

References

1. *Sdvizhenie gornyykh porod i zemnoy poverkhnosti pri podzemnykh razrabotkakh* (Movement of rocks and Earth surface during underground operations). Under the editorship of V. A. Bukrinskiy, G. V. Orlov. Moscow : Nedra, 1984. 247 p.
2. Stavrogin A. N., Protosenya A. G. *Prochnost gornyykh porod i ustoychivost vyrabotok na bolshikh glubinakh* (Rock strength and excavation stability on deep depths). Moscow : Nedra, 1985. 271 p.
3. Kuranov A. D., Sidorov D. V. Otsenka napryazhennogo sostoyaniya mezhzdushtrekovykh tse-likov na rudnikakh otkrytogo aktsionernogo obshchestva «Apatit» (Valuation of pillar stress state on mines «Apatit»). *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2011. No. 1. pp. 308–312.
4. Protosenya A. G., Kuranov A. D. Metodika prognozirovaniya napryazhenno- deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva pri kombinirovannoy razrabotke Koashvinskogo mestorozhdeniya (Procedure of rock mass stress-strain state forecasting in hybrid mining of the Koashvin deposit). *Gornyy Zhurnal = Mining Journal*. 2015. No. 1. pp. 67–71.
5. Baryakh A. A. Geomekhanika: sintez teorii i eksperimenta. Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov (Geomechanics: synthesis of theory and experiment. Strategy and processes of mastering of georesources). *Materialy ezhegodnoy nauchnoy sessii Gornogo instituta Uralskogo Otdeleniya RAN, Perm, 19–23 aprelya 2010* (Materials of annual scientific session of Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Perm, April 19–23, 2010). Perm : Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2010. pp. 78–79.
6. Kidybinski A. The role of geo-mechanical modelling in solving problems of safety and effectiveness of mining production. *Archives of Mining Sciences*. 2010. Vol. 55, No. 2. pp. 263–278.
7. Tao Gaoliang, Zhang Jiru, Huang Li, Yuan Lun. *Huazhong keji daxue xuebao. Ziran kexue ban. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*. 2010. No. 8. pp. 103–106.
11. Liu Zeng-Hui, Gao Qian, Dong Lu, Yue Bin. *Yanshan daxue xuebao. Journal of Yanshan University*. 2010. Vol. 34, No. 6. pp. 550–555.
8. Sokolov I. V., Antipin Yu. G. Sistematzatsiya i ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie variantov vskrytiya podzemnykh zasposov pri kombinirovannoy razrabotke mestorozhdeniy (Systematization and economics-mathematical modelling of the methods of underground reserves opening during the combined deposits mining). *Gornyy Zhurnal = Mining Journal*. 2012. No. 1. pp. 67–71.
9. Kuranov A. D. Primenenie chislennogo modelirovaniya dlya vybora bezopasnykh parametrov sistem razrabotki rudnykh mestorozhdeniy v vysokonapryazhennykh massivakh (Application of numerical modelling for design of safety parameters of safety mining method in highly stressed masses). *Zapiski Gornogo instituta = Proceedings of the Mining Institute*. 2013. Vol. 206. pp. 60–64.
10. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. *Proceedings of International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration*. Beijing, 2015. pp. 53–58.
11. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining. *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation : Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*. USA, 2014. pp. 451–457.
12. Kwasniewski M. Odształkieniowy warunek stanu granicznego skal. *Przegląd Górnicy*. 2010. Vol. 66, No. 12. pp. 72–79.
13. Lu H., Gao Y. Stability analysis and reinforcement scheme optimization of large open ending slope. *Journal of Central South University (Science and Technology)*. 2015. Vol. 46. pp. 1786–1798.

УДК 622.273.3

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ЗАЛЕЖИ «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ОСНОВНАЯ» ШАХТЫ «КОМСОМОЛЬСКАЯ»



Т. П. ДАРБИНИАН,
зам. начальника
Центра геодинамической
безопасности,
ggu@tf.nk.normik.ru



Н. К. ТУХВАТУЛЛИН,
ведущий специалист
Центра геодинамической
безопасности

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия



Ю. Б. СИДОРЕНКО,
главный специалист Центра
геодинамической безопасности,
ЗФ ПАО «ГМК Норильский
никель», Норильск, Россия



А. С. КОРЕЦКИЙ,
государственный инспектор,
МТУ Ростехнадзора,
Норильск, Россия

Введение

Проектом отработки совместно залегающих богатых, медистых и вкрапленных руд залежи Центральная основная (ЦО) шахты «Комсомольская» с глубиной залегания более 700 м пред-

Рассмотрены результаты опытно-промышленных испытаний камерной системы разработки на шахте «Комсомольская». В ходе испытаний по мере развития горных работ в панели выявлен факт ухудшения состояния выработок и роста напряжений во временных рудных целиках и в краевой части массива. Установлено, что применяемый способ предотвращения горных ударов с помощью разгрузочных шпуров недостаточно эффективен при увеличенных параметрах камер. Рекомендован другой способ профилактики ударов — бурение разгрузочных скважин.

Ключевые слова: опытно-промышленные испытания, камерная система разработки, опорные элементы, напряженное состояние, горное давление, керновое бурение, категория удароопасности, предотвращение горных ударов.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.06

усмотрено применение сплошных слоевых систем разработки с различным порядком выемки запасов [1, 2]. С целью обеспечения необходимой полноты выемки в качестве способа управления горным давлением все применяемые варианты отработки должны включать в себя закладку выработанного пространства твердеющими смесями [3]. При использовании слоевых систем очистные выработки имеют размеры по ширине и высоте до 10 м. Такие параметры позволяют осуществлять контроль за состоянием кровли при нахождении людей в очистном пространстве.

Одним из путей повышения безопасности труда, роста объемов добычи и снижения потерь руды в недрах в сложных горно-геологических условиях шахты является переход на камерную си-



Схемы отработки камер:

1 и 2 — стадии отработки;

B и H — ширина и высота камеры соответственно

стему разработки без присутствия людей в очистном пространстве. Это позволяет основной объем отбитой руды (до 80 %) отгружать погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) с ручным управлением через торцовые и/или боковые заезды в камеры, а остальной объем руды — с помощью ПДМ с дистанционным управлением непосредственно в очистном пространстве. При использовании данной системы отработка запасов ведется камерами высотой до 25 м — по богатым и медистым рудам и до 45 м — по вкрапленным рудам. В варианте камерной системы для обеспечения полноты выемки руды допускается применение элементов слоевой системы — слоев, почво- и кровлеуступов [4, 5].

**Задачи, методика и результаты
опытно-промышленных испытаний**

Как при слоевой, так и при камерной системе разработки используется сплошной и камерно-целиковый порядок отработки лент. При сплошном порядке отработка следующей ленты проводится «вприсечку» к закладочному массиву ранее отработанной ленты. При камерно-целиковом порядке между заложеной и отработываемой лентами может оставаться рудный целик, при этом ширина его равна ширине ленты.

Для детальной проработки вопросов технологии выемки богатых, медистых и вкрапленных руд с учетом нарушенности и структурного ослабления массива, а также тектоники месторождения техническими службами рудника было принято решение о проведении опытно-промышленных испытаний (ОПИ) камерной системы разработки с решением ряда задач по технологичности выполнения отдельных процессов [6, 7].

Основными задачами испытаний являлись:

- выбор порядка отработки и параметров основных конструктивных элементов очистных камер в зависимости от горно-геологических условий;
- определение и проверка параметров буровзрывных работ;
- оценка устойчивости подготовительных, нарезных и очистных выработок, а также кровли и бортов рудных (бетонных) стенок камер;

- прогноз степени удароопасности массива вокруг горных выработок;
- оценка эффективности мер защиты удароопасного участка массива.

На рисунке представлены рекомендуемые схемы отработки камер, предусматривающие раздельную и постадийную выемку разных типов руд (1-я стадия — выемка и отгрузка богатых и медистых руд, 2-я стадия — то же, вкрапленных руд). Схемы отличаются способом выполнения 1-й стадии: с проходкой нижнего разрезного штрека (НРШ) и бурением из него вееров восходящих скважин с помощью СБУ типа Simba или Boomer (a); с оформлением нижней подсечки и с таким же обустройством рудного массива (b); с проходкой нижней подсечки по контуру медистых и вкрапленных руд и бурением из нее нисходящих вертикальных рядов скважин тем же набором оборудования (v); с проходкой заходки по тому же контуру с бурением вертикальных рядов скважин с помощью СБУ типа Boomer (r). Во всех этих схемах 2-я стадия выполняется одинаково: с оформлением верхней подсечки и бурением нисходящих вертикальных рядов скважин с помощью СБУ типа Solo. При мощности совместно залегающих богатых и медистых руд менее 7 м рекомендуется применять схемы отработки камер в одну стадию с бурением нисходящих или восходящих скважин.

Для проведения ОПИ предусматривается сплошной или камерно-целиковый порядок отработки камер. При камерно-целиковом порядке выемка руды осуществлялась с оставлением временных рудных, рудобетонных и бетонных целиков.

Среди задач ОПИ выделяется оценка устойчивости породного массива и горных выработок при переходе на камерную систему разработки.

В настоящее время контроль состояния массива, подготовительных, нарезных и очистных выработок ведут комплексом методов, включающих инструментальные измерения, визуальные наблюдения и анализ технологических показателей системы разработки. Прогноз степени удароопасности осуществляют, в соответствии с Положением [8], базовым методом по дискованию

керн и одним из геофизических методов, применяемых на руднике (вибросейсмический, электрометрический и т. д.). Инструментальная оценка степени удароопасности проводится в процессе проходки разрезных штреков виброакустическим методом с помощью прибора «Прогноз-2», с периодичностью измерений не реже 1 раза в месяц [9–11].

В соответствии с Положением и на основании решения Комиссии по горным ударам ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», участки поля шахты «Комсомольская» с глубиной залегания более 700 м отнесены к опасным по горным ударам, с глубиной менее 700 м — к склонным по горным ударам. В составе рудника действует подземный участок прогнозирования и предотвращения горных ударов (ПУППГУ), задачами которого являются своевременное выполнение работ по оценке удароопасности массива на основании результатов визуальных наблюдений и инструментальных методов, а также разработка, внедрение и оценка эффективности противоударных мероприятий. Согласно требованиям Указаний [12], передовые горные выработки, субпараллельные фронту очистных работ и расположенные в зоне опорного давления, должны проходить с применением противоударных мероприятий. На шахте «Комсомольская» защитные зоны вокруг горных выработок формируются путем бурения разгрузочных шпуров, а также камуфлетным взрыванием зарядов ВВ в шпурах.

Формирование защитных зон для ведения очистных работ на участке ОПИ осуществлялось путем бурения разгрузочных шпуров в бока нарезных выработок верхнего и нижнего горизонтов. В соответствии с требованиями [12], параметры шпуров составили: глубина — до 4 м, диаметр — до 52 мм, расстояние между шпурами — до 250 мм.

В качестве регионального прогноза удароопасности использовались геологоразведочные данные и параметры отработанных участков залежей. Локальную оценку категории удароопасности вели геомеханическим и геофизическими методами. Сотрудники ПУППГУ рудника «Комсомольский» определяли категории удароопасности с помощью приборов «Прогноз-2». Во всех случаях была установлена категория «Неопасно».

Для оценки уровня напряжений в районе ОПИ проведено бурение 30 м керновых скважин.

Исследования показали, что напряженное состояние краевых частей не достигало критических значений ($\sigma_{\text{н}}/\sigma_{\text{сж}} < 0,7$) [12]. Повышенные напряжения с уровнем более $0,7\sigma_{\text{сж}}$ отмечались на удалении более 1,5 м от контура выработок, что соответствует категории удароопасности «Неопасно».

Опыт проведения горных выработок на шахте «Комсомольская» показывает, что проблемы при проходке связаны в основном с действием двух факторов [13]. Первый — это наличие в боках/кровле пород весьма сильной нарушенности. Опасность возникает при вскрытии ксенолитов пород, зон дробления тектонических нарушений, пород верхнего или нижнего контакта с рудой. Приведение контура выработки в безопасное состояние путем оборки заколов вызывает чрезмерное увеличение сечения. Бурение шпуров для крепления приводит к насыщению приконтурного массива водой и в конечном счете к еще большему сниже-

нию его устойчивости [14–16]. Второй фактор — наличие вблизи контура выработки субпараллельной ему серии трещин, опояривающих тектоническое нарушение. Ситуация усугубляется при наличии в плоскости трещин ослабляющих минералов (ангидрит, хлорит и т. п.). Сотрясательный эффект при ведении взрывных работ приводит к отслоению отдельных пластов горных пород, ограниченных ослабленными плоскостями трещин.

Известно, что величина напряжений в опорных элементах напрямую зависит от вынимаемой мощности рудного тела. С увеличением числа отработанных камер происходит увеличение пролета подработки и растут нагрузки на опорные элементы, которыми являются временные рудные целики и краевая часть массива впереди фронта отработки [17–18].

При визуальных наблюдениях в горных выработках северной части залежи ЦО начали фиксироваться признаки проявления горного давления, отмечено нарастание акустической шумности в окружающем массиве и заколообразование боков выработок. Последующие визуальные наблюдения в районе проведения ОПИ подтвердили нарастание акустической активности массива — проявляется она в виде резких стуков и сухих щелчков. Также, по сравнению с ранней стадией проведения ОПИ, изменилось состояние нарезных выработок — стали проявляться деформации контура выработок, преимущественно в боках, что свидетельствует о наличии повышенных вертикальных напряжений [19].

Анализ результатов бурения керновых скважин для оценки напряженного состояния массива базовым методом по дискванию керн из НРШ панели 22-юг показывает, что, несмотря на категорию удароопасности «Неопасно», напряжения порядка $0,42\sigma_{\text{сж}}$ отмечались на глубине 1 м от обнажения выработки.

Заключение


С учетом выявленных признаков повышения горного давления можно сделать вывод, что разгрузочные шпуры не обеспечивают эффективного снижения напряжений. В первую очередь это связано с тем, что разгрузочные шпуры длиной до 4 м формируют защитную зону лишь в приконтурном массиве верхнего или нижнего штрека. При этом в стенках камер высотой до 45 м располагаются породы и руды с высокими упругими свойствами, способными к накоплению повышенных напряжений.

Для обеспечения геодинамической безопасности при ведении горных работ на участке ОПИ по рекомендации АО «ВНИМИ» решено изменить способ разгрузки — вместо бурения разгрузочных шпуров из разрезных выработок осуществлять формирование защищенных зон разгрузочными скважинами, которые бурятся в припочвенной части рудного тела из подготовительных и нарезных выработок. Глубина скважин не должна превышать 25 м, чтобы не допустить отклонения забоев скважин от проектного положения из-за их искривления. Диаметр скважин следует выбирать, исходя из имеющегося бурового оборудования, но не менее 105 мм. Расстояние между стенками скважин, в зависимости от их диаметра, принимать согласно Указаниям [12].

В настоящее время исследования продолжают, ведется весь комплекс наблюдений, предусмотренных методикой испытаний.

Библиографический список

1. Проект «Рудник «Комсомольский». Отработка фланговых запасов богатых руд». — Норильск, 1996 г.
2. Зубов В. П., Морозов М. Д., Малутин А. С. Обеспечение устойчивости боков очистных заходок при слоевых системах разработки богатых железных руд // Записки Горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. 2014. Т. 207. С. 26–32.
3. Малутин А. С. Предотвращение обрушений краевых частей рудного массива в очистных заходках при ведении горных работ слоевыми системами с закладкой выработанного пространства // Записки Горного института. Проблемы недropolьзования. 2013. Т. 206. С. 81–85.
4. Туртыгина Н. А. Выбор оптимальных параметров камерной системы разработки с увеличенными параметрами очистного пространства // Научный вестник Норильского индустриального института. 2011. № 8. С. 33–35.
5. Анохин А. Г. Опыт внедрения камерных систем разработки при отработке «медистых» руд рудника «Октябрьский» // Геодинамика и современные технологии отработки удароопасных месторождений : сб. науч. тр. науч.-практич. конф. — Норильск : ОАО «ГМК «Норильский никель», 2012. С. 106–112.
6. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. — М. : Недра, 1980. — 360 с.
7. Казикаев Д. М. Геомеханика подземной разработки руд : учебник для вузов. — М. : МГУ, 2005. — 542 с.
8. Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. — М., 2013.
9. Шкуратник В. Л., Николенко П. В., Кормнов А. А. Обоснование метода ультразву-

- кового корреляционного каротажа для структурной диагностики кровли горных выработок // ФТПРПИ. 2015. № 3. С. 41–47.
10. Борщ-Компониет В. И., Макаров А. Б. Горное давление при отработке мощных полигидрических залежей. — М. : Недра, 1986. — 271 с.
11. Казикаев Д. М., Савич Г. В. Практический курс геомеханики подземной и комбинированной разработки руд : учебное пособие. — М. : Горная книга, 2012. — 224 с.
12. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. — Норильск, СПб, 2015.
13. Галаев Р. Б., Наговицин Ю. Н., Плиев Б. З., Андреев А. А., Вильчинский В. Б. Совершенствование способов крепления выработок на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // Горный журнал. 2014. № 4. С. 25–28.
14. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. The finite element method: its basis and fundamentals. 7th ed. — Butterworth-Heinemann, 2013. — 756 p.
15. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. Characteristics of instrumental support of structural heterogeneity control around mining using noise probing signals // Сб. науч. тр. НИТУ «МИСиС». — М., 2015. С. 60–65.
16. Анохин А. Г., Семенов К. А., Дарбинян Т. П., Цирель С. В., Мулев С. Н. Методология учета степени влияния нарушения рудопородного массива на сейсмический риск // Горный журнал. 2014. № 4. С. 19–24.
17. Underground mining technology: centuries of history from the foundation for today's sophisticated systems // Engineering and Mining Journal. 2013. Supplement. P. 8–16.
18. Fisor S. Roof bolting technology // Coal Age. 2012. Vol. 117. No. 5. P. 26–30.
19. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. — М. : Горная книга, 2006. — 391 с. 

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 7, pp. 28–32
 DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.06

Pilot trial of room-and-pillar mining in Tsentralnaya Osnovnaya ore body in Komsomolskaya Mine

Information about author

T. P. Darbinyan¹, Deputy Head of Mining Department, ggu@tf.nk.norilsk.ru

N. K. Tukhvatullin¹, Leading Specialist, Geodynamic Safety Center

Yu. B. Sidorenko¹, Leading Specialist, Geodynamic Safety Center

A. S. Koretskiy², Governmental Inspector

¹ Polar Division, Norilsk Nickel, Norilsk, Russia

² Interregional Technological Department, Rostekhnadzor Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, Norilsk, Russia

Abstract

The Komsomolskaya Mine project provides for slice longwall with cemented backfilling for the ore body named Tsentralnaya Osnovnaya.

Aiming to improve the mine safety and to enhance its output, as well as to reduce ore loss, the technical services of the mine decided on a pilot trial of room-and-pillar mining method.

If the thickness of the associated high-grade cupriferous ore occurrence is more than 7 m, the room-and-pillar mining schemes condition separate extraction of different type ore (the first stage is extraction of high-grade cupriferous ore, the second stage is mining of finely disseminated ore); if the ore thickness is less than 7 m, it is recommended to carry out single-stage room-and-pillar.

The ground control and safety of development and preparatory drives and rooms involve a package of measures, including instrumental measurement, visual observation and analysis of technological parameters of the mining method.

Formation of safety zones for stoping in the area of the pilot trial involves destressing drilling to the depth of 4 m in sidewalls of preparatory drives on the upper and lower horizons.

The research findings have exhibited increased stresses at a level higher than $0.7\sigma_{com}$ at a distance of more than 1.5 m from the stoping perimeter, which falls within the rockburst unshazard category. At the same time, visual observation in the northern stopes of the Tsentralnaya Osnovnaya ore body discovers traces of ground pressure events: growth of acoustic noise in the form of sharp rattle and dry clicking; condition of the preparatory drives has altered — the sidewall perimeter deforms, which is reflective of increased vertical stresses.

In view of the discovered signs of higher overburden pressure, it is concluded on inefficiency of the destressing holes to relax stresses. To ensure geodynamic safety of stoping in the area of the pilot trial, it was decided to change the stress relaxation technique and to replace the destressing drilling from preparatory drives by formation of safety zones by relief hole drilling.

Keywords: pilot trial, room-and-pillar mining method, supporting elements, stress state, rock pressure events, core drilling, rockburst hazard category, rockburst prevention.

References

1. Proekt «Rudnik «Komsomolskiy». Otrabotka flangovykh zaspos bogatykh rud» (Project «Komsomolskiy mine». Stopping the off end reserves of rich ores). Norilsk, 1996. (in Russian)
2. Zubov V. P., Morozov M. D., Malyutin A. S. Obespechenie ustoychivosti bokov oчитstnykh zakhodok pri sloeyvykh sistemakh razrabotki bogatykh zheleznykh rud (Stopes walls stabilization at the rich iron ore mining by the flat-back cut-and-fill method). *Zapiski Gornogo instituta. Poleznye iskopaemye Rossii i ikh osvoenie = Proceedings of the Mining Institute. Russian minerals and their mastering.* 2014. Vol. 207. pp. 26–32.
3. Malyutin A. S. Predotvrashchenie obrusheniy kraevykh chastey rudnogo massiva v oчитstnykh zakhodkakh pri vedenii gornykh rabot sloeyvymi sistemami s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva (Prevention of failure of stope edges in cut-and-fill mining methods). *Zapiski Gornogo instituta. Problemy nedropolzovaniya = Proceedings of the Mining Institute. Subsoil use problems.* 2013. Vol. 206. pp. 81–85.
4. Turtygina N. A. Vybory optimalnykh parametrov kamernoy sistemy razrabotki s uvelichennymi parametrami oчитstnogo prostranstva (Choice of optimal parameters of heading-and-stall method with increased working excavation parameters). *Nauchnyy vestnik Norilskogo industrialnogo instituta = Scientific bulletin of Norilsk Industrial Institute.* 2011. No. 8. pp. 33–35.
5. Anokhin A. G. Opyt vnedreniya kamernykh sistem razrabotki pri otrabotke «medistykh» rud rudnika «Oktyabrskiy» (Experience of implementation of heading-and-stall methods during the «cupriferous» ore stoping at Oktyabrskiy mine). *Geodinamika i sovremennye tekhnologii otrabotki udaroopasnykh mestorozhdeniy : sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii (Geodynamics and modern technologies of stoping of bump hazard deposits : collection of scientific proceedings of scientific-practical conference).* Norilsk : MMC «Norilsk Nickel», 2012. pp. 106–112.
6. Borisov A. A. *Mekhanika gornykh porod i massivov (Mechanics of rocks and massifs).* Moscow : Nedra, 1980. 360 p.
7. Kazikaev D. M. *Geomekhanika podzemnoy razrabotki rud : uchebnyy dlya vuzov (Geomechanics of underground ore mining : tutorial for universities).* Moscow : Moscow State Mining University, 2005. 542 p.
8. *Polozhenie po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (Regulations for safe mining at the deposits liable and prone to rock-bumps).* Moscow, 2013. (in Russian)
9. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. Obosnovanie metoda ultrazvukovogo korrelyatsionnogo karotazha dlya strukturnoy diagnostiki krovli gornykh vyrabotok (Ultrasonic correlation logging for roof rock structure diagnostics). *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science.* 2015. No. 3. pp. 41–47.
10. Borshch-Komponiets V. I., Makarov A. B. *Gornoe davlenie pri otrabotke moshchnykh pologikh rudnykh zalezhev (Rock pressure during thick flat ore deposit stoping).* Moscow : Nedra, 1986. 271 p.
11. Kazikaev D. M., Savich G. V. *Prakticheskiy kurs geomekhaniki podzemnoy i kombinirovannoy razrabotki rud : uchebnoe posobie (Practical course of geomechanics of underground and combined ore mining : tutorial).* Moscow : Gornaya kniga, 2012. 224 p.

12. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Talnakhskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (Regulations for safe mining at Talnakh and Oktyabrskoe deposits liable and prone to rock-bumps). Norilsk, Saint Petersburg, 2015. (in Russian)
13. Galaov R. B., Nagovitsin Yu. N., Pliyev B. Z., Andreev A. A., Vilchinskiy V. B. Sovershenstvovanie sposobov krepeleniya vyrabotok na rudnikakh Zapolyarnogo Filiala otkrytogo aktsionernogo obshchestva «ГМК «Norilskiy nikel» (Improvement of excavation support techniques in mines of the Norilsk Nickel mining and metallurgical company). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2014. No. 4. pp. 25–28.
14. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. The finite element method: its basis and fundamentals. 7th edition. Butterworth-Heinemann, 2013. 756 p.
15. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. Characteristics of instrumental support of structural heterogeneity control around mining using noise probing signals. *Sbornik nauchnykh*

- trudov Natsionalnogo Issledovatel'skogo Tekhnologicheskogo Universiteta «MISIS» (Collection of scientific proceedings of National University of Science and Technology «MISIS»)*. Moscow, 2015. pp. 60–65.
16. Anokhin A. G., Semenko K. A., Darbinyan T. P., Tsirel S. V., Mulev S. N. Metodologiya ucheta stepeni vliyaniya narushennosti rudopородного massiva na seismicheskiy risk (Methodology of accounting for effect of ore and host rock damage ratio on seismic risk). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2014. No. 4. pp. 19–24.
17. Underground mining technology: centuries of history from the foundation for today's sophisticated systems. *Engineering and Mining Journal*. 2013. Supplement. pp. 8–16.
18. Fisor S. Roof bolting technology. *Coal Age*. 2012. Vol. 117, No. 5. pp. 26–30.
19. Makarov A. B. *Prakticheskaya geomekhanika. Posobie dlya gornyykh inzhenerov (Practical geomechanics. Tutorial for mining engineers)*. Moscow: Gornaya kniga, 2006. 391 p.

УДК 622.273.217.4

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА РУДНИКА «КОМСОМОЛЬСКИЙ»*



А. В. БЫЛКОВ,
заместитель директора
по горному производству,
andreevaiv@tf.nk.nornik.ru

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия



О. А. ГЕЛЦ,
специалист 1-й категории
Центра геодинамической
безопасности



В. В. АРШАВСКИЙ,
ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук,
ИПКОН РАН, Москва, Россия



В. И. ХУЦИШВИЛИ,
старший научный сотрудник,
АО «ВНИМИ»,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

В 2011 г. на руднике «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» была построена и пущена в эксплуатацию промышленная установка (ПУ) по приготовлению закладочных смесей (ЗС) состава шлак–хвосты–цемент (ШХЦ) с использованием породных хвостов Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ). Производительность ПУ по производству ЗС составляет 750 тыс. м³/год. Пульпу хвостов с содержанием твердого 0,3 подают шламовыми насосами с ТОФ по трубопроводу в накопительный приемный бак емкостью 200 м³, откуда по мере необходимости отбирают и подают насосами на батарею гидроциклонов.

Пески гидроциклонов направляют либо в смеситель, либо в мельницу (предусмотрены оба варианта). Одновременно подают

Рассмотрены причины перепадов качества закладочной смеси относительно кинетики набора прочности. Определены химический и минеральный состав всех компонентов закладочной смеси, установлены факторы, влияющие на прочностные свойства бетона на протяжении всего его жизненного цикла. Результаты прессовых испытаний твердеющих закладочных составов, приготовленных с использованием породных хвостов Талнахской обогатительной фабрики с различным содержанием серы, свидетельствуют о зависимости прочности твердеющего бетона от содержания серы в хвостах.

Ключевые слова: закладочная смесь, состав шлак–хвосты–цемент, хвосты обогащения, кинетика набора прочности, физико-химические исследования, реологические свойства, виды коррозии бетона, транспортабельность закладочной смеси.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.07

гранулированный, предварительно дробленный до крупности частиц менее 3 мм шлак металлургического производства и цемент. Дробление шлака производят при подаче его вместе с другими компонентами в смеситель. Перед подачей в мельницу шлак не дробят. В смесителе все компоненты перемешивают, в мельнице — измельчают и еще раз перемешивают, после чего готовую ЗС подают в закладочную скважину и далее в самотечном или пневмосамотечном режиме по подземным бетоноводам — в выработанное пространство. Сливы гидроциклонов направляют в сгуститель, откуда сгущенную часть пульпы направляют в смеситель или в мельницу, а осветленную — в бак возврата хвостов и далее — на ТОФ.

На первоначальном этапе эксплуатации ПУ были обнаружены перепады качества ЗС относительно кинетики набора прочности, что не гарантирует постоянной безопасности при ведении горных работ по контакту с бетонными обнажениями. При обсуждении данной проблемы было высказано предположение, что ее наиболее вероятной причиной является нестабильный состав породных хвостов. На обогатительных фабриках, как правило, оперативно контролируют содержание в хвостах ценных компонен-

* В работе также принимали участие П. С. Гузанов, А. Э. Лытнева, К. Б. Толпаров, К. В. Смолков.