

УДК 622. 275

Смирнов Алексей Алексеевич

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

Антипин Юрий Георгиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Рожков Артём Андреевич

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

Барановский Кирилл Васильевич

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

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУЦИИ
СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СЛОЯМИ
ДЛЯ РУДНЫХ ТЕЛ МАЛОЙ МОЩНОСТИ****Аннотация:*

Отработка подземным способом месторождений ценных руд с углом падения рудных тел 30 – 60° и их малой мощностью (до 4 – 5 м) осложняется ограниченными возможностями применения высокопроизводительных систем разработки, вместе с тем требуя максимально возможной полноты выемки балансовых запасов. Одной из таких технологий, обеспечивающей высокие показатели извлечения руды с присущими недостатками в виде большого объема подготовительно-нарезных работ и низкой производительности по блоку, является система разработки горизонтальными слоями с закладкой. С использованием известного принципа повышения устойчивости горных выработок путем формирования шатровой формы их кровли разработана конструкция данной системы разработки с восходящим порядком отработки для наклонных рудных тел малой мощности, позволяющая повысить безопасность ведения работ в очистном пространстве. Разработана методика определения параметров конструкции в зависимости от габаритов применяемого технологического оборудования, безопасных зазоров и высот для прохода людей в очистном пространстве. Установлено, что применение разработанной конструкции системы позволяет сформировать шатровый свод с безопасными параметрами во всем диапазоне изменения угла падения наклонного рудного тела.

Ключевые слова: рудное тело, малая мощность, ценные руды, показатели извлечения, горизонтальные слои, шатровый свод, очистное пространство.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.02.008

Smirnov Alexey A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: geotech@igduran.ru

Antipin Yury G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of laboratory
of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Rozhkov Artem A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS.

Baranovsky Kirill V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS.

**DESIGNE DEVELOPMENT OF
HORIZONTAL SLICING MINING METHOD
FOR ORE BODIES OF LOW THICKNESS***Abstract:*

Underground method of inclined valuable ore deposits (30 – 60°) as well as with low thickness (up to 4 – 5 m) being complicated by limited capabilities to apply high-performance mining systems, demands at the same time the maximum possible extrusion of balance reserves. One of the technologies that ensures high extraction indicators of ore with the inherent disadvantages in the form of a large amount of preparatory-development operations and low capacity by block is the system of flat-back cut-and-fill method mining method. Using the well-known principle of increasing the stability of mining workings by forming the tent form of their roofing, the authors developed the design of this mining system with an upward course for inclined ore bodies of thickness, allowing improving the safety of work in the extraction space. We propose a technique to determine the parameters of the structure depending on the dimensions of the used technological equipment, safe gaps and heights for the passage of people in the stoping space. We established that the application of the developed system design allows to form a tent arch with secure parameters in the entire range of changes in the angle of inclined ore body.

Key words: ore body, low thickness, valuable ores, extraction indicators, cut and fill mining method, tent arch, stoping space.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00581-19-00. Тема № 0405-2019-0005

Введение

Отработка подземным способом рудных тел с углом падения $30 - 60^\circ$ и их малой мощности (до 4 – 5 м) осложняется ограниченными возможностями применения высокопроизводительных систем разработки [1, 2], что обусловлено необходимостью формирования откоса выпускной траншеи с углом, достаточным для самотечного выпуска руды, в результате чего увеличивается разубоживание и значительно снижается ее качество и извлекаемая ценность [3 – 6]. Для ценных и богатых руд, обладающих высокими содержаниями полезных компонентов, приобретает актуальность решение задачи наиболее полного их извлечения из недр системами разработки с относительно более высокой себестоимостью добычи [7 – 9]. Одной из таких систем, обеспечивающей высокие показатели извлечения руды, с присущими ей недостатками – большим объемом подготовительно-нарезных работ и низкой производительностью труда – является система горизонтальных слоев с закладкой [10 – 12].

Однако в условиях восходящей выемки и послойной закладки выработанного пространства при данной системе разработки повышается концентрация напряжений горного давления в горизонтальной кровле слоя и ее стыке с породами висячего бока, что приводит к снижению устойчивости конструктивных элементов системы и безопасности ведения очистной выемки и зачастую к необходимости крепления кровли очистного пространства [13 – 15]. Поэтому совершенствование системы разработки горизонтальными слоями с закладкой за счет повышения устойчивости ее конструктивных элементов является актуальной научно-технической задачей.

Изыскание технических решений

При применении для отработки наклонных рудных тел малой мощности системы разработки горизонтальными слоями с восходящей выемкой и закладкой, рабочее (очистное) пространство в поперечном сечении представляет собой параллелограмм с соотношением высоты и ширины от 1:1 до 1:3 (рис. 1). При таких параметрах отработки в плоской кровле рабочего пространства возникают повышенные концентрации напряжений горного давления [13]. В результате в кровле возникают растягивающие напряжения, что влечет за собой опасность ее обрушения и необходимость крепления [16]. Этот эффект часто усугубляется наличием на контакте рудного тела с висячим боком неустойчивых прослоек налегающих пород.

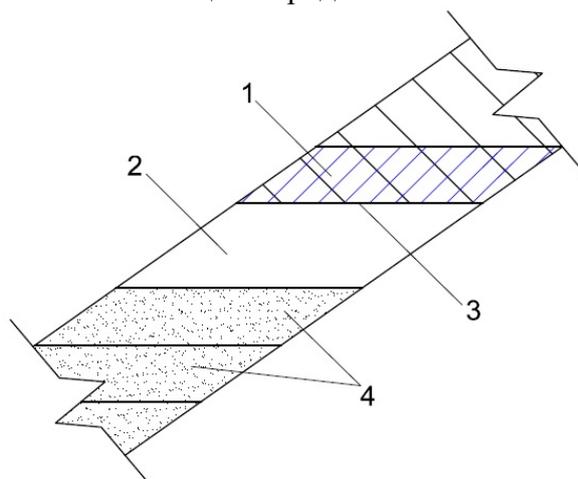


Рис. 1. Система разработки горизонтальными слоями с закладкой (поперечное сечение):
1 – обрабатываемый слой руды; 2 – очистное пространство; 3 – кровля очистного пространства; 4 – слой закладочного материала

Известны способы повышения устойчивости горных выработок путем придания различных конфигураций их сечениям [17], в частности шатровой формы кровли [18].

Способ предназначен для использования в протяженных горных выработках при отработке рудных тел средней и большой мощности камерными системами разработки.

Используя данный принцип для системы разработки горизонтальными слоями, можно существенно повысить устойчивость кровли очистного пространства, если придать ей шатровую форму путем образования наклонной (по отношению к горизонту) поверхности отработываемого слоя руды (рис. 2).

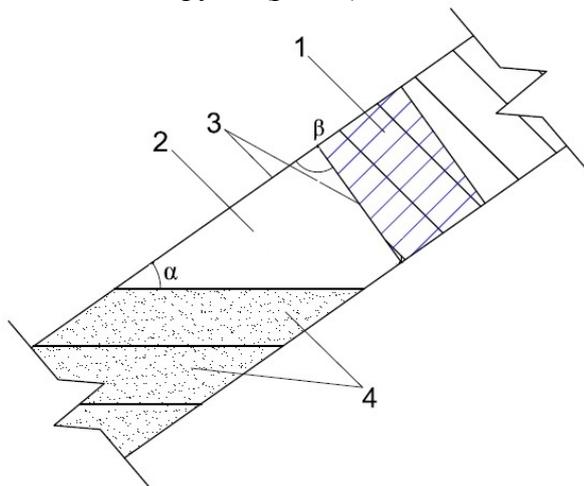


Рис. 2. Система разработки горизонтальными слоями с закладкой и шатровой формой кровли очистного пространства:
1 – отработываемый слой руды; 2 – очистное пространство;
3 – кровля очистного пространства; 4 – слой закладочного материала

Реализация системы разработки горизонтальными слоями с формированием шатровой формы кровли очистного пространства осуществляется следующим образом. По простиранию рудного тела проходится подсечной штрек, соединяемый заездами с транспортными и вентиляционными выработками. Подсечной штрек проходится буровзрывным способом и расширяется на всю горизонтальную мощность рудного тела. После этого оформляется шатровая форма кровли очистного пространства путем обустройства первого вышележащего слоя руды восходящими или горизонтальными шпурами. Отбойка руды производится секциями (заходками). Отбитая руда убирается с почвы подсечного штрека и доставляется самоходными погрузочно-доставочными машинами до рудоспуска. После выемки отработки рудного слоя на почве очистного пространства размещается горизонтальный слой закладочного материала высотой, обеспечивающей необходимую высоту рабочего пространства. Работы по выемке следующего вышележащего рудного слоя производятся с верхней горизонтальной поверхности закладки.

При этом вид и величина напряжения в кровле шатровой формы зависит от отношения высоты шатра $h_{ш}$ к ширине его основания A [13] – при отношении указанных величин 0,5 – 0,7 растягивающие напряжения в кровле практически исчезают, и она становится устойчивой.

В то же время существенное увеличение высоты шатра по технологическим соображениям нежелательно, поскольку кровлю необходимо периодически осматривать и проводить оборку. Вследствие этого целесообразно увеличивать угол между висячим боком и нижней поверхностью отбиваемого слоя. В большинстве случаев близким к оптимальному является угол наклона $35 - 45^\circ$ нижней поверхности рудного слоя к горизонтали [13]. Такие параметры позволят ограничить максимальный угол сопряжения висячего бока и рудного слоя (β) значением в 110° . При увеличении этого угла устойчивость кровли заметно снижается. Однако следует учитывать обеспечение техниче-

ской возможности разбуривания наклонной стенки самоходным буровым оборудованием [19].

Таким образом, техническим результатом предлагаемого решения является повышение устойчивости кровли отрабатываемого слоя при восходящей выемке и полойной закладке выработанного пространства, вследствие чего обеспечиваются более безопасные условия работы людей в очистном пространстве слоя и снижение затрат на крепление его кровли. Технический результат достигается тем, что верхнюю и нижнюю поверхности отбываемого слоя руды формируют несогласно с горизонтальной поверхностью навала закладки, под углом к висячему боку менее 110° , а рабочее пространство, в зависимости от мощности рудного тела, в поперечном сечении формируют в виде треугольника или многоугольника с шатровой формой кровли.

Исследование конструктивных параметров технологии

Высота вынимаемого отбываемого слоя руды определяется параметрами применяемого бурового и погрузочно-доставочного оборудования, технологией очистной выемки, углом падения и мощностью рудного тела. Отбойка, уборка и доставка руды, транспортирование осуществляются по поверхности заложеного нижележащего слоя, то есть поверхность этого слоя должна быть горизонтальной. Вследствие этого поперечное сечение рабочего пространства представляет собой треугольник или чаще многоугольник (иногда при малой мощности рудного тела потребуется подрыв лежачего бока). Основным требованием при этом является обеспечение размещения применяемого оборудования и безопасности работ [20]. Регламентирующим параметром при этом является высота рабочего (очистного) пространства, которая может быть представлена как сумма безопасной высоты для прохода людей h_6 и высоты шатра кровли $h_{ш}$. Величина h_6 может быть в соответствии с «Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (ФНиП №505) принята равной 1,8 м. Расчетная схема для определения основных конструктивных параметров предлагаемой технологии представлена на рис. 3.

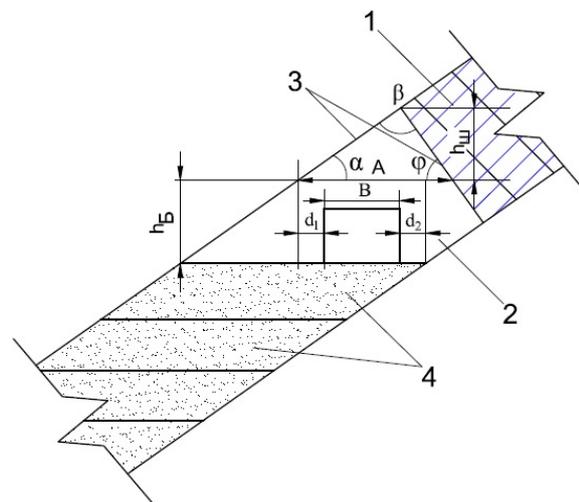


Рис. 3. Схема к определению параметров конструктивных элементов системы разработки:

1 – отрабатываемый слой руды; 2 – очистное пространство;

3 – кровля очистного пространства; 4 – слой закладочного материала

Общая высота рабочего пространства определяется следующим образом:

$$H \geq h_6 + \frac{A \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi}, \text{ м} \quad (1)$$

где h_6 – безопасная высота прохода для людей;

α – угол наклона висячего бока к горизонту, град;

φ – угол наклона нижней поверхности отбываемого слоя к горизонту, град;

A – безопасная ширина выработки на высоте h_6 , м.

$$A \geq B_{об} + d_1 + d_2, \text{ м}, \quad (2)$$

где $B_{об}$ – максимальная ширина применяемого оборудования, м;

d_1, d_2 – регламентируемые величины зазоров между наиболее выступающей частью транспортного средства и стенкой в выработках очистных блоков, предназначенных для погрузки руды, при исключении возможности нахождения людей, не связанных с работой машин, м («Правила безопасности при ведении горных работ...» (ФНиП № 505)).

По условию безопасности работ величина A должна быть больше или равна безопасной ширине выработки на высоте h_6 . Высота шатра $h_{ш}$ из геометрических соотношений равна

$$h_{ш} = \frac{A \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi} \text{ м}. \quad (3)$$

По результатам расчета по представленной методике получены зависимости высот очистного пространства и его шатровой части от угла падения рудного тела, приведенные на рис. 4.

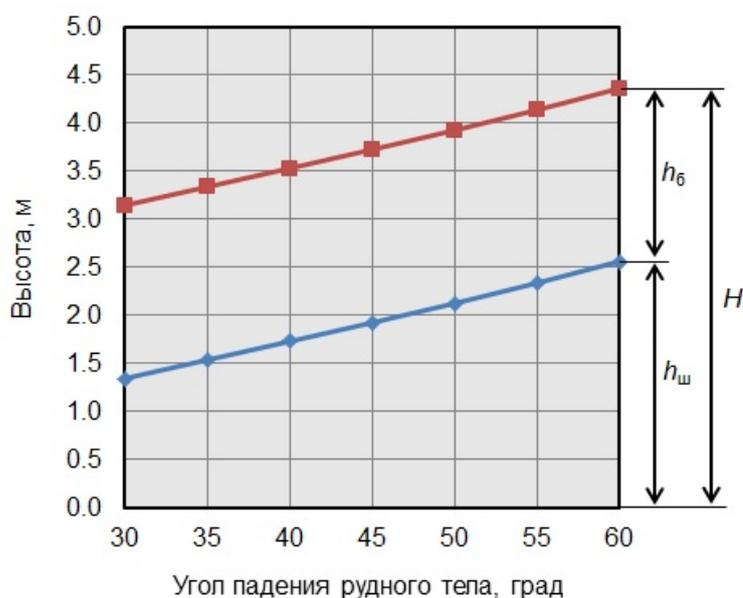


Рис. 4. Зависимость полной высоты очистного пространства (H) и его шатровой части ($h_{ш}$) от угла падения рудного тела при безопасной высоте прохода людей $h_6 = 1,8$ м

Из графиков видно, что общая высота очистного пространства при условии своевременного формирования закладочного массива необходимой толщины не превышает 4,5 м во всем диапазоне изменения угла падения наклонного рудного тела. При данных параметрах приведение кровли в безопасное состояние путем оборки заколов самоходной буровой установкой или специализированным оборщиком не представляет технической сложности.

Как уже было сказано выше, устойчивость шатровой конструкции наилучшим образом обеспечивается при угле сопряжения висячего бока и рудного слоя β менее 110° . Для обеспечения необходимых условий работы людей и оборудования в очистном забое его рудная стенка формируется под определенным углом φ к поверхности закладочного материала. Соответствие параметров конструкции очистного забоя условию $\beta \leq 110^\circ$ при рациональных значениях φ в рассматриваемом диапазоне углов падения рудного тела установлено аналитическим методом и представлено на рис. 5.

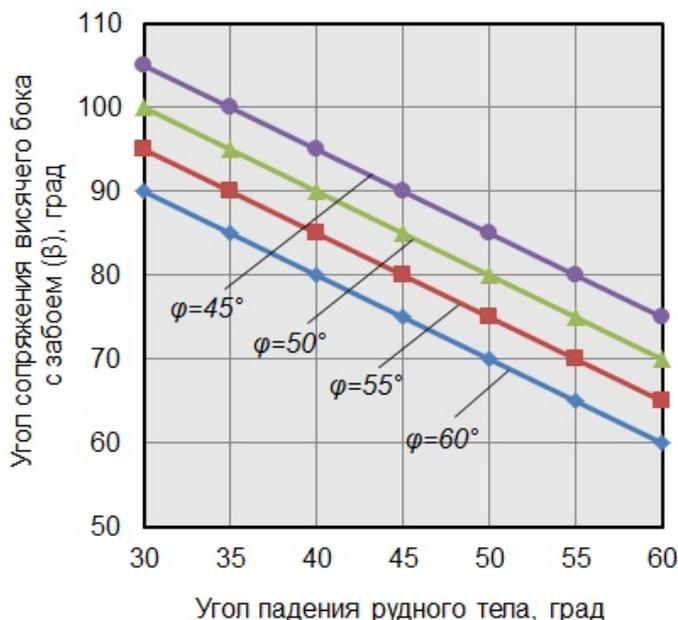


Рис. 5. Зависимость угла сопряжения висячего бока с забоем (β) от углов падения рудного тела и наклона нижней поверхности отбиваемого слоя руды к горизонту (φ)

Из полученных зависимостей становится понятно, что применение предлагаемой технологии с рациональными параметрами для наклонных рудных тел малой мощности обеспечивает повышение устойчивости конструктивных элементов системы разработки горизонтальными слоями.

Заключение

Предложенная конструкция системы разработки восходящими горизонтальными слоями, обеспечивающей высокие показатели извлечения руды при отработке наклонных рудных тел малой мощности на основе использования известного принципа повышения устойчивости горных выработок путем формирования шатровой формы кровли, позволяет повысить безопасность ведения очистных работ в очистном пространстве. Предложена методика определения параметров конструкции в зависимости от габаритов применяемого технологического оборудования, безопасных зазоров и высот для прохода людей в очистном пространстве. Установлено, что применение разработанной конструкции системы позволяет сформировать шатровый свод с безопасными параметрами во всем диапазоне изменения угла падения рудного тела от 30 до 60°.

Список литературы

1. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Рожков А.А., 2020. Модернизация системы разработки маломощного месторождения богатых медноколчеданных руд. *Устойчивое развитие горных территорий*, Т. 12, № 3(45), С. 444 - 453. DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-3-444-453.
2. Guo Y.H., Hou K.P., Yang B.J., 2014. Roof stability analysis of sublevel open stope method in gently inclined and extremely thin orebody. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 19, pp. 2277-2288.
3. Лизункин В.М., Ситников Р.В., Лизункин М.В., Чодинчо Е.Н., 2009. Особенности условий и обоснование направлений совершенствования технологии разработки маломощных пологих и наклонных жил Бом-Горхонского вольфрамowego месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S3, С. 154-161.

4. Zhou K.P., Zhai J.B., Gao F., Hu P.L., Zhang Y.M., 2012. Study on optimizing stope parameters and false-inclined layout in the gentle dip thin ore-body. *Journal of Guangxi University: Natural Sciences Education*, vol. 37, No. 2, pp. 376-381.
5. Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Соломеин Ю.М., Рожков А.А., 2020. Изыскание эффективной подземной технологии отработки наклонного рудного тела малой мощности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3-1, С. 285-299. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-285-299.
6. Белоусов А.С., Киселев И.А., Алексеев О.Н., 2018. Повышение эффективности отработки урановых рудных тел месторождений Стрельцовского рудного поля. *Горный журнал*, № 7, С. 28-31. DOI 10.17580/gzh.2018.07.04.
7. Guo J.F., Wang H.S., 2010. Practice and review on mining technology of gently inclined thin ore-body of Tweefontein Chromium Ore in South Africa. *Metal Mine*, No. 2, pp. 18-21.
8. Khani M.M., 2015. Practical long-term planning in narrow vein mines – a case study. *Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining, Australian Centre for Geomechanics, Perth*, pp. 505-512. DOI – 10.36487/ACG_rep/1511_31_khani
9. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Никитин И.В., Рожков А.А., 2018. Целесообразность подземной отработки малых кварцевых жил. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, Т. 16., № 2, С. 4-13. DOI 10.18503/1995-2732-2018-16-2-4-13.
10. Guo L., Wang H., Sun X., Zhou J., Liang X., 2017. Design and construction of a combined underground paste backfilling and surface paste storage system in Baiyinchagan Polymetallic Mine. *Proceedings of the 20th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, University of Science and Technology Beijing, Beijing*, pp. 346-357, DOI 10.36487/ACG_rep/1752_38_Guo
11. Ляшенко В.И., 2016. Природо- и ресурсосберегающие технологии подземной разработки сложноструктурных месторождений. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*, № 12(1404), С. 17-25.
12. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., 2015. Технология восходящей выемки золоторудного месторождения с применением сухой закладки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 9, С. 14-19.
13. Влох Н.П., 1994. *Управление горным давлением на подземных рудниках: Производственно-практическое издание*. Москва: Недра, 208 с.
14. Gao F., Zhou K.P., Deng H.W., Yang N.G., Li J.L., 2015. Design and application of an efficient mining method for gentle-dipping narrow vein at Kafang Mine. *Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining, Australian Centre for Geomechanics, Perth*, pp. 293-305. DOI 10.36487/ACG_rep/1511_17_Gao
15. Еременко В.А., Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Лушников В.Н., 2014. Обоснование способа оценки зон распространения и величины концентрации напряжений в условиях подземной разработки рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5, С. 5-12.
16. Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н., 2020. Прогноз потенциальной удароопасности при реконструкции шахты «Юго-Западная» Дарасунского месторождения. *Известия вузов. Горный журнал*, № 4, С. 5-11 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-5-11
17. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаксон В.Ю., 2009. Выбор нетипового поперечного сечения выработки в зависимости от физико-механических свойств массива горных пород. *Горный журнал*, № 6, С. 41-44.
18. Боликов В.Е., Константинова С.А., 2003. *Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок*. Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 2003, 373 с.

19. Рубцов С.К., Селезнев А.А., Силкин А.А., Ершов В.П., 2014. Технологические аспекты селективной отбойки и обработки маломощных рудных тел в подземных рудниках ОАО «ППГХО». *Рациональное освоение недр*, № 1, С. 48-53.

20. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Y.G., Baranovskii K.V., 2016. Improvement of bottom structure of a production block in ore drawing using load-haul-dumpers. *Journal of Mining Science*, Vol. 52, No. 1, P. 121-128. DOI 10.1134/S106273911601020X.

References

1. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Rozhkov A.A., 2020. *Modernizatsiya sistemy razrabotki malomoshchnogo mestorozhdeniya bogatykh mednokolchedannykh rud* [Modernization of the development system of a low-power deposit of rich copper-sulphide ores]. *Us-toichivoe razvitie gornyykh territorii*, Vol. 12, № 3(45), p. 444 - 453. DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-3-444-453.

2. Guo Y.H., Hou K.P., Yang B.J., 2014. Roof stability analysis of sublevel open stope method in gently inclined and extremely thin orebody. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 19, pp. 2277-2288.

3. Lizunkin V.M., Sitnikov R.V., Lizunkin M.V., Chodinchko E.N., 2009. *Osobennosti uslovii i obosnovanie napravlenii sovershenstvovaniya tekhnologii razrabotki malomoshchnykh pologikh i naklonnykh zhil Bom-Gorkhonskogo vol'framovogo mestorozhdeniya* [Features of the conditions and justification of the directions for improving the technology of developing low-power flat and inclined veins of the Bom-Gorkhon tungsten deposit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S3, p. 154-161.

4. Zhou K.P., Zhai J.B., Gao F, Hu P.L., Zhang Y.M., 2012. Study on optimizing stope parameters and false-inclined layout in the gentle dip thin ore-body. *Journal of Guangxi University: Natural Sciences Education*, vol. 37, No. 2, pp. 376-381.

5. Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Solomein Yu.M., Rozhkov A.A., 2020. *Izyskanie effektivnoi podzemnoi tekhnologii otrabotki naklonnogo rudnogo tela maloi moshchnosti* [Searching an effective underground technology for mining an inclined ore body of low power]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3-1, pp. 285-299. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-285-299.

6. Belousov A.S., Kiselev I.A., Alekseev O.N., 2018. *Povyshenie effektivnosti otrabotki uranovykh rudnykh tel mestorozhdenii Strel'tsovskogo rudnogo polya* [Increasing the efficiency of mining of uranium ore bodies of the Strel'tsovskoye ore field deposits]. *Gornyi zhurnal*, № 7, pp. 28-31. DOI 10.17580/gzh.2018.07.04.

7. Guo J.F., Wang H.S., 2010. Practice and review on mining technology of gently inclined thin ore-body of Tweefontein Chromium Ore in South Africa. *Metal Mine*, No. 2, pp. 18-21.

8. Khani M.M., 2015. Practical long-term planning in narrow vein mines – a case study. *Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 505-512. DOI – 10.36487/ACG_rep/1511_31_khani

9. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Nikitin I.V., Rozhkov A.A., 2018. *Tselesoobraznost' podzemnoi otrabotki malykh kvartsevykh zhil* [Expediency of underground mining of small quartz veins]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, Vol. 16., № 2, pp. 4-13. DOI 10.18503/1995-2732-2018-16-2-4-13.

10. Guo L., Wang H., Sun X., Zhou J., Liang X., 2017. Design and construction of a combined underground paste backfilling and surface paste storage system in Baiyinchagan Polymetallic Mine. *Proceedings of the 20th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, University of Science and Technology Beijing, Beijing, pp. 346-357, DOI 10.36487/ACG_rep/1752_38_Guo

11. Lyashenko V.I., 2016. *Prirodo- i resursosberegayushchie tekhnologii podzemnoi razrabotki slozhnostrukturnykh mestorozhdenii* [Nature- and resource-saving technologies of underground development of complex-structured deposits]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii*, № 12(1404), pp. 17-25.
12. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., 2015. *Tekhnologiya voskhodyashchei vyemki zolotorudnogo mestorozhdeniya s primeneniem sukhoi zakladki* [Technology of ascending excavation of a gold deposit with use of dry bookmark]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 9, pp. 14-19.
13. Vlokh N.P., 1994. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh: Proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie* [Management of rock pressure at underground mines: Production and practical edition]. Moscow: Nedra, 208 p.
14. Gao F., Zhou K.P., Deng H.W., Yang N.G., Li J.L., 2015. Design and application of an efficient mining method for gentle-dipping narrow vein at Kafang Mine. *Proceedings of the International Seminar on Design Methods in Underground Mining*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 293-305. DOI 10.36487/ACG_rep/1511_17_Gao
15. Eremenko V.A., Ryl'nikova M.V., Esina E.N., Lushnikov V.N., 2014. *Obosnovanie sposoba otsenki zon rasprostraneniya i velichiny kontsentratsii napryazhenii v usloviyakh podzemnoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [Substantiation of the method for estimating the propagation zones and the magnitude of stress concentration in the conditions of underground mining of ore deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5, pp. 5 - 12.
16. Sosnovskaya E.L., Avdeev A.N., 2020. *Prognoz potentsial'noi udaroopasnosti pri rekonstruktsii shakhty "Yugo-Zapadnaya" Darasunskogo mestorozhdeniya* [Forecasting of potential risk during the reconstruction of the Yugo-Zapadnaya mine of the Darasunskoye field]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, № 4, pp. 5-11 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-5-11
17. Cherdantsev N.V., Presler V.T., Izakson V.Yu., 2009. *Vybor netipovogo poperechnogo secheniya vyrabotki v zavisimosti ot fiziko-mekhanicheskikh svoystv massiva gornykh porod* [Choice of an atypical cross-section of the mine depending on the physical and mechanical properties of the rock mass]. *Gornyi zhurnal*, № 6, pp. 41-44.
18. Bolikov V.E., Konstantinova S.A., 2003. *Prognoz i obespechenie ustoichivo-sti kapital'nykh gornykh vyrabotok* [Forecasting and ensuring the stability of capital mining operations]. Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2003, 373 p.
19. Rubtsov S.K., Seleznev A.A., Silkin A.A., Ershov V.P., 2014. *Tekhnologicheskie aspekty selektivnoi otboiki i otrabotki malomoshchnykh rudnykh tel v podzemnykh rudnikakh OAO "PPGKhO"* [Technological aspects of selective extraction and processing of low-power ore bodies in underground mines of OAO "PPGKhO"]. *Ratsional'noe osvoenie nedr*, № 1, pp. 48-53.
20. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Y.G., Baranovskii K.V., 2016. Improvement of bottom structure of a production block in ore drawing using load-haul-dumpers. *Journal of Mining Science*, Vol. 52, No. 1, P. 121-128. DOI 10.1134/S106273911601020X.