caving, in particular block caving, which necessitates strict regulation of the caved rock mass flow. Various factors influence the efficiency of production: the granulometric composition of the caved rock mass, blocky structure and humidity of the rock mass, the distance between the drawpoints, their location and size. The influence of these factors in the Donskoy GOK conditions is considered.

Research results. The data of industrial experiments are presented. It has been established that the development of the block caving process requires sufficient dimensions of the undercut space under a given density of the caved mass and the drawpoints location, as well as regular ore drawing. Violation of the ore drawing mode decreases the efficiency of the mining method used and consists in low productivity of the stope, high output of oversized material, drawpoints blockage, doming under the outlet ellipsoid displacement into a more loosened rock mass, and destruction of the drawpoint horizon support. It ultimately leads to excess loss and dilution, as well as the lack of technological capability to extract prepared reserves from the production block.

Conclusions. The effectiveness of the block caving mining method is determined by the ore body morphology as well. Complex morphology and unclear ore and rock contact, especially in the heading side of the deposit, decrease extraction rates significantly, which leads to an increased amount of preparatory and development workings when forming the drawing horizon. Changed location of the preparatory and development workings promoted the efficiency of stoping operations and improved the drawing quality indicators.

Keywords: block caving; ore drawing indicators; drawing mode; ore drawing; drawing horizon design; mining method parameters.

REFERENCES

1. Brown E. *Block caving geomechanics*. Queensland: JKMRC, 2002.
2. Efremov E. Iu., Dorokhov D. V. Determination of the surface collapse process phase caused by block caving mining. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020; 331(4): 170–178.
3. Sandy M., Dawson L. The underground mining methods of block caving – the trend of transition to large projects and the associated risks. In: Zyrianov I. V., Bondarenko I. F. (eds.) *Mining industry in the 21st century: challenges and reality: Proceedings of Internat. scient. and pract. conf. dedicated to the 60th anniversary of OJSC ALROSA’s Yakutniproalmaz research institute, Mirny, 15–16 September 2021*. Moscow: Pero Publishing; 2022. P. 7–21. (In Russ.)
4. Makarov P. V., Smolin I. Iu., Evtushenko E. P., Trubitsyn A. A., Trubitsyna N. V., Voroshilov S. P. Simulation of roof collapse of the worked-out area. *Fizicheskaiia mezomekhanika = Physical Mesomechanics*. 2008; 11(1): 44–50. (In Russ.)
5. Makarov P. V., Smolin I. Iu., Evtushenko E. P., Trubitsyn A. A., Trubitsyna N. V., Voroshilov S. P. Simulating the behavior of geological environment in course of mining. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti = Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2008; 2: 18–30. (In Russ.)
6. Makarov P. V., Smolin I. Iu., Evtushenko E. P., Trubitsyn A. A., Trubitsyna N. V., Voroshilov S. P. Evolution scenarios of the rock mass over the opening. *Fizicheskaiia mezomekhanika = Physical Mesomechanics*. 2009; 12(1): 65–82. (In Russ.)

7. Kuzmin E. V., Starodumov A. V. Justification of heading-and-stall method with sublevel breaking and bottom drawing of ore in mines of PIMCU JSC. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 7: 18–21. (In Russ.)
8. Pavlenko S. V., Savich I. N., Kotov A. A. Management of ore release under collapsed rocks. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2022; S6: 11–20. (In Russ.)
9. Antipin Iu. G., Rozhkov A. A., Baranovskii K. V. Substantiation of the parameters of open stoping mining method with abandonment of unrecoverable pillars. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 4: 15–23. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2021-4-15-23
10. Shinkevich M. V. Wave-like character of rock pressure in a longwall face. *Minerals and Mining Engineering*. 2022; 5: 46–52. Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2022-5-46-52
11. Tsarikovskii V. V., Sirotiuk S. V. A method of mining steep deposits of iron ore by block caving. *Gornyi vestnik = Mining Bulletin*. 2013; 96: 65–68. (In Russ.)
12. Jakubec J., Page C., Harvey P. Mining method selection for diamond mines – challenges in the Arctic. In: *Proceedings of MassMin Conference, Instituto de Ingenieros de Chile*. Santiago; 2004. P. 363–368.
13. Jakubec J., Woodward R., Boggis B., Clark L., Lewis P. Underground diamond mining at Ekati and Diavik diamond mines. In: *Proceedings of the 11th International Kimberlite Conference*. Gaborone, 2017. Available from: doi: 10.29173/ikc4009
14. Panzhin A. A. Research of possibility application of systems of an underground extraction chromite ore deposits with a caving. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2011; 11: 45–48. (In Russ.)
15. Kuzmin E. V., Uzbekova A. R. Technologies with block caving. Development and new opportunities. *Gornaia promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2005; 3(61): 36–39. (In Russ.)
16. Mataev A. K., Abeuov E. A., Zeitinova Sh. B., Sheike N. K., Lozynskiy V. Studying the geomechanical situation in the rock mass in the zone of influence of stoping works at Khromtau mine. *Trudy universiteta = University Proceedings*. 2023; 3(92): 220–231. Available from: doi: 10.52209/1609-1825_2023_3_220
17. Munro D. D. Incline caving as a massive mining method. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2013; 133(7): 555–563.
18. Brzovic A., Villaescusa E. Rock mass characterization and assessment of block-forming geological discontinuities during caving of primary copper ore at the El Teniente mine, Chile. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007; 44(4): 565–583. Available from: doi: 10.1016/j.ijrmmms.2006.09.010
19. Xia-Ting Feng (ed.) *Rock mechanics and engineering*. London: CRC Press, 2017.

Received 8 April 2024

Information about the authors:

Ravil Sh. Nasyrov – Head of the mine named after the “10th Anniversary of Kazakhstan’s independence”, Donskoy GOK (branch of TNC Kazchrome JSC). E-mail: ravil.nasyrov@erg.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8601-9831>

Anatolii V. Tretiak – Head of the Engineering Research center of Donskoy GOK (branch of TNC Kazchrome JSC). E-mail: anatolij.tretyak@erg.kz; <https://orcid.org/0009-0007-3819-8402>

Sergei S. Neugomonov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mineral Deposits Development, G. I. Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: neugomonov_ss@uer74.ru; <https://orcid.org/0009-0008-3007-2917>

Artur M. Mazhitov – DSc (Engineering), Associate Professor, professor of the Department of Mineral Deposits Development, G. I. Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: artur.mazhitov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8219-4264>

Для цитирования: Насыров Р. Ш., Третьяк А. В., Неугомонов С. С., Мажитов А. М. Технологические решения адаптации системы разработки с блочным самообрушением для условий рудных тел Донского ГОКа // Известия вузов. Горный журнал. 2024. № 4. С. 60–68. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68

For citation: Nasyrov R. Sh., Tretiak A. V., Neugomonov S. S., Mazhitov A. M. Technological solutions for adapting the block caving mining method to the ore body conditions at Donskoy GOK. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2024; 4: 60–68. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-60-68