



**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
ОСВОЕНИЯ БОГАТЫХ И МЕДИСТЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ  
С Понижением ГЛУБИНЫ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Т. П. Дарбинян, В. П. Марысюк, М. П. Сергунин**

*Заполярный филиал ПАО “ГМК “Норильский никель”, E-mail: marysykVP@nomik.ru,  
пл. Гвардейская 2, г. Норильск 663302, Россия*

Приведены результаты опытно-промышленных испытаний по снижению количественных показателей разубоживания в камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства, применяемых в ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель”. Установлены рациональные параметры буровзрывных работ.

*Закладочная смесь, геотехнология, камерная система разработки*

**JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE GEOTECHNOLOGICAL PARAMETERS  
FOR MINING RICH AND COPPER-BEARING ORE DEPOSITS WHILE  
DECREASING THE MINING DEPTH**

**T. P. Darbinyan, V. P. Marysyuk, and M. P. Sergunin**

*Polar Division of Public Joint Stock Company "Mining and Metallurgical Company "Norilsk Nickel "  
E-mail: marysykVP@nomik.ru, pl. Gvardeyskaya 2, Norilsk 663302, Russia*

The results of pilot tests to reduce the quantitative dilution indicators in room-and-pillar mining systems with backfilling of the mined-out space used in the Polar Division of Public Joint Stock Company "Mining and Metallurgical Company “Norilsk Nickel” are presented. The reasonable parameters for drilling-and-blasting operations are determined.

*Backfilling mixture, geotechnology, room-and-pillar mining system*

ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” с 1965 г. ведет добычу сульфидсодержащих медно-никелевых руд Талнахского и Октябрьского месторождений пятью действующими рудниками системами разработки с закладкой выработанного пространства. Обоснованность выбора данной технологии обусловлена высокой ценностью извлекаемых руд и большой глубиной залегания, поэтому на первый план выходят геотехнические аспекты с ключевым направлением — совершенствование применяемой в компании камерной системы разработки [1 – 7].

Очевидно, что выделенное направление является достаточно сложной и объемной задачей, поэтому в практическом плане ее решение включает ряд конкретных задач, среди которых выбор параметров:

— очистных камер, обеспечивающих оптимальную производительность системы разработки и устойчивость очистных выработок;

—закладочных смесей для оптимальной скорости вовлечения в отработку вторичных камер и параметров разубоживания закладочным бетоном;

— буровзрывных работ, определяющих приемлемый уровень потерь и разубоживания [8 – 11].

Указанные задачи являются основополагающими и требуют четкой и слаженной работы всех внутрискрутурных подразделений, поэтому координация и процесс принятия решений в компании осуществляется в рамках постоянно действующей Научно-технической секции. Такой

подход обусловлен тем, что если при решении задач первой группы существует достаточно четкое понимание и представление, каким образом изменение геотехнических решений может повлиять на конечный результат, то для задач второй или третьей группы процесс не так очевиден. В данной работе рассмотрены задачи, относящиеся ко второй и третьей группе [12, 13].

Основными недостатками отработки запасов системами разработки с закладкой выработанного пространства, которая ведется в Заполярном филиале, помимо высокой себестоимости добычи, являются невысокая производительность, связанная с наличием временных затрат на технологические операции по закладке первичных и вторичных камер и разубоживание полезного компонента закладочным бетоном. Наиболее очевидный способ решения данной задачи — применение закладочных смесей с физико-механическими характеристиками, отличающимися от традиционно используемых в настоящее время, в частности прочностными характеристиками и скоростью набора нормативной прочности. Для отработки данной технологии предлагалось простое техническое решение — увеличение марочной прочности закладочного бетона с М30 до М60 с апробированием в опытно-промышленном порядке. Основным эффектом от внедрения данной технологии планировалось получить за счет снижения показателей разубоживания бетоном (с 3.1–3.3 до 1.0–1.3 %) и повышения интенсивности ведения горных работ на флангах панелей (сокращения времени начала отработки вторичных камер до одного месяца после закладки первичных).

Работа состояла из трех этапов. На первом этапе осуществлялось численное моделирование, позволяющее получить более четкие представления о механизмах разрушения закладочного бетона в боках и кровли камер, а также разрабатывался план проведения опытно-промышленных испытаний. На втором этапе эти испытания выполнялись с параметрами буровзрывных работ, традиционно применяемыми на рудниках, и на третьем — с измененными.

**Этап 1. Математическое моделирование.** Для определения целесообразности использования высокопрочной закладочной смеси М60 в части снижения показателей разубоживания руды закладочным бетоном специалистами Центра геодинамической безопасности было выполнено моделирование поведения закладочных массивов М60 и М30. Характеристики расчетных моделей представлены в табл. 1 (влияние гравитационных сил не учитывалось).


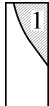


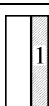
ТАБЛИЦА 1. Характеристики расчетных моделей

Номер варианта	Марка бетона	Недозаклад	Влияние взрывных работ
1	М30	Нет	Не учитывается
2	М30	“_”	Учитывается
3	М60	“_”	“_”
4	М30	Да	“_”
5	М60	“_”	“_”

В данной работе мы не будем останавливаться на постановке и методе решения задачи, а приведем полученные результаты, выводы и рекомендации по применению закладки М60. По результатам моделирования сделан вывод о том, что смесь М60 дает существенное снижение разубоживания закладочным бетоном при вскрытии недозакладов (табл. 2). Здесь под недозакладом следует понимать и такой естественный процесс, как усадка закладочного бетона во времени.

Отмечено, что разрушение целиков происходит от действия взрывных работ и наличия недозакладов (варианты 2–5). При отсутствии недозакладов переход на более высокопрочную закладку не дает ожидаемых эффектов (варианты 2 и 3) и может приводить даже к большим разрушениям закладочного бетона в виду большей хрупкости М60. На основании этого предложено применение высокомарочной закладки преимущественно в верхней и средней части.

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета моделей

Номер варианта	Характер разрушений	Описание разрушений
1		Разрушений нет
2		Разрушения краевой части массива за счет сжимающих напряжений (зона 1)
3		Разрушения краевой части массива за счет сжимающих напряжений (зона 1), площадь разрушений несколько больше за счет большей хрупкости закладочного материала
4		Разрушения краевой части массива за счет сжимающих напряжений (зона 1). В верхней части целика разрушение за счет растягивающих напряжений, направленных вертикально (зона 2)
5		Разрушения краевой части массива за счет сжимающих напряжений (зона 1)

**Этап 2. Закладка опытных камер.** На втором этапе велась опытно-промышленная отработка 66 камер с закладочным бетоном М60 с плотностью 1.3 – 1.8 т/м<sup>3</sup> в период с апреля 2015 г. по февраль 2019 г. (табл. 3). Из них основная часть имела высоту до 20 м, 28 % — свыше 20 м. Наличие большого числа камер высотой до 20 м обусловлено тем, что применение данной технологии подразумевало увеличение производительности камерной системы разработки за счет сокращения времени на твердение закладочного бетона.

ТАБЛИЦА 3. Ангидрито-шлако-цементные составы

Номер	Марка состава	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Контрольная характеристика прочности, МПа			
		Цемент	Ангидрит	Шлак	Вода, л	3 сут	7 сут	28 сут	180 сут
1	М10	$\frac{20-30}{25}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-900}{750}$	500–550	—	0.3	0.5	0.8–1.0
2	М20	$\frac{35-45}{40}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	0.2–0.3	0.4–0.5	1.2–1.4	1.8–2.0
3	М30	$\frac{45-55}{50}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	0.4–0.5	0.7–0.9	1.4–1.7	2.6–3.0
4	М40	$\frac{50-70}{60}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	0.5–0.6	0.9–1.2	1.6–2.0	3.5–4.0
5	М60	$\frac{70-90}{80}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	0.8–1.0	1.2–1.5	2.5–3.0	5.0–6.0
6	М80	$\frac{90-110}{100}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	1.0–1.2	1.5–2.0	3.5–4.0	7.0–8.0
7	М100	$\frac{140-160}{150}$	$\frac{600-800}{700}$	$\frac{600-800}{700}$	500–550	1.2–1.5	2.5–3.0	4.0–5.0	9.0–10.0

Примечание. Числитель — предел расхода материалов; знаменатель — среднее его значение.

Анализ результатов обработки вторичных камер показал, что обработка смежных камер начинается в среднем через 5–6 мес после окончания работ по их закладке, за это время как закладочный бетон М60, так и М30 успевают набрать нормативную прочность, необходимую для начала работ в смежной камере (рис. 1), поэтому основной экономический эффект получен при обработке камер большой высоты.

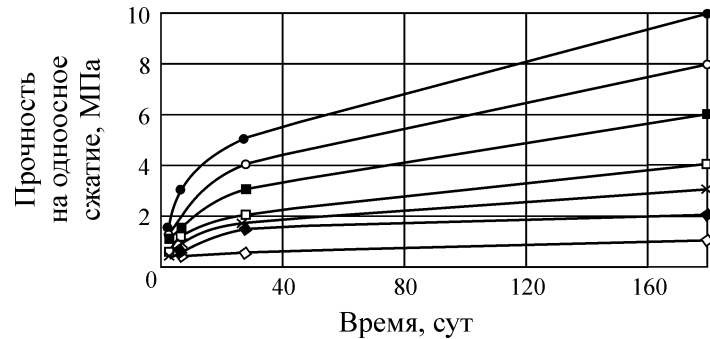


Рис. 1. Кинетика твердения ангидрито-шлако-цементных составов

Как и предполагалось по результатам численного моделирования, проведенного на первом этапе наибольшее влияние на подбор бетона оказали взрывные работы, причем отрицательным моментом применения М60 явилось то, что закладка данного типа сама по себе более хрупкая и поэтому больше подвержена воздействию взрывных работ. Эффект от внедрения закладки М60 достигался только на начальном этапе от 1 до 3 мес: за это время закладка еще не теряет своих пластических свойств, а ее прочностные характеристики уже обладают достаточными свойствами для вскрытия ее в боках камер. В этом случае эффективнее обработка вторичных камер большой мощности (более 30 м) и высокой интенсивности ведения горных работ, как, например, при обработке камеры 5-62,64-2, показанной на рис. 2.

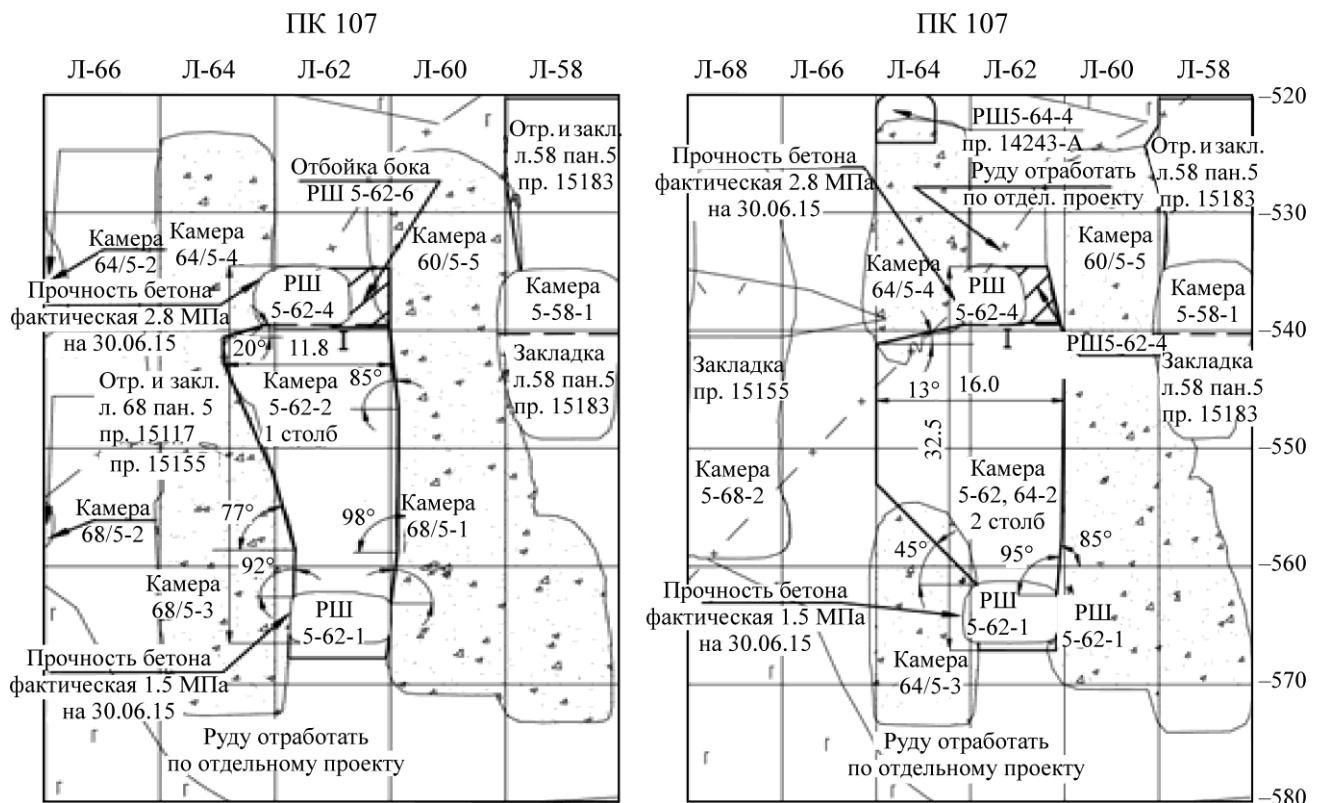


Рис. 2. Разрезы по пикетам камеры 5-62, 64-2 и камера 5-62-2

Камерами 5-62,64-2 и 5-62-2 обрабатывались медистые руды. Высота камеры — 32 м, общий срок стояния камеры под закладкой М60 — 40 дней. Исследование бетона М60 по ленте 60 проводилось через 2 мес после окончания закладки. Фактическая прочность закладки М60 составила 3.2 МПа, что по своим показателям соответствует закладочному бетону М60. Отработка вторичной камеры началась через 143 дня после окончания закладочных работ закладкой М60 в смежной камере. Фактическое разубоживание закладочным бетоном по вторичной камере составило 2.5%, что ниже проектных показателей (3.1–3.3%).

**Этап 3. Отработка параметров буровзрывных работ.** Так как по результатам первых двух этапов установлено, что основным фактором, влияющим на подбор бетона, были взрывные работы, на третьем этапе осуществлялась комплексная отработка параметров БВР. В данном случае предполагалось снижение подбоя бетона только за счет изменения расстояния между зарядом взрывного устройства и контактом “руда–бетон” (рис. 3), в то время как остальные параметры БВР оставались без изменений. Рассматривалось три варианта: базовый с расстоянием между зарядом и контактом “руда–бетон” 1.3 м и два опытных с расстоянием между зарядом ВВ и контактом “руда–бетон” 1.4 и 1.5 м соответственно. Для чистоты эксперимента все три варианта проводились в одной камере, но при различных интервалах, в общей сложности — в четырех камерах: 7-25-4, 4-3-2, 1/7-4 и 5-72-1. Как и предполагалось, наилучшие результаты по снижению подбоя бетона достигнуты с расстоянием между границей отбойки и контактом “руда–бетон” 1.5 м. На рис. 4 представлен фактический подбор бетона по камере 5-72-1.

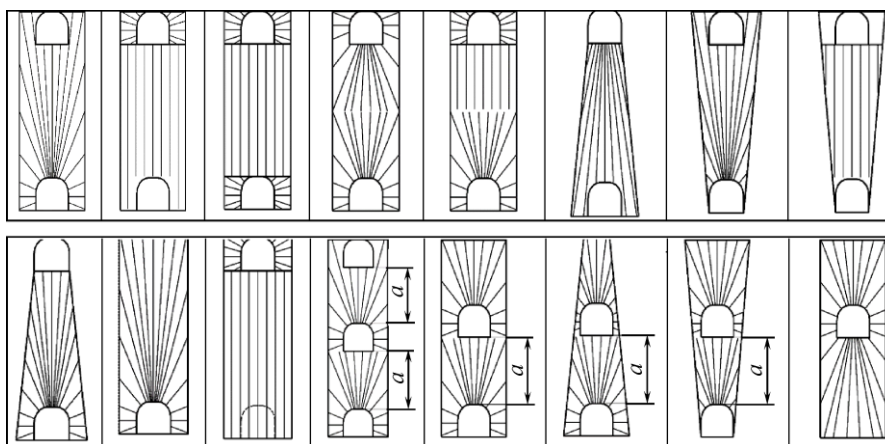


Рис. 3. Схемы обустройства камер

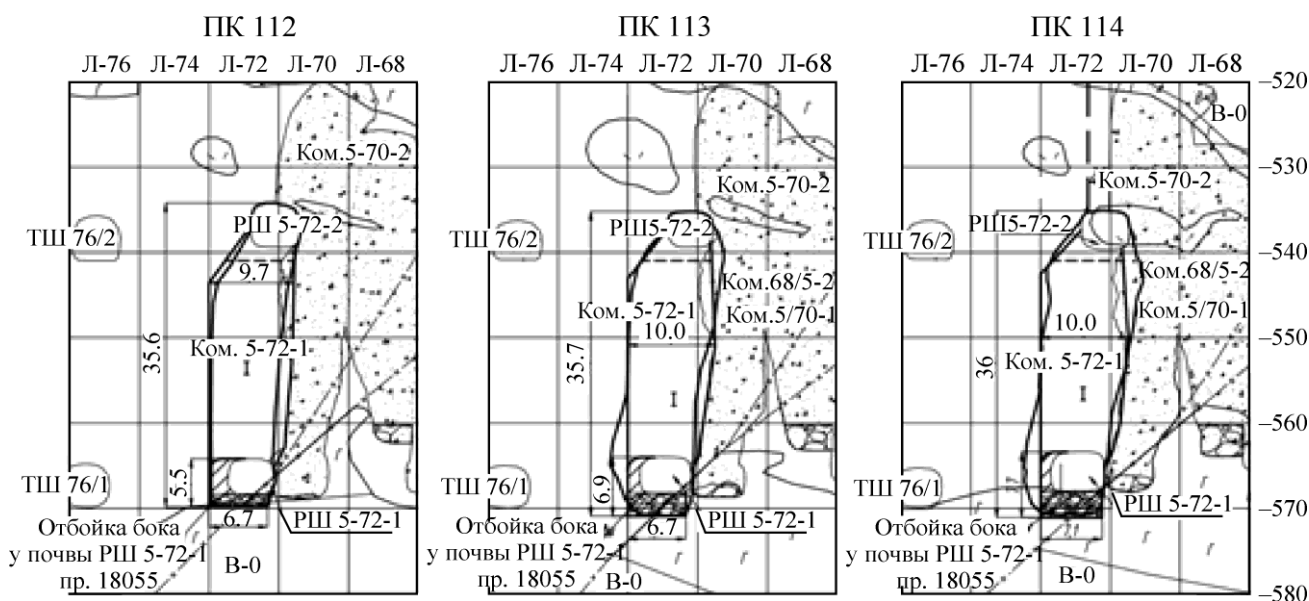


Рис. 4. Разрезы камеры 5-72-1 по пикетам 116–119 с вынесением фактических границ

В данном случае удалось достичь снижения подбоя бетона на 1.3 %, а результаты серий опытных взрывов свидетельствуют о достоверности полученных на первом этапе выводов и рекомендаций.

#### **ВЫВОДЫ**

Установлено, что для обоснования конструктивных параметров геотехнологии освоения богатых и медных рудных залежей требуется комплексный подход с учетом большого количества внешних факторов. Помимо геометрических размеров прочностных характеристик вмещающего массива необходимо учитывать такие основные параметры как физико-механические характеристики закладочной смеси, ее реологические свойства, интенсивность ведения горных работ и влияние взрывных.

Выполненное моделирование поведения закладочных массивов со смесями М60 и М90, показало, что применение смеси М60 дает снижение разубоживания закладочным бетоном при вскрытии недозакладов. Установлено, что высокомарочная закладка целесообразна в верхней и средней части массива и отработка вторичных камер большой мощности (более 30 м) является более эффективной. При ведении буровзрывных работ предложенные параметры, позволяют снизить разрушение бетона на 2.0–2.1 %.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES**

- 1. Anokhin A. G., Podkuiko, N. V., and Vokhmin S. A.** Rationing of losses and dilution of copper-nickel ores in the development systems of the Talnakh and Oktyabrsky deposits with the laying out of the developed space, *Mining Journal*, 2015, no. 6, pp. 55–59 (in Russian) [**Анохин А. Г., Подкуйко, Н. В., Вохмин С. А.** Нормирование потерь и разубоживания медно-никелевых руд в системах разработки Талнахского и Октябрьского месторождений с закладкой выработанного пространства // *Горн. журнал.* — 2015. — №: 6. — С. 55–59.]
- 2. Gorbachev S. A., Darbinyan T. P., and Balandin V. V.** Formation and development of the “Oktyabrsky” mine, *Mining Journal*, 2015, no. 6, pp. 15–18 (in Russian) [**Горбачев С. А., Дарбинян Т. П., Баландин В. В.** Становление и развитие рудника “Октябрьский” // *Горн. журнал.* — 2015. — № 6. — С. 15–18.]
- 3. Anokhin A. G. and Vokhmin S. A.** Features of rationing of extraction indicators for layer systems of development with laying of the worked-out space with hardening mixtures, *News of the higher institutions, Mining Journal*, 2008, no. 2, pp. 11–17 (in Russian) [**Анохин А. Г., Вохмин С. А.** Особенности нормирования показателей извлечения для слоевых систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями // *Изв. вузов. Горн. журнал.* — 2008. — № 2. — С. 11–17.]
- 4. Anokhin A. G., Shlyaptsev V. F., Pliev B. Z., and Bogaychuk A. V.** Improving the chamber system for the development of cuprous ores at the “Oktyabrsky” mine, *Mining Journal*, 2010, no. 6, pp. 66–68 (in Russian) [**Анохин А. Г., Шляпцев В. Ф., Плиев Б. З., Богайчук А. В.** Совершенствование камерной системы разработки медистых руд на руднике “Октябрьский” // *Горн. журнал.* — 2010. — № 6. — С. 66–68.]
- 5. Darbinyan T. P., Tuxvatullin N. K., Sidorenko Yu. B., and Koretsky A. S.** Experimental-industrial tests of the chamber development system at the “Central Primary” mine of the “Komsomolskaya” mine, *Mining Journal*, 2016, no. 7, pp. 28–32 (in Russian) [**Дарбинян Т. П., Тухватуллин Н. К., Сидоренко Ю. Б., Корецкий А. С.** Опытнo-промышленные испытания камерной системы разработки на залежи “Центральная основная” шахты “Комсомольская” // *Горн. журнал.* — 2016. — № 7. — С. 28–32.]
- 6. Anokhin A. G. and Shlyaptsev V. F.** Mine “October”, *Mining Journal*, 2010, no. 6, pp. 14–20 (in Russian) [**Анохин А. Г., Шляпцев В. Ф.** Рудник “Октябрьский” // *Горн. журнал.* — 2010. — № 6. — С. 14–20.]

7. **Anokhin A. G., Vokhmin S. A., and Trebush Yu. P.** Influence of the processes of cleaning works on the rationing of losses and dilution of ore, Modern technologies for the development of mineral resources, Collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Technical Conference, 2006, no. 4, pp. 304–306 (in Russian) [**Анохин А. Г., Вохмин С. А., Требуш Ю. П.** Влияние процессов очистных работ на нормирование потерь и разубоживания руды // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов IV-й Междунар. науч.-техн. конф. — 2006. — № 4. — С. 304–306.]
8. **Vilchinsky V. B., Savchikov L. V., Kozhiev Kh. Kh., Marysyuk V. P., and Nagovitsin Yu. N.** The introduction of high-performance development systems in the mines of the Polar Division of OJSC MMC Norilsk Nickel, Mining Journal + Non-Ferrous Metals, Special Issue, 2011, no. 8/9, pp. 8–12 (in Russian) [**Вильчинский В. Б., Савчиков Л. В., Кожиев Х. Х., Марысюк В. П., Наговицин Ю. Н.** Внедрение высокопроизводительных систем разработок на рудниках ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель” // Горн. журнал + Цв. металлы: Спец. вып. — 2011. — № 8/9. — С. 8–12.]
9. **Tapsiev A. P. and Uskov V. A.** Comparative Technical and Economic Evaluation of Development Systems with Consideration of Enrichment and Metallurgical Conversion at the Mines of the Polar Division of PJSC “MMC “Norilsk Nickel”, Fundamental and Applied Mining Science, 2016, vol. 1, no. 3, pp. 201–205 (in Russian) [**Тапсиев А. П., Усков В. А.** Сравнительная технико-экономическая оценка систем разработки с учетом обогатительного и металлургического переделов на рудниках ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — Т. 1. — № 3. — С. 201–205.]
10. **Khubulov O. Yu., Anushenkov A. N., Artemenko Yu. V., and Uskov V. A.** Increasing the productivity of existing backfilling complexes at the mines of the ZF OJSC “Norilsk Nickel” MMC due to the modernization of operating mills, Mining Journal, 2010, no. 6, pp. 85–87 (in Russian) [**Хубулов О. Ю., Анушенков А. Н., Артеменко Ю. В., Усков В. А.** Увеличение производительности существующих закладочных комплексов на рудниках ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель” за счет модернизации действующих мельниц // Горн. журнал. — 2010. — № 6. — С. 85–87.]
11. **Vilchinsky V. B., Trofimov A. V., Koreivo A. B., Galaov R. B., and Marysyuk V. P.** Justification of the feasibility of the use of development systems with backfill mixtures in the mines of Talnakh, Non-ferrous metals, 2014, no. 9, pp. 23–28 (in Russian) [**Вильчинский В. Б., Трофимов А. В., Корейво А. Б., Галаов Р. Б., Марысюк В. П.** Обоснование целесообразности применения систем разработки с закладочными смесями на рудниках Талнаха // Цв. металлы. — 2014. — № 9. — С. 23–28.]
12. **Darbinyan T. P., Fender S. N., Marysyuk V. P., and Gorpichenko V. A.** The experience of introducing experimental drilling passports and blasting projects during the breaking of chambers between or filling in the backfill concrete at the Oktyabrsky mine, Problems of mining sciences and mining industry, Conference, 2018, vol. 2, pp. 35–42 (in Russian) [**Дарбинян Т. П., Фендер С. Н., Марысюк В. П., Горпиченко В. А.** Опыт внедрения экспериментальных паспортов бурения и проектов взрывных работ при отбойке камер между или вприсечку к закладочному бетону на руднике “Октябрьский” // Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности: труды конф., 2018. — Т. 2. — С. 35–42.]
13. **Guzanov P. S., Lytneva A. E., Anushenkov A. N., and Volkov E. P.** Stowing mixes based on ore dressing waste in underground mining systems in the Norilsk industrial region, Mining Journal, 2015, no. 6, pp. 85–88 (in Russian) [**Гузанов П. С., Лытнева А. Э., Анушенков А. Н., Волков Е. П.** Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горн. журнал. — 2015. — № 6. — С. 85–88.]