УДК 622.013 https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-21-27

ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ ГРУППЫ СБЛИЖЕННЫХ МЕДНО-КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Калмыков В.Н.[1], Гоготин А.А.[1], Ивашов А.Н.[1], Мамбетова Ю.Д.[2]

[1] Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия
[2]ООО «УралГеоПроект», Магнитогорск, Россия

Аннотация
Постановка задачи (актуальность работы): практически все медноколчеданные месторождения Южного Урала залегают группами, при этом в группе они находятся на небольшом расстоянии друг от друга. В настоящее время их отработка ведется без учета группировки, что приводит к повышенным капитальным вложениям, связанным с необходимостью строительства дополнительной обогатительной фабрики, затратам на транспортирование руды до обогатительной фабрики и др. Это ведет к снижению эффективности освоения запасов месторождений в целом. В связи с вышеизложенным, обоснование производственной мощности горнотехнической системы, рациональной последовательности ввода месторождений группы в эксплуатацию и выбор места расположения обогатительной фабрики позволит достичь более высоких экономических показателей. **Цель работы:** обоснование рациональных параметров горнотехнической системы при освоении группы сближенных медноколчеданных месторождений. **Используемые методы:** анализ опыта проектирования освоения медноколчеданных месторождений; вариантов – при выборе способа вскрытия; аналогии – при обосновании состава комплекса механизации; логических рассуждений – при формировании стратегии освоения группы медноколчеданных месторождений; статистическая обработка результатов расчета затрат при освоении группы медноколчеданных месторождений; аналитические расчеты; технико-экономический анализ. **Новизна:** установлены зависимости месторасположения обогатительной фабрики и очередности ввода месторождений в группе в отработку от стоимости запасов и расстояния между месторождениями. **Результат:** установленные зависимости позволяют на этапе проектирования выбрать наиболее экономически эффективный вариант освоения группы сближенных месторождений, снизить эксплуатационные затраты на транспортирование рудной массы и капитальные затраты на строительство главной промышленной площадки и обогатительной фабрики. **Практическая значимость:** создание методики, позволяющей определять технико-экономические параметры горнотехнических систем при освоении группы сближенных медноколчеданных месторождений.

Ключевые слова: группа сближенных месторождений, производственная мощность горнотехнической системы, месторасположение главной промышленной площадки и обогатительной фабрики, очередность ввода месторождений в отработку, последовательность освоения месторождений в группе.

Введение

Анализ горно-геологических условий медноколчеданных месторождений, мест их расположения показал, что они, как правило, залегают группами на незначительном расстоянии друг от друга. Так, на Южном Урале можно выделить четыре основные группы месторождений: Учалинскую, Сибайскую, Гайскую и Бурибайскую [1]. В настоящее время многие месторождения из перечисленных групп отработаны, при этом освоение месторождений в пределах группы проходило без достаточного обоснования. На первоначальном этапе осуществлялась отработка месторождений открытым способом, запасы которых располагались на небольшой глубине и имели наиболее высокую ценность, затем переходили на подземный способ добычи. Обогатительную фабрику располагали у базовых месторождений, с которых начиналось освоение группы, при этом основным определяющим фактором на данном этапе являлась глубина залегания полезного ископаемого, вопросы рационального порядка ввода в эксплуатацию месторождений не рассматривались. Все это в совокупности приводило к снижению эффективности освоения запасов группы месторождений из-за повышенных капитальных вложений на дополнительные мощности обогатительных фабрик, затрат на транспортирование руды и др. [2, 3].

Одним из возможных путей обеспечения высоких экономических показателей при отработке группы месторождений подземным способом является обоснование рациональной последовательности их ввода и отработки и выбор оптимального места расположения общей обогатительной фабрики.

© Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Ивашов А.Н., Мамбетова Ю.Д., 2017

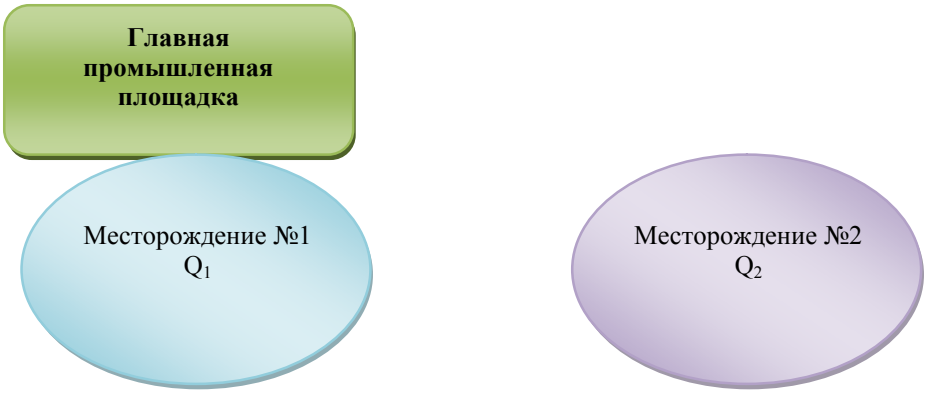
Технические и технологические решения

При отработке группы месторождений на стадии оптимизации проектных решений, направленных на эффективное их освоение, после того как определены производственная мощность, способ вскрытия, технология ведения горных работ для каждого месторождения в отдельности, решаются вопросы выбора места расположения обогатительной фабрики (ОФ) и ее производительности [4–6].

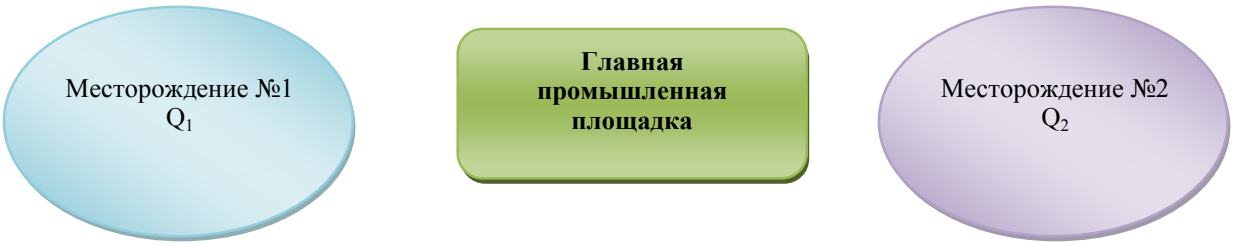
Анализ научно-методической литературы, опыта работы предприятий, ведущих освоение запасов группы месторождений, показал, что главную промышленную площадку с обогатительной фабрикой можно расположить на базовом месторождении, т.е. месторождении с наибольшей ценностью запасов **(рис. 1, а)**, или в центре тяжести запасов **(рис. 1, б)**.

Для обоснования места расположения ОФ при отработке группы месторождений проведено экономико-математическое моделирование подземной разработки медноколчеданных месторождений при различных значениях стоимости их запасов и расстояниях между ними. При моделировании принято, что стоимость запасов базового месторождения выше рядового от 1 до 3 раз, и рассматривались варианты расположения главной промышленной площадки на различных расстояниях от него, т.е. непосредственно на базовом, на различных расстояниях от базового и в центре тяжести запасов месторождений. Критерием выбора месторасположения главной промышленной площадки выбран показатель чистого дисконтированного дохода.

Анализ результатов экономико-математического моделирования показал, что с уменьшением стоимости запасов рядового месторождения от 1 до 3 раз значение чистого дисконтированного дохода снижается в 1,05–1,5 раза. При этом установлено, что если отношение стоимости запасов месторождений не более 1,5, то с увеличением расстояния расположения главной промышленной площадки от базового значение чистого дисконтированного дохода снижается, что обуславливает необходимость расположения промышленной площадки в центре тяжести запасов. При условии если отношение стоимости запасов базового месторождения к рядовым более 1,5, необходимо располагать главную промышленную площадку на базовом месторождении **(рис. 2)**.



а



б

Рис. 1.Расположение главной промышленной площадки:
а – на базовом месторождении; б – в центре тяжести запасов месторождений

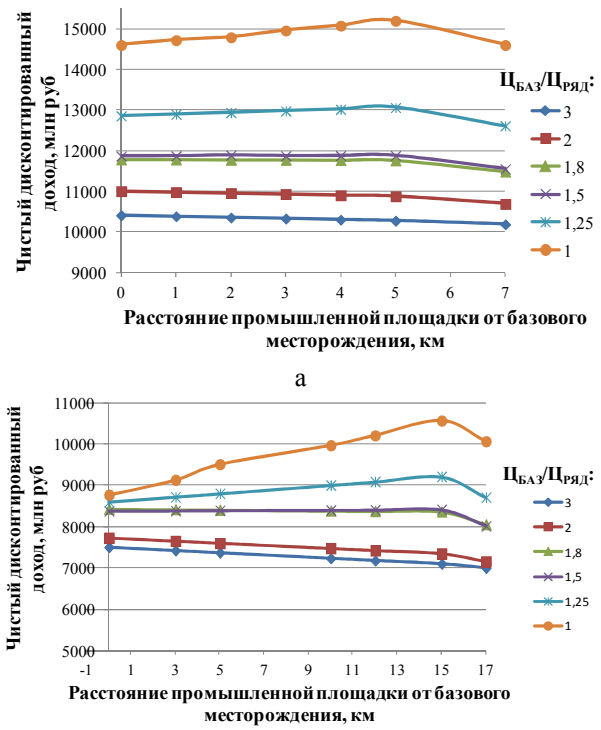


Рис. 2. Зависимость ЧДД от расстояния главной промплощадки до базового месторождения и отношений стоимости запасов базового к рядовым при расстоянии между месторождениями: а – 10 км; б – 30 км

Таким образом, полученные зависимости позволят на этапе проектирования, обладая информацией о стоимости запасов и расстояниях между месторождениями, определить наиболее целесообразное расположение ОФ при отработке медноколчеданных месторождений подземным способом [7–10].

Для обоснования рационального порядка отработки месторождений группы проведено исследование влияния основных влияющих факторов: ценности месторождений, расстояния месторождений от базового, очередность ввода их в эксплуатацию.

Анализ опыта подземной разработки и предприятий, ведущих освоение запасов группы месторождений, показал, что в первую очередь в отработку вводятся месторождения с большей стоимостью запасов. Однако бывают условия, когда месторождения с большей стоимостью расположено на большем удалении от базового по сравнению с месторождением с меньшей стоимостью, что обуславливает необходимость определения очередности их ввода, которая обеспечит максимальный чистый дисконтированный доход. Для оценки влияния вышеперечисленных факторов произведено экономико-математическое моделирование освоения запасов подземным способом группы месторождений при различных значениях расстояния между ОФ и месторождениями и стоимости их запасов. Результаты моделирования представлены на **рис. 3** [11, 12].

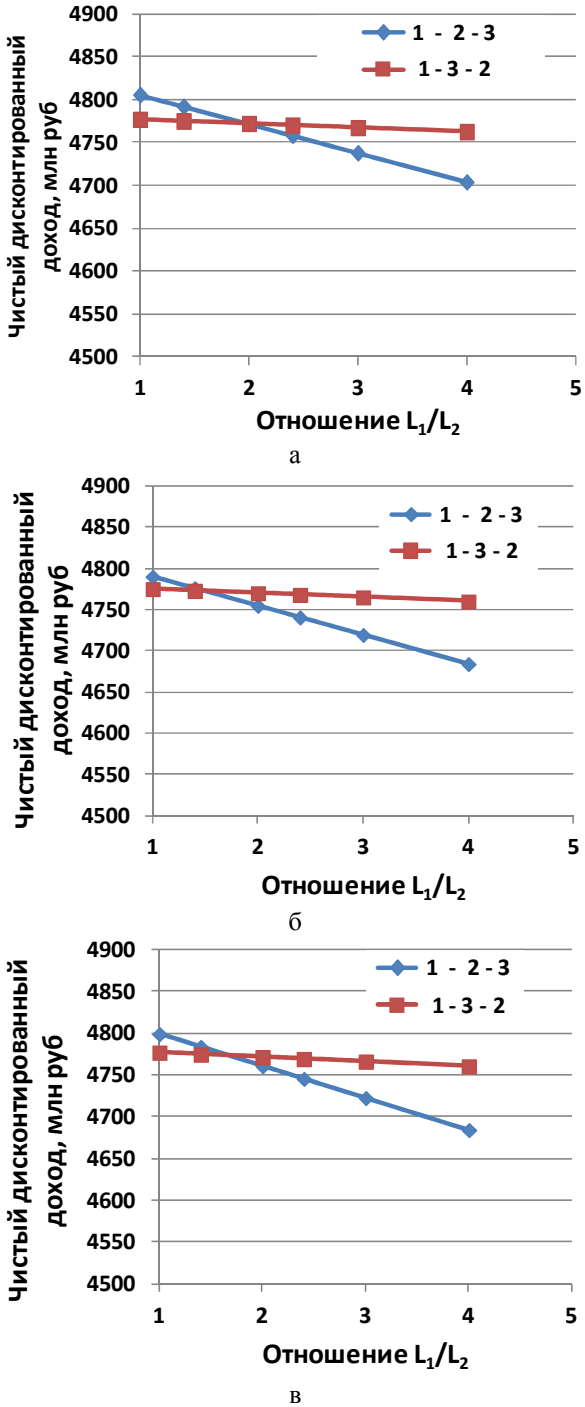


Рис. 3. Графики зависимости ЧДД от очередности ввода месторождений, отношений расстояний от ОФ L_1/L_2 и стоимости их запасов Q_2/Q_3, если Q_1 = 120 млн т: а – 60/50; б – 78/50; в – 100/50

Анализ результатов экономико-математического моделирования показал, что в зависимости от стоимости запасов рядовых месторождений и их расстояния от обогатительной фабрики целесообразна различная очередность ввода их в эксплуатацию. Так, если отношение расстояний месторождений от обогатительной фабрики изменяется от 1,5 до 2, то эффективнее в первую очередь вовлекать месторождение с более высокой стоимостью запасов, если отношение больше 2 – месторождение, которое ближе расположено к главной промышленной площадке.

Таким образом, установлено, что на эффективность освоения месторождений группы оказывает существенное влияние дальность их расположения относительно обогатительной фабрики, стоимость запасов, а также очередность ввода месторождений в эксплуатацию.

Месторождения имеют различные запасы и качество полезного ископаемого, поэтому при их освоении для поддержания стабильного объема добычи необходимо обеспечить требуемую степень совмещения в период эксплуатации за счет регулируемого ввода в разработку. Возможны следующие схемы развития горных работ: последовательное, последовательно-параллельное и параллельное [13, 14].

Для обоснования оптимальной последовательности освоения запасов месторождений в группе проведено экономико-математическое моделирование подземной разработки группы месторождений при различных значениях запасов, расстояниях между месторождениями **(рис. 4)**. При моделировании принято, что в состав группы входят 6 месторождений, расстояния между которыми от 7 до 15 км. Условно, при моделировании принято, что к небольшим месторождениям относятся месторождения с объемом запасов до 20 млн т, крупные – более 100 млн т. Месторождения отличаются также содержанием полезных компонентов в руде и объемом запасов. Критерием выбора рационального порядка отработки группы месторождений принято максимальное значение чистого дисконтированного дохода.

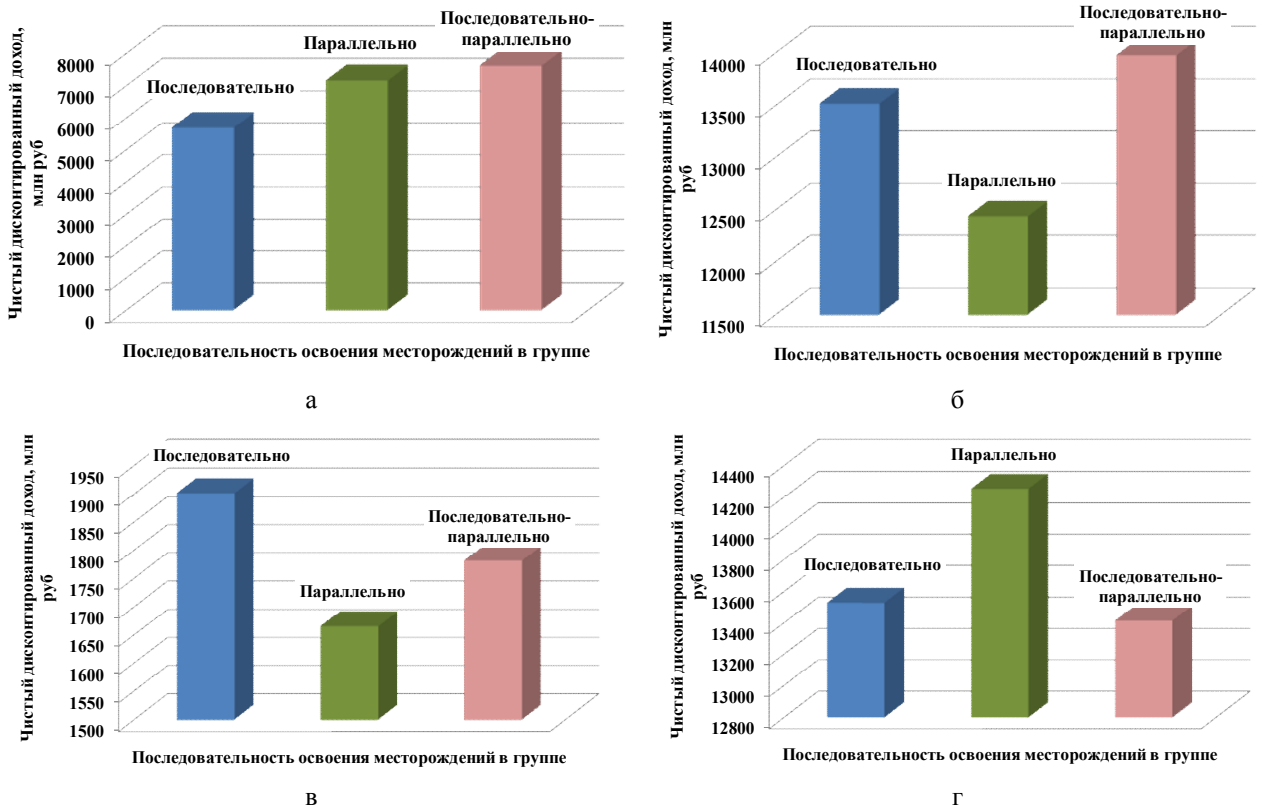


Рис. 4. Результаты расчета ЧДД при отработке группы месторождений:
а – объем запасов 1-го месторождения в несколько раз превышает запасы других;
б – в группе месторождений, объем запасов 3-х месторождений в несколько раз превышают запасы остальных; в – все месторождения характеризуются небольшими объемами запасов;
г – все месторождения характеризуются большими объемами запасов

Установлено, что в зависимости от величины запасов месторождений в группе, количества крупных и небольших по запасам целесообразно вести их отработку в различном порядке. Если группа месторождений состоит только из крупных, наибольший эффект достигается при их параллельном освоении, если из небольших – последовательном. Если в группе есть крупные и небольшие месторождения по запасам, то целесообразнее их отрабатывать последовательно-параллельно. Это объясняется различными объемами запасов, что обуславливает разные сроки эксплуатации месторождений и капитальных вложений, что приводит к изменению значений коэффициента дисконтирования и при больших сроках эксплуатации оказывает существенное влияние. Это обусловлено тем, что при отработке крупных месторождений последовательно их срок освоения растет, вследствие чего снижается ЧДД, поэтому в данных условиях наибольший экономический эффект достигается при их параллельном освоении. А отработка небольших месторождений параллельно приводит к большим капитальным затратам в начальном периоде и к короткому сроку эксплуатации месторождений, что обуславливает снижение экономических показателей.

Для условий Учалинской группы месторождений, в состав которой входят Учалинское, Ново-Учалинское, Молодежное, Узельгинское, Чебачье, Озерное, произведено обоснование порядка их отработки по предложенной методике. Для условий разработки медноколчеданных месторождений Учалинской группы был произведен расчет производственной мощности, обоснованы расположение главной промышленной площадки, последовательность ввода месторождений в эксплуатацию. За базовое принято месторождение с максимальной стоимостью запасов – Ново-Учалинское. Наибольшее значение чистого дисконтированного дохода достигается при параллельной их отработке за счет меньшего срока эксплуатации по сравнению с последовательным и последовательно-параллельным и составляет 5355,61 млн руб.

Заключение

Таким образом, в том случае, когда месторождения в группах представлены большим разнообразием условий залегания, существенным различием по объемам запасов, расстояниям друг от друга целесообразно обоснование рационального порядка их отработки. Это позволит на этапе проектирования выбрать наиболее эффективный вариант их освоения, последовательность ввода месторождений в эксплуатацию, обосновать оптимальный вариант расположения обогатительной фабрики и производственную мощность горнотехнической системы, что в дальнейшем позволит снизить эксплуатационные затраты на транспортирование рудной массы и повысить эффективность освоения месторождений группы.

Список литературы

1. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / И.Б. Серавкин, П.И. Пирожок, В.Н. Скуратов и др. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1994. 328 с.
2. Дик Ю.А., Котенков А.В., Танков М.С. Практика опытно-промышленных испытаний технологий разработки рудных месторождений. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 480 с.
3. Волков Ю.В., Соколов И.В. Подземная разработка медноколчеданных месторождений Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 232 с.
4. Gavrishev, S.E., Burmistrov, K.V., Kornilov, S.N., Tomilina, N.G. Evaluation of transportation flow charts with open-pit hoisting systems in open pit/underground mining // Gornyi Zhurnal. 2016, no. 5, pp. 41–47.
5. Каплунов Д.Р. Развитие производственной мощности подземных рудников при техническом перевооружении. М.: Наука, 1989. 264 с.
6. Обоснование производственной мощности рудника по горным возможностям при освоении крутопадающих медноколчеданных месторождений / Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Ивашов А.Н., Гиззатов А.Р. // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб.науч.тр.по материалам II междунар. науч.-практ. конференции / под ред. Е.А. Горбатовой. Магнитогорск: МДП, 2015. С. 136–143.
7. Гоготин А.А., Ивашов А.Н., Швейкина Ю.Г. Методика расчета максимального количества блоков при освоении наклонных и крутопадающих рудных месторождений подземным способом // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 73-й междунар. науч.-техн. конф. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. Т.1. С. 14–17.
8. Nikolaev M. V., Grigorieva E. E., Gulyaev P. V. Assessment of risks influencing innovation activity of industrial enterprises (on example of diamond-brilliant complex). Eurasian mining. 2016, №2, pp. 8–14.
9. Тонких А.И., Макишин В.Н., Ивановский И.Г. Технико-экономические расчеты при подземной разработке рудных месторождений: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 137 с.
10. Батугина Н.С. Хозяйственный механизм эффективного освоения минерально-сырьевых ресурсов: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Батугина Наталья Сергеевна. Якутск, 2012. 54 с.
11. Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А. Модель оценки эффективности маневрирования производительностью горного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. № 3. С. 2–6.
12. Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Ивашев А.Н. Экономико-математическое моделирование процесса отработки груп-

пы месторождений подземным способом // Горный журнал. 2015. № 12. С. 37–41.
13. Баранов А.О. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд: справ. пособие. М.: Недра, 1993. 283 с.
14. Монтянова А.Н., Вильчинский В.Б., Трофимов А.В. К вопросу сокращения стоимости закладочных смесей на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 4. С. 45–49.

Поступила 10.05.17.
Принята в печать 13.06.17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-21-27

THE RATIONALE BEHIND THE DEVELOPMENT SEQUENCE FOR A CLUSTER OF CLOSELY SPACED COPPER-PYRITE DEPOSITS USING UNDERGROUND METHOD

Vyacheslav N. Kalmykov – D.Sc. (Eng.), Professor
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519)29-84-61. E-mail: prmpi@maqtu.ru

Aleksej A. Gogotin – Ph.D. (Eng.), Associate Professor
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519)29-84-61. E-mail: prmpi@maqtu.ru

Artem N. Ivashov – Postgraduate Student
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519)29-84-61. E-mail: prmpi@maqtu.ru

Yuliya D. Mambetova – Ph.D. (Eng.), Lead Specialist
UralGeoProekt LLC, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mambetova_yuliya@bk.ru

Abstract
Problem Statement (Relevance): Almost all of the copper-pyrite deposits found in the Southern Urals come in clusters, which are closely spaced clusters. The current practice is to develop such fields as separate deposits with no regard to the other fields within the cluster. However, this leads to increased capital investment related to the need to build another concentrator plant, increased ore transportation costs, etc., which eventually affects the overall cost-effectiveness of the mining operations. With the help of a feasibility study looking at the capacity of the mining system and the order in which the fields of a cluster should go in operation, as well as by choosing the best location for the concentrator plant, one can reach better performance indicators. **Objectives:** This research aims to provide substantiation for the operating parameters of the mining system to be used for the development of a cluster of closely spaced copper-pyrite deposits. **Methods Applied**: The methods applied include: Analysis – when looking at the designing practices used in the mining of copper-pyrite deposits; Options - when deciding on the opening method; Analogies - when justifying the choice of machinery; Reasoning - when developing one's mining strategy for working a copper-pyrite cluster; Statistical processing of the projected costs related to the development of a copper-pyrite cluster; Analytical calculations; Feasibility study. **Originality**: Relationships have been established on how the location of the concentrator plant and the cluster development sequence can be determined by the asset value and the spacing between the fields. **Findings:** With the help of the relationships established one can choose, at the design stage, the most cost-effective mining strategy and reduce the ore transportation costs and the capital investment required for the construction of the site and the concentrator plant. **Practical Relevance**: This study helped the authors come up with a method for estimating the technical and economic parameters of mining systems used for the development of copper-pyrite clusters.

Keywords: A cluster of closely spaced fields, the capacity of the mining system, location of the site and the concentrator, development sequence, the order of working the fields of a cluster.

References

1. Seravkin I.B., Pirozhok P.I., Skuratov V.N. *Mineralnye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitelnogo kombinata* [Mineral resources of the Uchaly Ore Mining and Processing Site]. Ufa: Book Publisher of Bashkortostan, 1994, 328 p. (In Russ.)
2. Dick Yu.A., Kotenkov A.V., Tankov M.S. *Praktika opytno-promyshlennykh ispytaniy tekhnologiy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy* [The practice of running pilot tests for ore mining techniques]. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2014, 480 p. (In Russ.)
3. Volkov Yu.V., Sokolov I.V. *Podzemnaya razrabotka mednokolchedannykh mestorozhdeniy Urala* [Underground mining of copper-pyrite deposits of the Urals region]. Yekaterinburg, 2006, 232 p. (In Russ.)
4. Gavrishev, S.E., Burmistrov, K.V., Kornilov, S.N., Tomilina, N.G. Evaluation of transportation flow charts with open-pit hoisting

systems in open pit/underground mining. *Gornyi Zhurnal* [Mining magazine]. 2016, no. 5, pp. 41–47
5. Kaplunov D.R. *Razvitie proizvodstvennoy moshchnosti podzemnykh rudnikov pri tekhnicheskom perevooruzhenii* [Developing the underground mine facilities as part of revamping]. Moscow: Nauka, 1989, 264 p.
6. Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Ivashov A.N., Gizzatov A.R. *Obosnovanie proizvodstvennoy moshchnosti rudnika po gornym vozmozhnostyam pri osvoenii krutopadayushchikh mednokolchedannykh mestorozhdeniy. Marksheyderskoe i geologicheskoe obespechenie gornykh rabot: sb.nauch.tr.po materialam II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentcii* [Substantiation of the mine capacity when developing steep copper-pyrite deposits. Mine surveying and geological support of mining operations: Proceedings of the 2nd International Scientific Conference. Ed. by E.A. Gorbatova]. Magnitogorsk: Publishing House of Magnitogorsk, 2015, pp. 136–143. (In Russ.)
7. Gogotin A.A., Ivashov A.N., Shveikina Yu.G. Methodology for calculating the maximum number of blocks for the development of inclined and steeply falling ore deposits by an underground method. *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: Materialy 73-y mezhregionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual problems of modern science, technology and education: Proceedings of the 73rd International Scientific Conference. Ed. by V.M. Kolokoltsev]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2015, vol. 1, pp. 14–17. (In Russ.)
8. Nikolaev M.V., Grigorieva E.E., Gulyaev P.V. Assessment of risks influencing innovation activity of industrial enterprises (on example of diamond-brilliant complex). *Eurasian mining*. 2016, no. 2, pp. 8–14. (In Russ.)
9. Tonkikh A.I., Makishin V.N., Ivanovskiy I.G. *Tekhniko-ekonomicheskie raschety pri podzemnoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy: ucheb. posobie* [Feasibility study on underground ore mining: Learner's guide]. Vladivostok: Publishing House of the Far Easten State Technical University, 2007, 137 p. (In Russ.)
10. Batugina N.S. *Khozyaystvennyi mekhanizm effektivnogo osvoeniya mineralno-syrievykh resursov: avtoreferat dis…. doktora ekonomicheskikh nauk* [The economic mechanism behind efficient utilisation of mineral resources: Extended abstract of doctoral dissertation]. Yakutsk, 2012, 54 p.
11. Trubetskoy K.N., Peshkov A.A., Matsko N.A. An efficiency assessment model for adjusting the capacity of a mining site. *Gornyi informatcionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining Bulletin (A journal of engineering sciences)]. 2000, no. 3, pp. 2–6.
12. Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Ivashev A.N. Modeling of the process of mining a group of deposits by underground method. *Gornyi zhurnal* [Mining magazine]. 2015, no. 12, pp. 37–41. (In Russ.)
13. Baranov A.O. *Proektirovanie tekhnologicheskikh skhem i protsessov podzemnoy dobychi rud: spravoch. posobie* [Design of underground ore mining workflows and processes: Handbook]. Moscow: Nedra, 1993, 283 p. (In Russ.)
14. Montyanova A.N., Vilchinsky V.B., Trofimov A.V. On reducing the cost of stowing mixes at the mines of the Polar Branch of MMC Norilsk Nickel JSC. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 45–49.

Received 10/05/17
Accepted 13/06/17

Образец для цитирования

Обоснование порядка отработки группы сближенных медно-колчеданных месторождений подземным способом / Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Ивашов А.Н., Мамбетова Ю.Д. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №2. С. 21–27. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-21-27

For citation

Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Ivashov A.N., Mambetova Yu.D. The rationale behind the development sequence for a cluster of closely spaced copper-pyrite deposits using underground method. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2017, vol. 15, no. 2, pp. 21–27. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-21-27