

А.Н. Петров**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ
КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ
С ЗАКЛАДКОЙ НА РУДНИКЕ АЙХАЛ***

Определены допустимые пролеты обнажений породного и рудного массивов, рассчитана величина зон трещинообразования в закладочном массиве при отбойке прилегающего рудного массива, которая составила от 1,2 до 2,0 м. Выведена зависимость величины необходимого недобура скважин от пористости рудного массива. Величина недобура при средней пористости, равной 6%, при применении предохранительного ПВВ аммонита АП-5ЖВ при диаметре скважин 75 мм составляет 0,31 м. Для ПВВ Граммонит 79/21 недобур скважин принят 0,5 м. Приведены первые результаты опытно-промышленных испытаний камерной системы разработки с закладкой. На основании серии опытных взрывов, установлены рациональные параметры буровзрывных работ и разработан проект организации работ. Удельный расход ВВ составил 1,11 кг/т, удельный расход бурения – 0,195 п.м/т, выход руды с 1 п.м. скважин – 5,1 т/п.м.

Ключевые слова: камерная система разработки; закладка выработанного пространства; пролеты обнажений; зона трещинообразования; недобур скважин; опытно-промышленные испытания; параметры БВР.

Одним из путей повышения эффективности отработки залежей ценных руд в сложных горно-геологических условиях системами с закладкой выработанного пространства является переход на камерные системы с закладкой.

Опыт внедрения камерных систем с закладкой на ряде рудников показал, что существенно возрастают интенсивность отработки и производительность труда, снижается себестоимость добычи руды, при удовлетворительных показателях потерь и разубоживания [1–3].

Горно-технические условия месторождения трубки «Айхал» являются весьма сложными и характеризуются следующими основными факторами:

- распространением в районе работ многолетней мерзлоты;
- распространением в разрезе месторождения большого количества раз-

новидностей пород, отличающимся по физико-механическим свойствам;

- наличием в верхней части трубки отработанного карьерного пространства.

С учетом фактического состояния развития горных работ по руднику «Айхал», создания предохранительного барьерного целика под дном карьера, установлено, что применение камерных систем с обрушением без закладки, на данном этапе невозможно. Поэтому, наиболее обоснованным и правомерным стал вопрос о необходимости проведения опытно-промышленных работ (ОПР) по испытанию новой камерной системы разработки, с буровзрывной технологией обрушения горной массы и последующей закладкой выработанного пространства.

Проанализировав существующее состояние горных работ по руднику,

* Работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и образования РФ в рамках комплексного проекта № 2010–21801-001 по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения.

установлено, что наиболее обоснованным представляется возможность провести эти испытания на локальном опытно-промышленном участке (ОПУ) Юго-Западного рудного тела (ЮЗРТ). Для формирования ОПУ принят локальный участок, расположенный в северо-восточной части ЮЗРТ, в границах отметок +175 м/+135 м.

При оценке устойчивости и взрываемости руд и пород месторождения «Айхал» были использованы результаты лабораторных определений физико-механических свойств горных пород выполненные в лабораториях Амакинской ГРЭ и института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ОАО).

Были проведены расчеты по определению рейтинга горных пород при помощи рейтинговой классификации Д. Лобшира (Рейтинг MRMR) для условий месторождения «Айхал» [4, 5]. Рейтинги MRMR складываются из суммы частных рейтингов (IRMR), учитывающих прочностные характеристики массива, количественные и качественные характеристики трещиноватости, которая в свою очередь домножается на поправочные коэффициенты, отражающие степень выветрелости пород, ориентацию трещин в массиве, параметры напряженного состояния, гидрогеологические условия и др.

Для характеристики горно-геологических условий месторождения весь массив пород условно был разделен на

3 части: вмещающие породы, вмещающие породы приконтактной зоны (до 4–5 м до контакта с рудой) и рудное тело. Результаты расчетов рейтинга MRMR для условий руд и вмещающих пород месторождения Айхал приведены в табл. 1.

В связи с низкой устойчивостью руд и пород на месторождении «Айхал», предлагается вариант применения камерной системы с закладкой с поэтажной фланговой подготовкой блока и нисходящим порядком отработки. Ширина обрабатываемых камер принята 10 м из условий обеспечения устойчивости. Эти параметры уточняются в ходе проведения опытно-промышленных испытаний на участке ОПР.

При применении на Айхальском руднике системы с закладкой выработанного пространства необходимо было определить степень влияния сейсмического действия взрыва на искусственный массив (закладку). В связи с этим были выполнены расчеты величины трещинообразования по известным методикам [6].

Выведенные зависимости изменения величины скорости сейсмоколебаний от одновременно взрывающегося заряда и расстояния до центра взрыва позволили установить зоны упруго-пластических и упругих деформаций для рассматриваемого рудника. Установлено, что в результате массовой отбойки руды в искусственных целиках,

Таблица 1

Результаты расчетов рейтинга MRMR

	Вмещающие породы	Вмещающие породы приконтактной зоны	Руда
Рейтинг MRMR	47,2	40,3	46,3
Класс пород по Д. Лобширу	3	4	3
Описание пород по устойчивости (обрушаемости)	средняя (средняя)	низкая (хорошая)	средняя (средняя)
Допустимый пролет обнажения	10–12	3–5	8–10

прилегающих к очистным камерам, могут возникать остаточные деформации горных пород, способные привести к откольным явлениям, к разубоживанию руды закладочным материалом, а иногда и к потере устойчивости целиков. При массовой подземной отбойке руд параметры зоны упруго-пластических деформаций в целиках, прилегающих к очистным камерам, определяемые скоростью колебаний элементов массива и расстоянием от центра взрыва, изменяются по степенному закону. С учетом законов отражения и преломления определена интенсивность сейсмоколебаний и величины динамических напряжений внутри искусственных целиков и доказано, что на контуре искусственных целиков возникают сжимающие и растягивающие напряжения, превышающие величину напряжения на фронте ударной волны, т.е. напряжения, достаточные для разрушения их приконтурной части. Наряду с возможными разрушениями приконтурной части целиков под влиянием преломленной в целик сейсмической волны возможно образование трещин на протяжении всего целика. Приведенный расчет величины трещинообразования показывает, что глубина трещин для искусственных целиков на Айхальском руднике при отбойке руды с весом ВВ в одном замедлении, равном 400 кг, будет составлять по методике Т.Т. Исмаилова – 2 м, а по методике В.Х. Пергамента – 1,2 м [6, 7].

При скважинной отбойке руды при камерной системе разработки ромбовидными камерами возникает опасность разрушения вышележащего закладочного массива в результате сейсмического и динамического воздействия взрыва. В то же время, из-за высокой ценности руды недопустимо оставление предохранительной рудной корки на границе «руда-закладка», т.к. это вызовет значительные потери руды. Все это требует достаточно точного опре-

деления зон разрушения при взрыве скважинных зарядов промышленных взрывчатых веществ (ПВВ).

Радиус зоны регулируемого дробления в торцевой части скважинного заряда эквивалентен величине недобура до границы руды с закладкой. Для определения недобура скважин в условиях рудника «Айхал» выполнен расчет по методике МГГУ основанной на феноменологической квазистатическо – волновой (ФСКВ) модели разрушения горных пород взрывом зарядов ПВВ [8] для следующих условий: диаметр скважины составляет 75 мм. Соответственно эквивалентный сферический (сосредоточенный) заряд также имеет диаметр 75 мм. Поскольку закладка не имеет блочную структуру и является однородной, то блочное смещение равно нулю, т.е. $\bar{u}_{bl} = 0$. Так как $\sigma_{рас} > \Delta E$, то величина $L = 0$. Пористость кимберлитов колеблется от 5 до 10 % (или 0,05–0,1). Принимая ее как переменную величину получим величину недобура в виде функции от пористости (включая объем собственно пор, а также микротрещин и др.). В качестве ПВВ принят предохранительный аммонит АП5ЖВ скорость детонации которого находится в пределах 3,6–4,6 км/с. Средняя плотность ПВВ составляет $\Delta = 1100$ кг/м³; показатель адиабаты по окончании процесса детонации равен $\gamma_0 = 2,8$; показатель двухзвенной адиабаты $\gamma_2 = 1,6$; параметр адиабаты $\zeta = 0,1037$. Среднюю прочность кимберлитов на растяжение принимаем равным 3 МПа. Величина недобура ℓ , как функция от пористости P будет равна

$$\ell = 0,120 \cdot \left(\frac{1}{15,27 \cdot 10^{-5} + P} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (1)$$

График данной функции представлен на рис. 1.

Непосредственно из полученного графика видно, что в условиях рудни-

ка «Айхал» величина недобура варьирует в пределах от 0,5 м при пористости 2% до 0,27 м при пористости 10%. В частности величина недобура при средней пористости, равной 6%, при применении предохранительного ПВВ аммонита АП-5ЖВ при диаметре скважин 75 мм составляет 0,31 м. Для диаметра скважин 89 мм и ПВВ Граммонит 79/21, рекомендуется применять недобур скважин до закладочного массива не менее 0,5 м [7, 8].

Конструктивное исполнение варианта камерной системы разработки с закладкой принятого для ОПР приведено на рис. 2.

Запасы блока участка ОПР, в отметках +175 м/+135 м делятся на 3 подэтажа, подэтаж на камеры. Отработка запасов в блоке участка ОПР производится в нисходящем порядке. Параметры камер:

- ширина камер 10 м
- высота камер в подэтаже в отм. +175 м/+162,5 м – равна 12,5 м.
- высота камер в подэтаже в отм. +162,5 м/+149,5 м – равна 20 м.
- высота камер в подэтаже в отм. +149,5 м/+135 м – равна 25 м.

Данная разбивка блока на подэтажи разной высоты позволяет опреде-

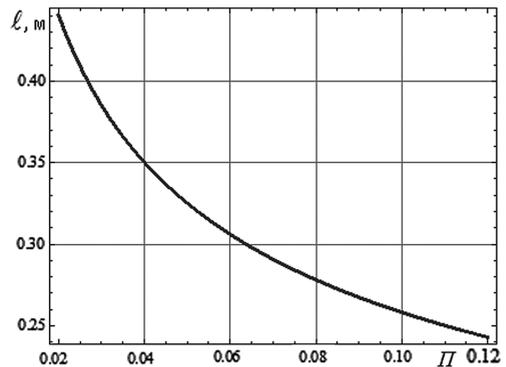


Рис. 1. График зависимости величины недобура от пористости

лить наиболее оптимальные параметры очистных камер при дальнейшем развитии добычных работ на участке ОПР.

Отбойка руды в камере начинается с разделки отрезной шели на торце буро-доставочного орта (создание плоскости обнажения) путем отбойки вееров скважин с частичным выпуском руды в объемы не более 30% для создания зоны разрыхления в приконтурном слое очередной секции.

Отбойка руды в камерах производится вертикальными слоями толщиной, до 2-х метров.

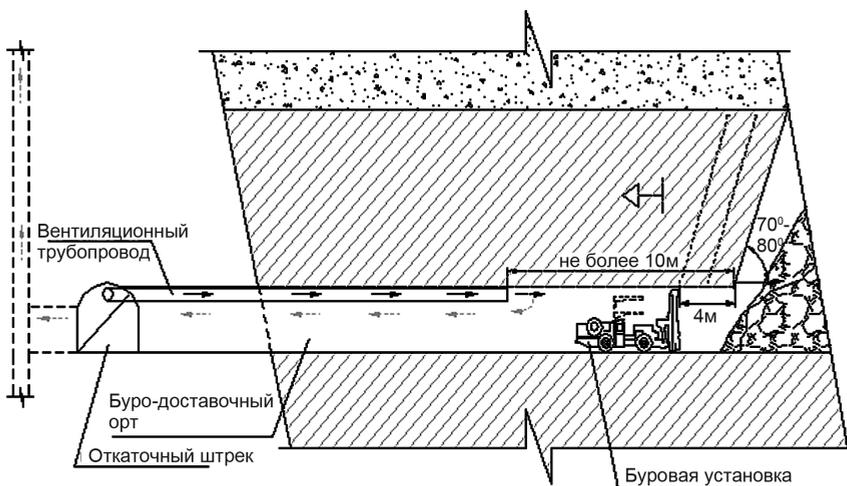


Рис. 2. Конструктивное исполнение камерной системы разработки с закладкой

Совмещенный план горизонтов +172,7 м. 160,7 м
Масштаб 1:500

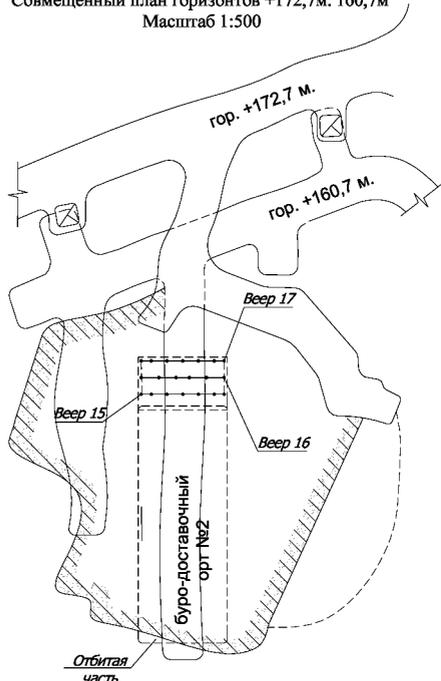


Рис. 3. Совмещенный план горизонтов +172,7 м и +160,7 м

Для регулирования объема заполнения камеры отбитой рудой (постоянного наличия плоскости обнажения) производится ее частичный выпуск из торца буро-доставочного орта, путем

отгрузки части руды с камеры, с использованием погрузочно-доставочных машин (ПДМ) оборудованных пультом дистанционного управления (ПДУ). Руда с камер транспортируется ПДМ к камере перегруза горизонта +163 м.

Освобожденная от руды камера сразу ставится под закладку. После сдачи под закладку очередной камеры, буровой комплекс переезжает на следующую камеру (очередность определяется планограммой работ на подэтаже).

Подача закладки в каждую камеру осуществляется через закладочные скважины пробуренные из вышележащего разведочного штрека на отметке +175 м.

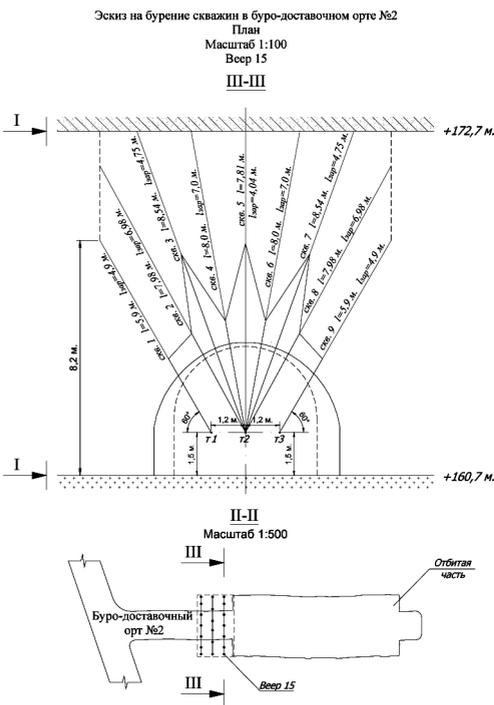
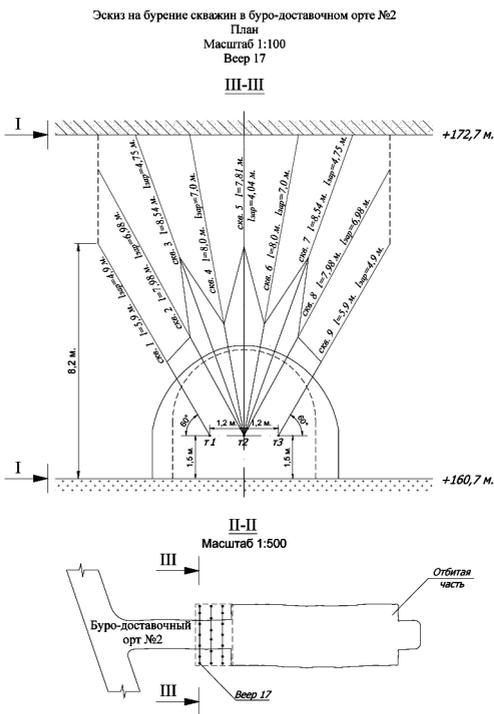
Схема проветривания блока на участке ОПР – комбинированная. Свежий воздух с выработок горизонта отм. +163 м по вскрывающим автоуклонам поступает на подэтажи блока. В буро-доставочные орты свежий воздух подается с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП). Исходящая струя выдается по вентиляционно-ходовым восстающим на разведочный (вентиляционно-закладочный) штрек гор. +175 м.

Очистные работы на опытно-промышленном участке начались с отбойки

Таблица 2

Показатели отбойки руды

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Всего
1	Объем отбиваемой горной массы	м ³	403,9
2	Диаметр скважины	мм	89
3	Общая длина скважин в комплекте	м	192,32
4	Общая длина заряда	м	145,6
5	Количество скважин	шт.	26
6	Количество ВВ	кг	1092
7	Удельный расход ВВ	кг/т	1,11
		кг/м ³	2,7
8	Удельный расход бурения	п.м/т	0,195
9	Выход руды с 1 п.м. скважин	т/п.м.	5,1



камеры буро-доставочного орта № 2 гор. +160,7 (рис. 3).

В торце камеры, взрыванием двух вееров скважин была сформирована отрезная шель шириной 1,0 м. Высота камеры составила 12,0 м, ширина – 10 м.

На 01.10.2012 г. было отбито 19 вееров скважин (без учета отрезной щели – 2 веера). Взрывание производилось комплектами по 3 веера. После каждого взрыва осуществлялся частичный выпуск около 30% отбитой руды.

Для бурения скважин использовались буровые станки типа БП-100 и НКР-100. Зарядание скважин производили с площадки самоходной машины «Multimek» с помощью зарядной машины типа ЗМК-1А. Способ взрывания – электрический, с применением взрывной машинки КВП-2/200М. Тип ПВВ – Граммонт 79/21.

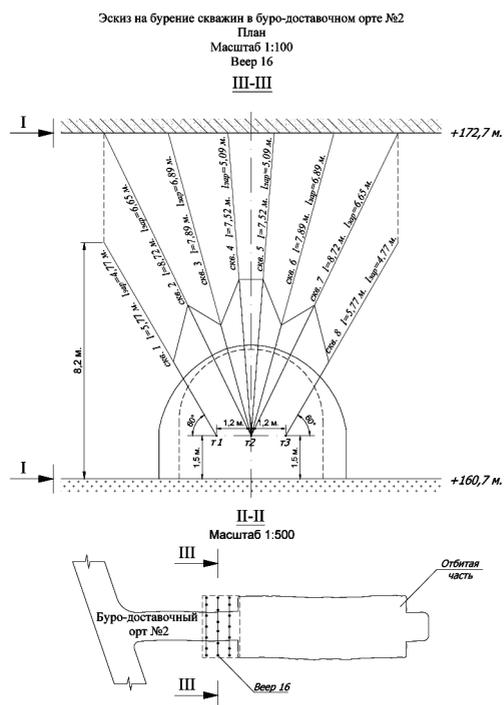


Рис. 4. Схемы расположения скважин в веерах комплекта на взрыв

На доставке отбитой рудной массы при частичном выпуске руды использовались ПДМ ST-1030, LH-410. Т. к. генеральный выпуск руды из камеры еще не производился, дистанционное управление не использовалось. Всего было отбито около 5,5 тыс. т руды.

На основании серии опытных взрывов, установлены рациональные параметры буровзрывных работ и разработан проект организации работ отбойки руды в буро-доставочном орте № 2 гор. +160,7/+172,7 м. Схемы расположения вееров скважин в комплекте на взрыв приведены на рис. 4.

В табл. 2 приведены основные показатели отбойки руды при взрывании комплекта вееров №№ 15–17 в камере буро-доставочного орта № 2 гор. +160,7/+172,7 м.

Для отбойки нижележащих подэтажей разработан паспорт буро-взрывных работ, в основу которого положены па-

раметры БВР установленные на руднике в ходе опытно-промышленных работ, с учетом недобура скважин 0,5 м.

Линия наименьшего сопротивления в расчетах принята для диаметра 89 мм и ПВВ Граммонит 79/21 принята 2,0 м. Отбойка руды производится комплектами вееров скважин – по три веера в комплекте.

Предварительные результаты опытно-промышленных работ показали, что при принятой ширине камер – 10 м, в процессе отбойки руды борта камеры находятся в удовлетворительном состоянии.

В целом по выполненной работе можно сделать вывод, что результаты проведенных исследований показали эффективность применения камерной системы разработки с закладкой на руднике «Айхал» и принципиальную возможность внедрения ее на других рудниках компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин А.Г., Шляпцев В.Ф., Плиев Б.З., Богайчук А.В. Совершенствование камерной системы разработки медистых руд на руднике «Октябрьский» // Горный журнал. – 2010. – № 6. – С. 66–68.

2. Балтиев Б.П., Галаов Р.Б., Марысюк В.П. Камерная система разработки вкрапленных руд в условиях подработки на руднике «Комсомольский» // Горный журнал. – 2009. – № 10. – С. 58–60.

3. Жиленков А.И., Портнов Ф.М., Кравцов Г.А., Брезгулевский И.В. Опыт применения системы разработки с твердеющей закладкой на Гайском горно-обогатительном комбинате / Технология добычи руд с закладкой. Сборник трудов ВНИИцветмета № 27. – Усть-Каменогорск, 1976. – С. 29–42.

4. Губинский Н.О. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения // Вестник МГТУ. – 2009. – т. 12, вып. 4. – С. 694–701.

5. Петрова Л.В., Алексеев А.М., Павлов А.А., Николаева А.А. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения «Айхал» /

Современные проблемы освоения недр. Материалы II Международной заочной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 7–20 мая 2012. – Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2012. – С. 101–106.

6. Алексеев А.М. Определение размера зоны трещинообразования при ведении взрывных работ в условиях рудника «Айхал» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С. 382–388.

7. Петров А.Н., Дугарцыренов А.В., Алексеев А.М. Расчет зон трещинообразования и величины недобура при скважинной отбойке руды на руднике «Айхал» / Ресурсоспроизводящие, малоотходные и природо-охранные технологии освоения недр // Материалы 11-ой международной конференции, 18–21 сентября 2012 г. Т. 1. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. – С. 91–92.

8. Дугарцыренов А.В., Ким С.И., Петров А.Н., Марков В.С. Разрушение горных пород при взрыве торцевой части скважинного заряда // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С. 377–384. **ПЛАБ**

Петров Андрей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, зав. кафедрой, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, e-mail: petrow_andrei@mail.ru.

UDC 622.274.4

ANALYSIS DATA ON INTRODUCTION OF ROOM-AND-PILLAR WITH BACKFILLING IN AIKHAL MINE

Petrov A.N., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Chair, e-mail: petrow_andrei@mail.ru, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 678015, Yakutsk, Russia.

Permissible spans of outcrop of rock and ore arrays were define. Value of zones of fracturing in the filling massive was calculated at the adjoining ore breaking of the array, which has made from 1.2 to 2.0 m. We brought out of the value necessary non-drill of boreholes on porosity of the ore in the array. The magnitude non-drill at an average porosity is 6%, when applying the safety PVV ammonite AP-5ZHВ at a diameter of 75 mm boreholes stands at 0.31 m. The PVV Grammonite 79/21 the non-drill boreholes received 0.5 m. Basis series of experience explosions of the waster-fill method chamber system development. On the basis a series of experienced explosions installed rational parameters drilling and blasting developed a draft work organization. Specific consumption of explosives was 1.11 kg/t, the specific consumption of drilling – 0,195 lm/m, ore the output from 1 p.m. boreholes – 5.1 t/lm.

Key words: chamber system development; waste-fill method; spans of out-crop; zones of fracturing; non-drill of boreholes; experienced explosions; options DBW.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the RF Ministry of Education and Science in the framework of integrated project No. 2010–21801-001 on high-technology production implemented in partnership with Russian academic institution.

REFERENCES

1. Anokhin A.G., Shlyaptsev V.F., Pliev B.Z., Bogaychuk A.V. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 6, pp. 66–68.
2. Badtiev B.P., Galaov R.B., Marysyuk V.P. *Gornyy zhurnal*. 2009, no 10, pp. 58–60.
3. Zhilenkov A.I., Portnov F.M., Kravtsov G.A., Brezgulevskiy I.V. *Tekhnologiya dobychi rud s zakladkoy. Sbornik trudov VNIItsvetmeta № 27* (Technology of ore mining with backfilling. VNIItsvetmet transactions no 27), Ust'-Kamenogorsk, 1976, pp. 29–42.
4. Gubinskiy N.O. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009, vol. 12, issue 4, pp. 694–701.
5. Petrova L.V., Alekseev A.M., Pavlov A.A., Nikolaeva A.A. *Sovremennyye problemy osvoeniya nedr. Materialy II Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. 7–20 maya 2012 g.* (Proceedings of II International Video Conference of Young Scientists, Graduates and Students. 7–20 may 2012), Belgorod, Izd-vo NIU «BelGU», 2012, pp. 101–106.
6. Alekseev A.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 10, pp. 382–388.
7. Petrov A.N., Dugartsyrenov A.V., Alekseev A.M. *Resursovosproizvodyashchie, malootkhodnye i prirodno-okhrannyye tekhnologii osvoeniya nedr» Materialy 11-oy mezhdunarodnoy konferentsii, 18–21 sentyabrya 2012 g. T. 1* (Proceedings of XII International Conference on Resource-Reproducing, Low-Waste and Ecology-Friendly Technologies of Subsoil Development, September 18–21, 2012, vol. 1), Ust'-Kamenogorsk, VKGTU, 2012, pp. 91–92.
8. Dugartsyrenov A.V., Kim S.I., Petrov A.N., Markov V.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 11, pp. 377–384.