

Повышение безопасности труда процессов очистных работ при разработке пологих маломощных рудных месторождений

А. Н. Любин

Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;
e-mail: a.lyubin@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-1309>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
03.02.2025;

получена
после доработки
10.03.2025;

принята
к публикации
17.03.2025

Ключевые слова:

пологие маломощные
рудные месторождения,
технология очистной
выемки, парные заходки,
процессы очистных
работ,
самоходное
технологическое
оборудование,
технично-экономический
анализ

Для цитирования

В работе рассматривается одна из острых проблем горнорудной промышленности – механизация процессов очистных работ при разработке пологих маломощных рудных месторождений. Применение мобильных комплексов самоходного технологического оборудования (СТО) с использованием традиционных схем очистной выемки ограничено требованием обеспечения ценности извлекаемых запасов, близкой по значению их балансовой ценности. В качестве технического решения этой задачи можно использовать раздельную (селективную) выемку рудной массы и породы. Для повышения эффективности такой технологии очистных работ рассмотрена селективная выемка парными заходками с подрывом вмещающих пород почвы во второй заходке. Рассмотренное техническое решение технологии разработки парными заходками характеризуется как самостоятельное направление совершенствования систем разработки пологих маломощных месторождений. Для условий рудника "Карнасурт" были рассчитаны затраты выполнения процессов отбойки и доставки рудной массы в каждом из двух рассматриваемых вариантов очистной выемки – с использованием СТО и переносного технологического оборудования (ПТО). При этом вариант с применением СТО рассмотрен с шириной первой заходки 3,5 и 7,0 м, а второй заходки в обоих случаях – 3,5 м. Анализ выполненных расчетов показал, что при очистной выемке парными заходками увеличение ширины первой заходки в два раза, без изменения ширины второй заходки, позволит сократить разницу между затратами процессов отбойки и доставки технологий с применением СТО и ПТО соответственно на 5 и 6 %.

Любин А. Н. Повышение безопасности труда процессов очистных работ при разработке пологих маломощных рудных месторождений. Вестник МГТУ. 2026. Т. 29, № 1. С. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-1-101-110>.

Increase of labor safety processes of underground mining during development of flat thin ore deposits

Alexander N. Lyubin

Mining Institute KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;
e-mail: a.lyubin@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-1309>

Article info

Received
03.02.2025;

received
in revised form
10.03.2025;

accepted
17.03.2025

Key words:

flat thin ore bodies,
technology of stoping
excavation, double cut,
processes of stoping
excavation,
self-propelled
technological equipment,
technical and economic
analysis

For citation

Abstract

The paper considers one of the acute problems of the mining industry – the mechanization of mining processes during the development of flat thin ore deposits. The use of mobile complexes of self-propelled technological equipment (SPTE) using traditional stoping excavation schemes is limited by the requirement to ensure the value of extracted reserves close to their balance value. As a technical solution to this problem, selective excavation of ore mass and rock can be used. To increase the efficiency of this mining technique, selective excavation by double-cut stoping with blasting of the soil waste rock in the second cut has been considered. The given technical solution of the mining technology by double-cut stoping is characterized as an independent direction for improving the mining methods of flat thin ore deposits. For the conditions of the Karnasurt mine, the cost of performing the processes of blasting and ore mass haulage in each of the two considered options for stoping excavation has been calculated. At the same time, the option using of the SPTE complex has been considered with the width of the first cut of 3.5 and 7.0 m, and the second cut in both cases – 3.5 m. An analysis of the calculations performed has shown that doubling the width of the first cut makes it possible to reduce the cost difference between the blasting and haulage processes in the compared variants by 5 and 6 %.

Lyubin, A. N. 2026. Increase of labor safety processes of underground mining during development of flat thin ore deposits. *Vestnik of MSTU*, 29(1), pp. 101–110. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-1-101-110>.

Введение

Развитие современной технологии подземной добычи руд в основном ориентировано на применение мобильных комплексов самоходного технологического оборудования (СТО), что позволяет существенно интенсифицировать горные работы и минимизировать объемы ручного труда. Применение подобной техники и технологии для разработки рудных месторождений от средней мощности и выше на строящихся и реконструируемых рудниках является глубоко изученным вопросом. Использование же переносного технологического оборудования (ПТО) с большим объемом тяжелого ручного труда в настоящее время сохраняется лишь при очистной выемке маломощных и тонких рудных тел со сложной морфологией и высоким содержанием полезных компонентов. В большинстве случаев содержание полезного компонента в разрабатываемых тонких и маломощных месторождениях значительно выше, чем в месторождениях, которые представлены мощными рудными телами. Например, отношение содержания полезного компонента в них составляет соответственно для олова 5 : 1, вольфрама – 3,2 : 1, молибдена – 2,2 : 1, драгоценных металлов – 2 : 1 (Михайлов и др., 2008; Чабан, 2022).

Поэтому достижение высоких показателей полноты и качества извлекаемых балансовых запасов и обеспечение высокой степени безопасных условий труда с минимальной себестоимостью добычи одной тонны руды при разработке такого типа месторождений является актуальной задачей.

Из анализа отечественного и зарубежного опыта разработки маломощных пологих рудных месторождений следует, что совершенствование технологии добычи и выполнение ее основных процессов происходит по следующим двум направлениям: выемка сплошным забоем, которая обеспечивает полноту извлечения полезного ископаемого, и раздельная (селективная) выемка руды и породы, при которой достигается качество добытой рудной массы. Каждое из этих направлений имеет свои достоинства и недостатки.

Выемка сплошным забоем в исполнении проще, чем селективная, и позволяет в определенных горно-геологических условиях использовать более мощное СТО, чем ПТО в очистных выработках и тем самым повысить производительность труда и снизить себестоимость добычи одной тонны рудной массы.

Селективная выемка является более сложной в организации производственного процесса, чем выемка сплошным забоем, так как возникает необходимость доставлять и транспортировать рудную массу и породу разными потоками. Эта технология добычи требует дополнительных затрат во всех вариантах систем разработки как с применением ПТО, так и СТО. Основным преимуществом применения СТО в этом случае является его высокая мобильность при выполнении всех технологических процессов очистных работ и возможность повысить вариативность конструктивных элементов в системах разработки с селективной выемкой балансовых запасов и вмещающих пород.

Следует заметить, что очистная выемка всех систем подземной разработки включает следующие технологические процессы: отбойка, доставка и управление горным давлением. В рассмотренных направлениях совершенствования технологии добычи полезных ископаемых пологих маломощных месторождений их можно выполнять как из очистного пространства, так и из нарезных выработок (Голик и др., 2018; Голик и др., 2019). При этом нарезные и очистные выработки по мере продвижения очистного забоя образуют единое пространство, в результате чего из нарезных выработок производится выполнение только процесса отбойки. Выполнение двух других процессов – доставка и управление непосредственной кровлей – производится в едином пространстве. В результате две части горнорабочих очистного забоя (ГРОЗ) выполняют процессы очистных работ в разных условиях. ГРОЗ процесса отбойки ведут работы из нарезной выработки и находятся в условиях небольшого пролета по кровле, которая при необходимости может быть закреплена анкерной крепью, что позволяет им находиться в относительно безопасных условиях. ГРОЗ процессов доставки и управления непосредственной кровлей ведут работы уже в очистном пространстве и, находясь в стесненном (ограниченном) пространстве, подвергаются опасности получить травмы разной степени тяжести, иногда даже со смертельным исходом, в результате отслоений и вывалов пород кровли. Такая же участь уготовлена взрывнику, который в силу необходимости вынужден заходить в зону произошедших обрушений для ликвидации негабарита из отслоившихся и вывалившихся пород кровли.

Таким образом, использование нарезных выработок для выполнения процессов очистных работ в условиях разработки пологих маломощных месторождений не позволяет избежать присутствия горнорабочих в очистном пространстве и является ошибочным представлением о создании безопасных условий труда в очистных забоях. При этом время пребывания ГРОЗ в опасной зоне не может рассматриваться как фактор, влияющий на безопасность ведения горных работ в очистных выработках, так как частота вывалов и отслоений пород кровли не происходит с заданной регулярностью, а происходит непредсказуемо, особенно в условиях динамически напряженного состояния массива. Все рекомендации по поддержанию кровли очистного пространства в стесненных условиях, которые успешно применяются, когда горнорабочий имеет возможность их выполнять в полный рост, здесь обретают повышенную опасность. Это является одной из весомых причин распространенности камерно-столбовой системы разработки пологих маломощных месторождений, так как естественное поддержание пород кровли в процессе продвижения фронта очистных работ в блоке позволяет предотвратить преждевременное расслоение и ослабление сцепления в замковой части трещиноватых пород кровли. Даже при таком преимуществе камерно-столбовой системы с позиций безопасности ведения

горных работ, по сравнению с другими (сплошной или с искусственным креплением), возникает необходимость крепить участки месторождения с неустойчивыми породами кровли анкерной крепью. Следовательно, все процессы очистных работ в этом случае ГРОЗ вынуждены выполнять, находясь в очистном пространстве, поэтому в конструктивных элементах систем разработки пологих маломощных и тонких месторождений в первую очередь необходимо предусмотреть создание безопасных и эргономичных условий труда для своевременного выполнения процесса крепления.

Цель работы – исследование влияния конструктивных элементов системы разработки и их параметров на показатели процессов отбойки и доставки при совершенствовании технологии очистной выемки парными заходками пологих маломощных рудных месторождений.

Совершенствование подземной технологии очистной выемки пологих маломощных рудных залежей на основе использования парных заходок

Существующие технические решения для повышения эффективности разработки (применение производительного самоходного оборудования, использование раздельной выемки рудной массы и вмещающих пород и их сортировку взрывом, создание относительно безопасных условий выполнения всех процессов очистных работ) можно успешно реализовать комбинированием селективной и валовой выемкой пологих маломощных месторождений.

Для исследования такого подхода к повышению эффективности разработки пологих маломощных месторождений был разработан способ отбойки, который предусматривал разнонаправленное взрывание рудного массива с подрыванием вмещающих пород почвы и размещением рудной и породной масс в разных зонах очистного пространства.

Экспериментальные работы с целью исследования процесса отбойки с селективной выемкой рудной массы и вмещающих пород почвы в заходке проводились на руднике "Умбозеро" (Ловозерский ГОК). Испытания включали серию опытов из девяти наблюдений, по результатам которых было установлено, что величина разубоживания при селективной отбойке руды и породы с их разнонаправленными взрывами за один прием, по сравнению с валовой выемкой, снизилась в 4,9 раза и составила 3,0 % (Любин и др., 1998).

В связи с остановкой работы рудника "Умбозеро" и последующей мокрой его консервацией в 90-е годы XX в. далее такие исследования не проводились.

В последующем испытанный вариант очистной выемки разработки был усовершенствован и дополнен другим техническим решением. В нем предусматривалось использовать комбинирование селективного и валового способов очистной выемки на базе конструктивного элемента системы разработки как парные заходки (рис.). На рисунке показана схема выемки балансовых запасов в очистной выработке парными заходками: 1, 2 – первая и вторая заходки в парной заходке соответственно; 3 – анкерная крепь; 4 – рудная залежь; 5 – ось выработки; 6 – контур технологического оборудования; 7, 8 – направление бурения в парной заходке соответственно в первой и второй заходках; 9, 10 – направление перемещения отбитой рудной массы энергией взрыва соответственно из первой и второй заходок; 11 – общее направление перемещения отбитой рудной массы энергией взрыва из парной заходки в смежную; S_1, S_2 – отбиваемая за цикл площадь рудной залежи в первой и второй заходках соответственно, m^2 ; $B_1 = l_{CK} \cdot \cos \alpha$ – ширина первой заходки, м; l_{CK} – длина скважины малого диаметра в первой заходке, м; α – угол падения рудной залежи, град; $B_2 = b_{mo} + 2\Delta_b$ – ширина второй заходки; b_{mo} – ширина самоходного технологического оборудования (СТО); Δ_b – минимальный размер зазоров между стенками траншеи и вертикальной плоскостью максимально выступающей части СТО; $h_{то}$ – высота СТО, м; Δ_h – минимальный размер зазоров между кровлей и горизонтальной плоскостью максимально выступающей части СТО, м.

Из анализа рисунка следует, что основная идея этого технического решения разработки маломощных пологих и наклонных рудных залежей заключается в том, что в первой заходке производится только очистная выемка полезного ископаемого, а во второй – очистная выемка с созданием траншеи для передвижения самоходных горных машин. Процесс отбойки руды в границах мощности месторождения в обеих заходках и вмещающих пород во второй заходке производится за один прием с раздельным размещением рудной массы и отбитых вмещающих пород. Рудная масса располагается в траншее предыдущей парной заходки, а вмещающие породы – в траншее смежной проводимой парной заходки, где вслед за продвижением забоя в кровле устанавливается анкерная крепь на участках месторождения с неустойчивыми породами кровли¹.

Рассмотренное техническое решение технологии разработки парными заходками характеризуется как самостоятельное направление совершенствования систем разработки пологих маломощных месторождений. В этом техническом решении отработка первой заходки производится только сплошным забоем в границах контура рудной залежи, а второй – с селективной выемкой полезного ископаемого в тех же контурах с подрывом пород почвы. Таким образом, сформировано комбинированное направление очистной выемки пологих маломощных месторождений, которое с увеличением мощности рудной залежи может легко трансформироваться в направление совершенствования технологии разработки парными заходками со сплошным

¹ Способ разработки маломощных пологих и наклонных рудных залежей : пат. № 2068092 Рос. Федерация / Любин А. Н., Боборыкин В. Н., Киреев Г. П., Ферулев Д. П. ; заявл. 26.06.89 ; опубл. 20.10.96, Бюл. № 29.

забоем и обратно в случае, когда происходит уменьшение ее мощности, т. е. повышается вариативность конструкции системы разработки сложно-структурных участков месторождения. Использование же высокопроизводительного самоходного оборудования для выполнения процессов очистных работ с минимальным разубоживанием отбиваемых объемов рудной массы и сокращения объемов извлечения пород позволит достичь экономического эффекта при использовании комбинированной очистной выемки пологих тонких и маломощных месторождений по сравнению с двумя другими направлениями, когда применяется только селективная или только валовая выемка. При этом дополнительный экономический эффект может быть получен при обогащении добытой рудной массы за счет снижения объемов ее переработки для получения одной тонны концентрата.

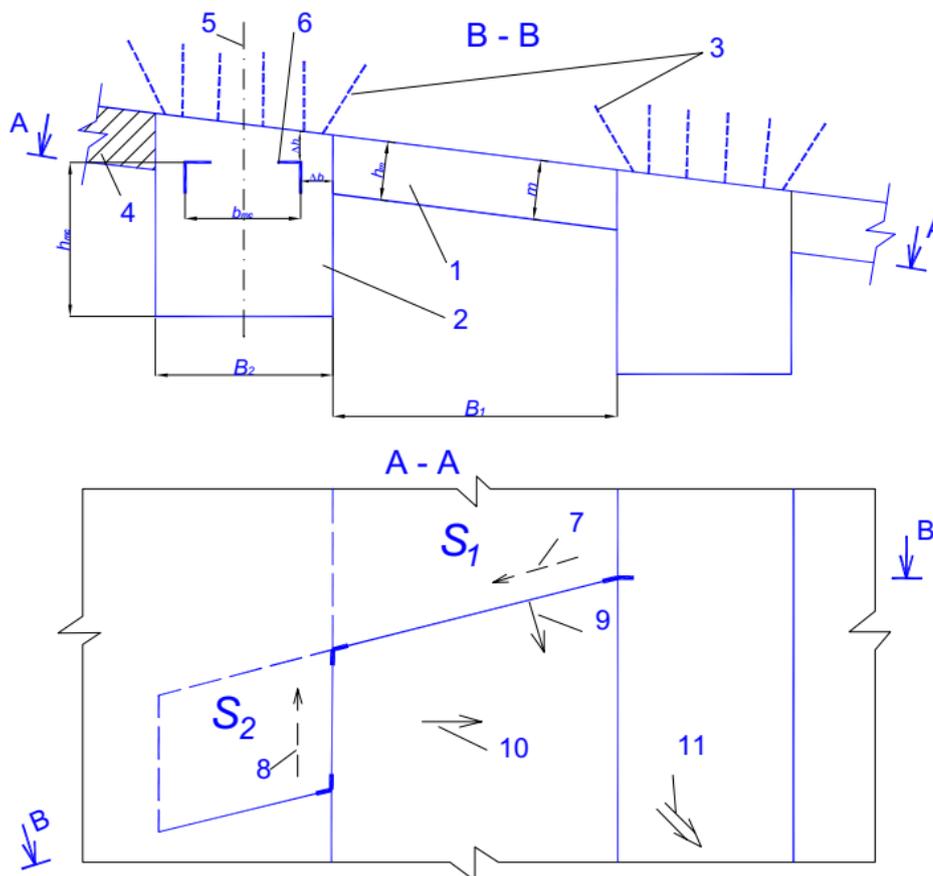


Рис. Схема выемки балансовых запасов в очистной выработке парными заходками
Fig. The scheme of excavation of balance reserves in the stope by double cut

Кроме того, своевременная установка анкерного крепления на участках месторождения с неустойчивыми породами кровли, расположенными вдоль траншеи, создает относительно комфортные и безопасные условия труда ГРОЗ для выполнения остальных процессов очистных работ.

Действующими нормами и правилами комфортная и безопасная высота горных выработок в местах передвижения горнорабочих должна быть не менее 1,8 м.

Дополнительная высота подрыва вмещающих пород почвы в траншее должна удовлетворять следующему неравенству:

$$\text{если } (h_{то} + \Delta_h + m/\cos\alpha) \geq (1,8), \text{ то } \Delta h_{ПП} = 0,$$

где m и α – мощность и угол падения рудной залежи, м и град; $h_{то}$ – высота технологического оборудования, м; Δ_h – минимальный размер зазоров между кровлей и горизонтальной плоскостью максимально выступающей части технологического оборудования, регламентированный нормами и правилами, м; $\Delta h_{ПП}$ – дополнительная высота подрыва вмещающих пород почвы в траншее.

Для оценки общей величины подрыва вмещающих пород почвы в траншее как конструктивного элемента системы разработки введем параметр – коэффициент подрыва вмещающих пород в парной заходке, который определяется как отношение площади подрываемой породы к площади отбиваемой руды в ней по направлению ее выемки. Это отношение можно представить в виде формулы

$$k_{ПП} = S_{ПЗ}/S_{РЗ}, \quad (1)$$

где $k_{ПП}$ – коэффициент подрыва вмещающих пород в парной заходке; $S_{ПЗ}$ и $S_{РЗ}$ – площади подрываемой породы и отбиваемой рудной массы в парной заходке соответственно, м².

В соответствии с конфигурацией сечения парной заходки на рисунке и параметрами образующих ее геометрических фигур, формулу (1) можно преобразовать

$$k_{\text{ПП}} = ((2 \cos \alpha \cdot (h_{\text{то}} + \Delta_h) + (b_{\text{то}} + 2\Delta_b) \cdot \sin \alpha - 2m) \cdot (b_{\text{то}} + 2\Delta_b)) / ((2m \cdot (b_{\text{то}} + 2\Delta_b) + (l_{\text{ск}} \cdot \cos \alpha)), \quad (2)$$

где α – угол падения рудной залежи, град; $h_{\text{то}}$ – высота технологического оборудования, м; Δ_h – минимальный размер зазоров между кровлей и горизонтальной плоскостью максимально выступающей части технологического оборудования; $b_{\text{то}}$ – ширина технологического оборудования; Δ_b – минимальный размер зазоров между стенками выработки и вертикальной плоскостью максимально выступающей части технологического оборудования; m – мощность рудной залежи; $l_{\text{ск}}$ – длина скважин малого диаметра, которыми разбуривают первую заходку, м.

Следует заметить, что в процессе преобразования выражений (1) в (2) высота очистного пространства в первой заходке принята равной высоте рудной залежи $m/\cos \alpha$, а значения законтурных разрушений в обеих заходках от взрыва заряда в шпурах или в скважинах малого диаметра на данном этапе исследований не рассматриваются.

Из анализа формулы (2) следует, что при использовании комплекса с заданными параметрами коэффициент подрыва вмещающих пород в парной заходке будет зависеть от горно-геологических условий месторождения (мощности m и угла падения α) рудной залежи и от ширины первой заходки. При этом происходит подрыв вмещающих пород почвы во второй заходке и все процессы очистных работ СТО выполняет из такой заходки во всех парных заходках.

В зависимости от выбранного СТО меняется сечение второй заходки и, как следствие, будет меняться значение коэффициента подрыва почвы. При использовании самоходной буровой каретки (СБК) МУКИ FF для различных горно-геологических условий были определены значения коэффициента подрыва почвы (табл. 1). Из таблицы видно, что с увеличением угла падения рудной залежи величина коэффициента подрыва почвы тоже растет, а с увеличением ее мощности – падает.

Таблица 1. Значения коэффициента подрыва пород почвы при различном сочетании угла падения и мощности рудной залежи (для МУКИ FF)

Table 1. The values of the coefficient of soil rocks' blasting with a different combination of the incidence angle and the thickness of the ore deposit (for the MUKI FF)

Угол падения, град	Параметры рудной залежи				
	Мощность рудной залежи, м				
	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9
10	1,558/1,036	0,941/0,626	0,609/0,406	0,402/0,267	0,260/0,173
15	1,641/1,095	0,998/0,686	0,652/0,435	0,436/0,291	0,288/0,192
20	1,743/1,151	1,070/0,703	0,707/0,462	0,481/0,312	0,325/0,209
25	1,782/1,202	1,092/0,737	0,721/0,480	0,489/0,330	0,330/0,222
30	1,840/1,251	1,129/0,768	0,747/0,508	0,508/0,345	0,344/0,234

Примечание. Значения в числителе и знаменателе соответствуют бурению скважин малого диаметра в первой заходке – 3,5 и 7,0 м.

Параметры первой заходки определяются устойчивостью пролета непосредственной кровли и точностью бурения скважин малого диаметра по заданному направлению. Из табл. 1 также видна обратно пропорциональная зависимость изменения коэффициента подрыва почвы от ширины первой заходки.

Для повышения точности настройки бурового станка по направлению бурения скважин и обеспечения параллельности их расположения в массиве была разработана конструкция станка КБУ-50ПТ и изготовлен опытный образец, испытания которого проводили на руднике "Карнасурт". Конструкция станка КБУ-50ПТ по сравнению со станком КБУ-50М включала две распорные колонны, расположенные в створе линии перемещения станка, по которым в вертикальной плоскости перемещалась подвижная траверса, а по ней в горизонтальной плоскости могла перемещаться каретка с податчиком и перфоратором (*Боборыкин и др., 1995*). Такая конструкция бурового станка позволяла с первой установки пробурить пять скважин, в дальнейшем, при перестановке станка, пятая скважина использовалась для его настройки по направлению их бурения. За счет более точного оконтуривания рудной залежи скважинами и лучшего обеспечения параллельности их расположения в массиве качество добытой рудной массы повысилось на 40 %. При этом длина зарядов выброса увеличилась в 2 раза, с 3,5 до 7 м.

В настоящее время мировой рынок представлен относительно широкой линейкой малогабаритных горных машин различного назначения². Самоходные буровые каретки (СБК) выпускаются для бурения

² URL: <http://balum.net/catalog/burenie-glubokikh-skvazhin/muki-22/> (дата обращения: 15.11.2024); <https://www.directindustry.com.ru/prod/resemin/product-139062-2085373.html> (дата обращения: 15.11.2024); <https://youtu.be/mdyQQm2Lwwc> (дата обращения: 15.11.2024); <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 15.11.2024).

шпуров диаметром от 33 до 75 мм как с фронтальным, так и веерным их расположением. При веерном расположении скважин малого диаметра максимальная глубина их бурения достигает 40 м. Малогабаритные погрузочно-доставочные машины (ПДМ) выпускаются, в основном, с емкостью ковша до 0,6 м³. Цена их на российском рынке в среднем составляет 100 и 9 млн руб. соответственно зарубежного и отечественного производства.

Для эффективного использования СБК в парных заходках необходимо, чтобы ее технические возможности позволяли бурить шпуров по направлению движения забоя парной заходки, а скважины малого диаметра – под любым углом к этому направлению. В этом случае одна СБК сможет разбивать массив для выполнения процессов отбойки и анкерного крепления. Доставку рудной массы и подрываемой породы может выполнять ПДМ любой модификации, размеры которой соответствуют сечению второй заходки.

Оценка и сравнительный анализ эффективности технологических процессов отбойки и доставки горной массы из очистных выработок при использовании комплекса СТО и ПТО для условий рудника "Карнасурт"

В настоящее время на Кольском полуострове производится добыча лопаритовых руд на участке Карнасурт Ловозерского месторождения. Действующий рудник с одноименным названием по камерно-столбовой системе разрабатывает две согласно залегающие рудные залежи со средним углом падения 10° – малинитовую и уртитовую, мощностью 0,7 и 1,0 м. При этом средняя фактическая выемочная мощность соответствует проектной и составляет 1,2 м. Некоторое время назад ее величина была равна 1,0 м.

Другие системы на руднике не применяются. В конце 70-х – начале 80-х годов прошлого века проводились испытания системы разработки с открытым очистным пространством и системы с магазинированием руды. В обоих классах испытанных систем разработки отбойку полезного ископаемого в очистных забоях производили скважинными зарядами малого диаметра. Кроме длины зарядов, параметры отбойки были одинаковыми как в применявшейся технологии разработки, так и в испытывавшихся классах систем разработки.

Согласно методике проведения опытных работ для изучения закономерностей формирования высоты очистного пространства при отбойке рудной залежи изменяли также и другие параметры отбойки – сетку расположения зарядов, расстояние между рядами и в ряду их расположения, расположение верхней границы рудной залежи относительно кровли выработки, из которой разбивали рудную залежь (табл. 2).

Таблица 2. Параметры процесса отбойки при проведении опытных работ
Table 2. The parameters of the process of rock destruction during experimental work

№	Наименование показателей	Ед. изм.	Значения	
			ПТО	СТО
1	Диаметр шпуров (скважины)	мм	42	42
2	Длина шпура (скважины)	м	до 4,5	до 15
3	ЛНС	м	0,5	0,5
4	Тип ВВ	–	Амм. 6ЖВ	Грам. М
5	Удельный расход ВВ при выемочной мощности 1 м	кг/т	2,3	2,3
6	Расположение зарядов в забое	–	"змейка"	"змейка"
7	Расстояние:	м	–	–
	– между рядами зарядов	–	0,7	0,7
	– между зарядами в ряду	–	0,5	0,5
8	Угол наклона зарядов к плоскости падения рудной залежи в ряду:	град	–	–
	– верхних	–	(+)4	(+)3
	– нижних	–	(-)4	(-)3
9	Угол наклона зарядов к плоскости забоя	град	–	–
	– верхних	–	75	75
	– нижних	–	75	75
10	Величина прирезки вмещающих пород при длине заряда до 5–7 м	м	0,1	0,1
11	Разубоживание при длине заряда до 5–7 м	%	8,5	8,5
12	Дальность перемещения отбитой рудной массы зарядами 1-го ряда	м	до 30	до 30
13	До 60 % объема отбитой рудной массы располагалось от плоскости забоя на расстоянии	м	до 10	до 10

Примечание. (+)4, (-)4 и (+)3, (-)3 – углы наклона для шпуров и скважин в вертикальной плоскости, (+) и (-) – наклон в сторону выше и ниже плоскости рудной залежи.

В табл. 2 по результатам выполненных исследований приведены рациональные параметры БВР во взаимосвязи с основными факторами, влияющими на прирезку вмещающих пород. При этом процессы очистных работ применяемой и испытываемой технологий выполнялись с использованием переносного оборудования.

Вопросы геомеханики тогда не исследовались из соображений, что люди будут выведены из очистного пространства, а как поведут себя породы кровли, уже никого не интересовало. Испытанные системы разработки не оправдали ожиданий – они были опасными и неэффективными. Было установлено, что сама идея использовать такой подход является тупиковой.

В данной статье предложено использовать новый идейный подход, на основе которого независимо от мощности разрабатываемого месторождения будут созданы относительно безопасные условия для выполнения горнорабочими в полный рост всех процессов очистных работ. Это будет достигаться созданием конструктивных элементов систем разработки, имеющих защищенные современными средствами от вывалов и отслоений пород кровли места, для выполнения всех процессов очистных работ, но уже на базе использования комплекса СТО.

Использование современных низкопрофильных моделей СТО в сочетании с инновационными решениями проблем разработки пологих маломощных рудных месторождений в горнотехнической литературе еще не рассматривалось. Исследование влияния параметров конструктивных элементов технических решений для повышения безопасности труда процессов очистных работ на их показатели эффективности, по мнению авторов современной учебной литературы, является важной научной задачей.

В связи с этим для условий рудника "Карнасурт" были выполнены расчеты себестоимости выполнения процессов отбойки и доставки рудной массы в каждом из двух вариантов очистной выемки – с использованием СТО и ПТО. При этом вариант с применением комплекса СТО был рассмотрен с разными параметрами первой заходки: 3,5 и 7,0 м, а второй заходки в обоих случаях – 3,5 м. Все расчеты были выполнены для выемочной мощности 1 м, так как на период проведения опытных работ она составляла 1 м.

Объемы в парной заходке с сочетанием в ней заходок с одинаковой и разной их шириной приведены в табл. 3.

Из анализа табл. 3 видно, что увеличение ширины первой заходки в два раза сопровождается увеличением в 1,5 раза объема извлекаемой рудной массы без увеличения объема подрываемых вмещающих пород.

Таблица 3. Соотношение извлекаемых объемов горной массы парными заходками за цикл при разной ширине первой заходки

Table 3. The ratio of extracted volumes of rock mass by double cut per cycle with different widths of the first cut

Значения ширины первой заходки	Единицы измерения	Извлекаемые объемы руды и породы в парной заходке		Итого
		первая заходка	вторая заходка	
3,5 м	м ³	12,25/0	12,25/11,53	24,5/11,53
7,0 м	м ³	24,5/0	12,25/11,53	36,75/11,53

Примечание. Числитель и знаменатель значения извлекаемых объемов соответственно руды и породы.

В качестве бурового оборудования комплекса СТО была выбрана СБК МУКИ FF, а доставочного оборудования – ПДМ ПД-1Э. Для зарядания шпуров и скважин рекомендовано использовать зарядную машину (ЗМ) Ульба-400 МИ, их характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика и показатели эксплуатационной производительности комплекса малогабаритного СТО для очистных работ

Table 4. Characteristics and performance indicators of the low-profile SPTE for stoping

№	Наименование характеристик	Ед. измер.	Комплекс СТО		
			СБК МУКИ FF	ПДМ ПД-1Э	Ульба-400 МИ
1	Мощность электродвигателя	кВт	15	30	129
2	Геометрические параметры:				
	– длина	м	8,33	5,29	2,07
	– ширина	м	1,05	1,00	1,00
	– высота	м	1,90	1,95	1,59
3	Емкость ковша	м ³	–	0,50	–
4	Масса	кг	7 380	2 950	1 700
5	Скорость передвижения	м/сек	2,5	1,06	2,01
6	Максимально преодолеваемый уклон	град	15	15	15
7	Длина электрического кабеля	м	100	100	–
8	Тип колесной базы	–	колесная	колесная	колесная
9	Эксплуатационная производительность по выходу горной массы при диаметре шпура 42 мм	т/ч	33,75	9,5	28,8
10	Диаметр бурения	мм	33–64	–	–

11	Глубина бурения	м	30	–	–
12	Зона бурения забоя	м ²	18,4	–	–
13	Стрела (вращение)	град	360		
14	Скорость бурения по породам крепостью 12–14 по шкале Протодяконова	м/ч	50	–	–
15	Тип заряжаемого ВВ	–	–	–	рассыпное
16	Стоимость СТО в ценах 2022 года	млн руб.	100	8,596	5,0
17	Страна-производитель	–	Китай	Россия	Россия

В комплексе СТО (табл. 4) использовано технологическое оборудование СБК иностранного производства, так как аналогичного технологического оборудования отечественного производства в настоящее время пока нет. При этом следует обратить внимание на разницу цены отечественного и зарубежного производства горного оборудования. Они друг от друга отличаются на порядок. Это может сдерживать поиск технических решений и накапливание опыта использования СТО в очистных забоях пологих маломощных месторождений. Кроме того, рудники, разрабатывающие месторождения подобного типа, проектировались под переносное оборудование, по этой причине схемы вскрытия и сечения выработок не всегда подходят для применения в них СТО, хотя бы для проведения опытно-промышленных работ. Проектные институты также не рассматривают варианты применения СТО в очистных забоях пологих маломощных месторождений, так как накоплено недостаточно информации для принятия надежных решений в новых проектах.

Для расчета затрат на выполнение процессов отбойки и доставки при использовании ПТО в аналогичных условиях была принята технология разработки месторождения по камерно-столбовой системе и прямые затраты рудника "Карнасурт" по этим процессам.

В качестве бурового оборудования комплекса ПТО была выбрана переносная буровая установка (ПБУ) "Скамейка" производства Ловозерского ГОКа, а доставочного оборудования – переносные скреперные установки (ПСУ) 55ЛС-С и 30ЛС-С.

По технологии проекта на руднике "Карнасурт" рудную массу из очистного забоя доставляют в аккумулирующую выработку лебедкой 30ЛС-С. Затем ее доставляют в рудоспуск лебедкой 55ЛС-С. Зарядание шпуров в забое производится вручную. Производительность труда звена из двух человек в тоннах руды при зарядании шпуров вручную составляет 8,5 т/чел.-ч. Характеристика и показатели производительности остального применяемого ПТО представлены в табл. 5.

Таблица 5. Характеристика и показатели производительности комплекса ПТО для очистных работ
Table 5. Characteristics and indicators of the operational performance of the stopping hauling equipment (HE)

	Наименование характеристик	Ед. измерен.	ПБУ "Скамейка"	ПСУ 55ЛС-С	ПСУ 30ЛС-С
1	Мощность электродвигателя	кВт	–	55	30
2	Геометрические параметры:	–	–	–	–
	– длина	м	3,15	1,75	1,50
	– ширина	м	0,2	1,30	0,95
	– высота	м	0,70–1,30	0,60	0,50
3	Емкость ковша	м ³	–	0,30	0,20
4	Масса	кг	75	800	650
5	Диаметр бурения	мм	33–46	–	–
6	Глубина бурения	м	до 5	–	–
7	Эксплуатационная скорость бурения пород крепостью 12–14 по шкале Протодяконова	м/чел.-ч	17,0	–	–
8	Эксплуатационная производительность по выходу горной массы при диаметре шпура 42 мм	т/чел.-ч	11,39	17,0	8,5
9	Стоимость ПТО в ценах 2022 года	млн руб.	0,5	2,5	2,0

Из анализа табл. 4 и 5 следует, что значения производительности труда ГРОЗ СТО и ПТО процесса доставки сопоставимы друг с другом и составляют соответственно 8,26 и 8,5 т/чел.-ч. Этот же показатель для процесса отбойки по выходу горной массы при бурении и зарядании шпуров у ГРОЗ СТО выше, чем у ГРОЗ ПТО в 3,0 и 3,4 раза и составляет 33,75 и 28,8 т/чел.-ч.

Затраты на одну тонну добытой горной массы по процессам отбойки и доставки приведены в табл. 6. Расчеты, приведенные в табл. 6, показали, что затраты на отбойку и доставку горной массы при использовании СТО составляют соответственно 247,88 и 107,71 руб./т, а при использовании ПТО они составляют 162,93 и 130,32 руб./т.

Таблица 6. Показатели статей затрат по процессам отбойки и доставки при применении СТО и ПТО в очистных забоях
Table 6. Costs for the processes of haulage and blasting using SPTE and HE in stopes

Статьи затрат	Единицы измерения	СТО		Всего	ПТО		Всего
		отбойка	доставка		отбойка	доставка	
Зарплата	руб./т	26,56	69,71	96,27	86,22	94,06	180,28
Амортизация	руб./т	114,82	23,0	137,82	3,35	26,29	29,64
Материалы	руб./т	104,45	6,90	111,35	72,34	7,89	10,23
Энергия	руб./т	2,05	8,1	10,15	1,01	2,08	3,09
Итого	руб./т	247,88	107,71	355,59	162,92	130,32	293,24

Из анализа результатов расчета, приведенных в табл. 6, следует, что значения затрат процессов отбойки и доставки при использовании СТО и ПТО заметно отличаются. Рост затрат на эти процессы при использовании СТО, в основном, произошел за счет более высоких значений по статьям "амортизация" и "материалы", чем при использовании ПТО.

Большое отличие затрат по статье "амортизация процесса отбойки" при использовании СТО объясняется высокой стоимостью СБК иностранного производства по сравнению с другим оборудованием этого комплекса, являющегося продукцией отечественного производства.

Таким образом, общие затраты на отбойку и доставку 1 т рудной массы при очистной выемке парными заходками с шириной каждой по 3,5 м и использовании СТО отличаются от выемки такого же объема балансовых запасов и использовании ПТО на 62,35 руб./т и составят соответственно 355,59 и 293,24 руб./т.

Из сравнения результатов расчета следует, что затраты для выполнения процессов очистных работ (отбойки и доставки) при очистной выемке парными заходками с шириной каждой по 3,5 м и использовании СТО по сравнению с использованием для выполнения этих же процессов ПТО и выемке такого же объема балансовых запасов на 21 % дороже.

Чтобы провести оценку затрат на выполнение процессов отбойки и доставки по обоим вариантам очистной выемки в равных условиях, их сравнение проводилось в режиме работы предприятия "цикл в сутки" (4 смены в сутки: бурение; доставка ВВ, зарядание и взрывание; проветривания; доставка рудной массы). Это было принято в связи с невозможностью организовать иначе режим работы в блоках рудника "Карнасурт" с использованием ПТО. Технология очистной выемки парными заходками позволяет организовать одновременно работу технологического оборудования в нескольких забоях блока и выполнять цикл в смену с проветриванием их во время междусменных перерывов. Это позволит повысить эффективность очистной выемки парными заходками.

Аналогичные расчеты были проведены при выполнении процессов отбойки и доставки при очистной выемке парными заходками с использованием в них заходок разной ширины (7,0 и 3,5 м). Выполненными расчетами установлено, что с увеличением ширины первой заходки в два раза доля затрат времени смены на перестановки СБК от забоя к забою, от скважины к скважине и переезды в течение смены бурового и доставочного оборудования в другие заходки сократилось. Это позволило снизить затраты процессов отбойки и доставки соответственно с 247,88 до 235,49 руб./т и с 107,71 до 102,32 руб./т. В этом случае общие затраты на отбойку и доставку 1 т горной массы при очистной выемке парными заходками разной ширины с использованием СТО и ПТО отличаются на 44,57 руб./т и составят соответственно 337,81 и 293,24 руб./т.

Таким образом, при очистной выемке парными заходками увеличение ширины первой заходки в два раза без изменения ширины второй заходки, позволит сократить разницу между затратами процессов (отбойка и доставка) технологий с применением СТО и ПТО соответственно на 5 и 6 % и снизить относительный показатель разницы общих затраты с 21 до 15 %.

Заключение

В статье предложено использовать новый идейный подход, на основе которого независимо от мощности разрабатываемого месторождения будут созданы относительно безопасные условия для выполнения горнорабочими в полный рост всех процессов очистных работ. Это будет достигаться созданием конструктивных элементов систем разработки, имеющих защищенные современными средствами от вывалов и отслоений пород кровли места для выполнения всех процессов очистных работ в блоке.

Использование парных заходок в очистных выработках как конструктивного элемента систем разработки пологих маломощных рудных месторождений может вывести на новый уровень обеспечение безопасных условий труда для ГРОЗ, несмотря на превышение суммарных затрат при выполнении процессов отбойки и доставки очистных работ СТО по сравнению с выполнением их ПТО. Относительный показатель разницы общих затрат снижается с 21 до 15 % соответственно для заходок с одинаковой и разной их шириной. При этом парными заходками можно вести очистную выемку в границах контура пологих маломощных

рудных залежей с использованием комплекса СТО и, тем самым, сократить затраты на стадии производства одной тонны концентрата за счет повышения ценности извлекаемых запасов полезного ископаемого.

Кроме того, в условиях возникшего дефицита ресурса рабочей силы на предприятиях отечественной промышленности, в том числе горной, повышение производительности труда процесса отбойки в очистных забоях пологих маломощных месторождений при бурении и зарядании шпуров соответственно в 3,0 и 3,4 раза имеет существенное значение для компенсации недостатка численности рабочих в горнодобывающей промышленности.

Дальнейшее совершенствование рассматриваемой технологии разработки пологих маломощных месторождений будет продолжено после завершения исследований процесса управления непосредственной кровлей в очистных выработках на руднике "Карнасурт", что позволит определить объективные показатели извлекаемой ценности балансовых запасов и затрат на добычу и обогащение рудной массы для получения одной тонны лопаритового концентрата.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Боборыкин В. Н., Бессонов И. И., Любин А. Н. Совершенствование буровой техники для скважинной отбойки лопаритовых руд // Горный журнал. 1995. № 2. С. 30–32. EDN: SJRIMF.
- Голик В. И., Лукьянов В. Г., Масленников С. А., Мельков Д. В. Повышение безопасности труда при разработке пологих маломощных залежей // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 9. С. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2018-9-66-70>. EDN: XZFCTR.
- Голик В. И., Разоренов Ю. И., Дмитрак Ю. В., Кожиев Х. Х. Повышение безопасности труда при разработке пологих маломощных месторождений // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 11. С. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-11-48-53>. EDN: FWPYKO.
- Любин А. Н., Бессонов И. И., Пернацкий С. И., Уханов А. А. [и др.]. Повышение эффективности панельно-столбовой системы разработки на руднике "Умбозеро" // Горный журнал. 1998. № 4. С. 66–70. EDN: SBSCOB.
- Михайлов Ю. М., Красников Ю. Д. Ценные руды: Технология и механизация подземной разработки месторождений. М.: Академия, 2008. 256 с.
- Чебан А. Ю. Технология разработки тонких рудных тел с предварительной лазерной дезинтеграцией прочных горных пород // Прикладная физика. 2022. № 1. С. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2022-1-64-69>. EDN: RBUOHW.

References

- Boborykin, V. N., Bessonov, I. I., Lyubin, A. N. 1995. Improvement of drill equipment for long hole blasting of loparite ore. *Gornyi Zhurnal*, 2, pp. 30–32. EDN: SJRIMF. (In Russ.)
- Golik, V. I., Lukyanov, V. G., Maslennikov, S. A., Melkov, D. A. 2018. Improving safety of work at the development of flat thinbeds. *Occupational Safety in Industry*, 9, pp. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2018-9-66-70>. EDN: XZFCTR. (In Russ.)
- Golik, V. I., Razorenov, Yu. I., Dmitrak, Yu. V., Kozhiev, K. K. 2019. Occupational safety improvement at the development of steep shallow deposits. *Occupational Safety in Industry*, 11, pp. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-11-48-53>. EDN: FWPYKO. (In Russ.)
- Lyubin, A. N., Bessonov, I. I., Parnatzkiy, S. I., Uhanov, A. A. et al. 1998. Improving the efficiency of the panel-pillar mining system at the "Umbozero" mine. *Gornyi Zhurnal*, 4, pp. 66–70. EDN: SBSCOB. (In Russ.)
- Mikhailov, Yu. V., Krasnikov, Yu. D. 2008. High value ore: Technology and mechanization of underground mining, study guide for higher education institutions. Moscow. (In Russ.)
- Cheban, A. Yu. 2022. Technology of development of thin ore bodies with preliminary laser disintegration of strong rocks. *Applied Physics*, 1, pp. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2022-1-64-69>. EDN: RBUOHW. (In Russ.)

Сведения об авторе

Любин Александр Нестерович – ул. Ферсмана, 24, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Горный институт КНЦ РАН, канд. техн. наук, науч. сотрудник; e-mail: a.lyubin@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-1309>

Alexander N. Lyubin – 24 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Mining Institute KSC RAS, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher; e-mail: a.lyubin@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-1309>