УДК 622.275

И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, Н.В. Гобов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦА*

Изложены результаты экспериментальных исследований, проведенных с целью проверки соответствия натурным условиям этажа 346/324 м Кыштымского месторождения разработанной подземной геотехнологии добычи высокоценного кварца, обеспечивающей экономическую эффективность и кардинальное снижение потерь кварца в недрах. Установлено, что повышение эффективности и безопасности разработки месторождения достигается за счет комбинации в одном очистном блоке камерной системы разработки и системы подэтажного обрушения междукамерных целиков. Для горно-геологических и горнотехнических условий рудника сконструировано 7 рациональных вариантов комбинированной системы разработки. На основе экономико-математического моделирования установлено, что наименьшие эксплуатационные затраты и наибольшую прибыль имеет вариант с увеличенной шириной камеры и податливым междукамерным целиком трапециевидной формы, отрабатываемым под консолью пород висячего бока с взрывоподставкой и выпуском руды через траншейное днище камеры. Вариант внедрен в проект и апробирован на месторождении. Экономическая эффективность комбинированной системы разработки определена путем сравнения с базовой камерной системой с оставлением ленточных целиков, применяемой при отработке этажа 359/346 м по критерию максимальной условной прибыли на 1 т погашаемых балансовых запасов.

Ключевые слова: подземная разработка, месторождение кварца, наклонное рудное тело, комбинированная система разработки, потери и разубоживание, экспериментальные исследования.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-21-27

До настоящего времени уникальное Кыштымское месторождение высокоценного гранулированного кварца разрабатывали камерно-целиковой системой с потерями около 30%, что крайне неприемлемо. Проведенная комплексная оценка [1—9] технически приемлемых систем разработки на предмет их соответствия требованиям, предъявляемым к уровню потерь и качеству кварца при добыче, показала, что повышение эффективности и безопасности разработки месторождения достигается путем применения комбинированной системы разработки (КСР) с оптимальными параметрами конструктивных элементов и показателями извлечения. Ее суть заключается в совместном применении

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00. Тема № 0405-2015-0010. «Теоретические основы стратегии комплексного освоения месторождений и технологий их разработки с учетом особенностей переходных процессов в динамике развития горнотехнических систем».

© И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, Н.В. Гобов. 2017.

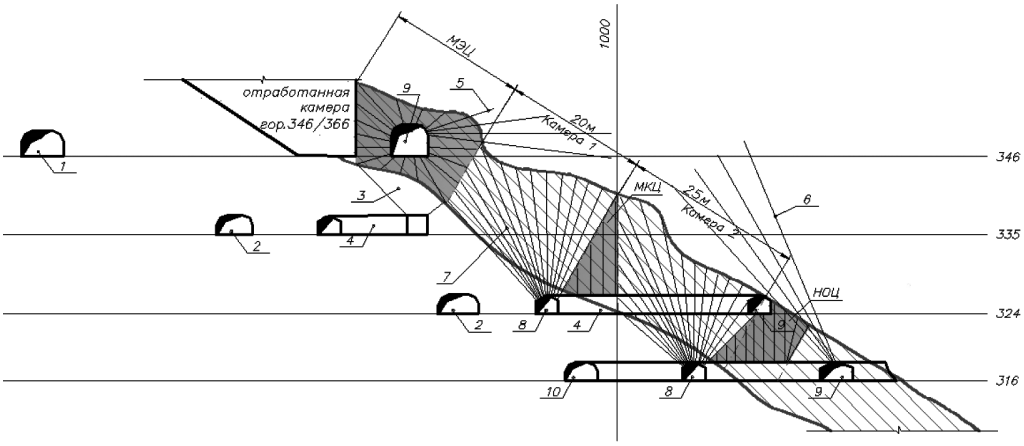

Рис. 1. КСР в этаже 346/316 м: 1 — штольня № 1; 2 — наклонный съезд № 1; 3 — выпускная воронка; 4 — погрузочный заезд; 5, 6 — взрывные скважины для обрушения пород висячего бока; 7 — взрывные скважины для отбойки запасов; 8 — траншейный штрек; 9 — доставочный штрек; 10 — квершлаг № 11

двух систем различных классов в одном очистном блоке: с открытым очистным пространством при выемке основных камерных запасов и с обрушением руды и вмещающих пород при выемке МКЦ.

Для горно-геологических и горнотехнических условий рудника сконструировано 7 рациональных вариантов КСР, отличающихся формой, условием и способом отработки МКЦ. Параметры конструктивных элементов обоснованы совместно с отделом геомеханики ИГД УрО РАН: ширина камеры 20 м, целика 8 м [10]; придание трапециевидной формы междукамерных целиков (МКЦ) позволяет снизить в 1,5—2 раза его запасы и увеличить ширину камеры. В результате экономико-математического моделирования [11] установлено, что оптимальным является вариант 2 КСР, отличающийся увеличенной шириной камеры 26 м и податливым МКЦ трапециевидной формы, отрабатываемым под консолью пород висячего бока с взрывоподставкой и выпуском руды через траншейное днище камеры. Его применение обеспечивает снижение потерь кварца в недрах в 2,5 раза, наименьшие эксплуатационные затраты и наибольшую прибыль на 1 т погашаемых балансовых запасов.

ИГД УрО РАН для проведения экспериментальных исследований (ЭИ) выполнен локальный проект (ЛПО), в котором запроектирована технология, конструктивно и технологически соответствующая рассмотренному варианту 2 КСР [12]. Проектная производительность рудника составляет 18 000 т в год, режим работы — 250 рабочих дней в году; рабочая неделя — 5-ти дневная с двумя выходными; рабочих смен в сутки — 2; продолжительность смены — 6 ч.

Этаж по вертикали разделяется МКЦ на 2 подэтажа (рис. 1). В верхней и нижней части этажа около доставочных штреков гор. 346 и 316 м формируются междуэтажный целик (МЭЦ) [13]. Добычной блок состоит из камеры, отрабатываемой в первую очередь, и вышележащего целика (МЭЦ или МКЦ), отрабатываемого во вторую очередь. Все разведочные выработки, ранее пройденные по рудному телу на гор. 346, 324 и 316 м, задействованы в качестве доставочных штреков и погрузочных заездов. Нарезные работы по камере включают проведение траншейного штрека в лежачем боку руд-

ного тела, погрузочных заездов из доставочного штрека, отрезных заходок и восстающих. Отрезная щель оформляется путем взрывания вертикальных параллельных скважинных зарядов ВВ, затем производится послойная отбойка вертикальных вееров скважин, обуренных из траншейного штрека. МЭЦ отрабатывается под обрушенными породами с выпуском через специально подготовленное днище, МКЦ под породной консолью через днище камеры. Выпуск, погрузка и транспортирование руды на поверхность производятся ПДМ. Среднее расстояние транспортирования 615 м.

Местом проведения ЭИ определена Камера 1 подэтажа 346/324 м. При проведении ЭИ использовались следующие методы:

1. При установлении фактических параметров и конструкции КСР — визуальные наблюдения состояния, технологии и порядка проведения подготовительных, нарезных и очистных выработок; мониторинг породных обнажений камеры методом трехмерного лазерного сканирования контуров кровли и стенок Камеры 1 (восток); инструментальные измерения, выполняемые маркшейдерской службой рудника. Оценивался общий порядок ведения работ, устойчивость и параметры подготовительных, нарезных и очистных выработок, параметры и конструкция КСР, соответствие их утвержденному проекту;

2. При определении фактических показателей потерь (П) и разубоживания (Р) — инструментальные измерения, выполняемые маркшейдерской и геологической службой рудника; мониторинг мест образования П и Р в Камере 1 (восток). Анализировались виды и объемы показателей извлечения, их уровень сравнивается с проектным. Определенные в процессе ЭИ данные подвергнуты анализу;

3. При установлении основных технико-экономических показателей (ТЭП) технологических процессов добычи — хронометражные наблюдения технологических процессов (бурение скважин и отбойка руды, выпуск и транспортирование руды ПДМ); инструментальные измерения фактических объемов работ, выполняемые маркшейдерской службой рудника. Во время наблюдений фиксировались затраты рабочего времени на бурение и зарядку скважин, транспортирование руды ПДМ, простои, выполняемые объемы работ, выход негабарита и мелочи, производительность труда на технологических процессах. Выполнен производственный технико-экономический анализ технологии и организации работ, использования машин и механизмов, данные сопоставлены с проектными ТЭП.

В соответствии с ЛПО проведены подготовительно-нарезные выработки (ПНВ), на бурении шпуров использовалась самоходная установка Tamrock 1HB. В восточном крыле Камеры 1 создана отрезная щель и отбито 5 слоев (л.н.с. 1,5—2,2 м) основных запасов зарядами восходящих вееров скважин диаметром 65 мм, пробуренных из траншейного штрека гор. 324 м буровым станком БУ-80НБ. Механизированное заряжание взрывных скважин гранулированным ВВ (Граммонит 21 ТМЗ) осуществлялось пневмозарядчиком ЗМК-1А. На каждый технологический взрыв рассчитывался паспорт БВР. Выпуск отбитой руды осуществлялся через траншейное днище в погрузочные заезды гор. 324 м с помощью ПДМ Atlas Copco ST 3.5 грузоподъемностью 6 т. Жильная масса из забоя транспортировалась по доставочному штреку, наклонному съезду № 1 и штольне № 1 на разгрузочный пункт, расположенный на промплощадке рудника.

В процессе ЭИ проведены объемное лазерное сканирование кровли и стенок Камеры 1, выпускных выработок, их визуальное и инструментальное обсле-

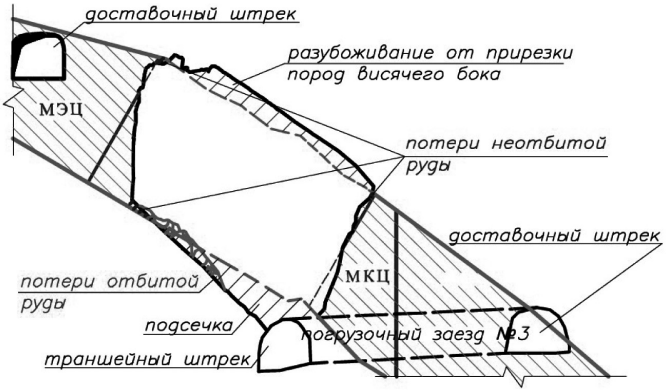

Рис. 2. Фактическое состояние Камеры 1 (отработка 5 слоя)

дование; установлено, что окружающий массив камеры и выпускные выработки устойчивы (рис. 2). Сделан прогноз о возможности отработки МЭЦ под консолью висячего бока с последующим погашением выработанного пространства принудительно обрушенными породами висячего бока.

По данным маркшейдерской съемки и геологического опробования после отработки 5-ти слоев (около 30% камерных запасов) оценены показатели извлечения кварца по Камере 1. Фактические потери неотбитой руды на 1 т погашаемых балансовых запасов составили 0,4%, отбитой — 1,1%, что в 2,7 раза ниже, чем в ЛПО (табл. 1), что объясняется практически полной уборкой ПДМ руды из гребней между погрузочными заездами. «Прихват» пород висячего бока привел к увеличению разубоживания до 7,4%, что в 1,8 раза выше, чем в ЛПО. Порода при формировании днища камеры выдавалась отдельно до достижения величины предельного объемного разубоживания руды в дозе выпуска 0,71 (коэффициент μ = 0,4). При отработке МЭЦ под консолью висячего бока с массовым обрушением и площадным выпуском руды через днище камеры потери в пересчете на добычной блок оценены на уровне проектных — 7,6%. Прогнозируется снижение разубоживание до 6,6% за счет выпуска руды без затекания обрушенных пород, ввиду их отсутствия в смежном блоке.

Основные ТЭП технологических процессов добычи определены по результатам хронометражных наблюдений. Всего выполнено 6 серий наблюдений. Зафиксированные средневзвешенные затраты рабочего времени на 1 веер скважин составили:

- на бурение и заряжание скважин — 78 (13 смен) и 4 ч, соответственно. Внутрисменные простои были обусловлены освоением технологических операций и приемов местных условиях, мелким ремонтом осваиваемого оборудования;
- выпуск и транспортирование ПДМ жильной массы — 90 ч (15 смен);
- время на проведение подготовительно-заключительных операций по обоим процессам — от 10 до 40 мин, в среднем 25 мин в смену.

Выполненный технико-экономический анализ производственных процессов и КСР в целом показал, что полученные в ходе ЭИ ТЭП хорошо согласуются с проектными (см. табл. 1). Удельный объем ПНВ выше проектного за счет снижения запасов на гор. 346 м. Производительность труда забойного рабочего на проходке ПНВ не фиксировалась и принята в соответствии с проектом. Производительность труда на бурении скважин зна-

Технико-экономическая оценка результатов ЭИ

№ п/п	ТЭП	Ед. изм.	Базовая	КСР		Эффект, %
				ЛПО	ЭИ	
1	Потери руды:	%	27,9	11,6	9,1	-18,8*
1.1	неотбитой		25,0	2,6	0,4	-24,6
1.2	отбитой		2,9	1,4	1,1	-1,8
1.3	по МЭЦ (прогноз)		—	7,6	7,6	+7,6
2	Разубоживание руды:	%	3,0	14,0	14,0	+11
2.1	по камере		3,0	4,2	7,4	+3,4
2.2	по МЭЦ (прогноз)		—	9,8	6,6	+6,6
3	Удельный объем ПНВ	$м^3$/1000 т	193,7	75,9	77,4	-250,2 (отн.)
4	Производительность труда забойного рабочего на:					
4.1	проходке ПНВ	$м^3$/чел-см	2,2	3,9	3,9	+77,3 (отн.)
4.2	бурении скважин	м/чел-см	31,2	32,0	15,1	-51,6 (отн.)
4.3	выпуске и транспорте	т/чел-см	40,8	60,0	62,1	+52,2 (отн.)
4.4	очистной выемке	т/чел-см	24	34,6	29,5	+22,9 (отн.)
4.5	Итого по выемочной единице	т/чел-см	11,9	10,8	15,7	+31,9 (отн.)
5	Себестоимость добычи	руб/т	611	651	656	+6,8 (отн.)
6	Извлекаемая ценность	руб/т	941	1042	1071	+12,1 (отн.)
7	Прибыль	руб/т	330	391	415	+20,5 (отн.)

* — снижение, + увеличение

чительно (на 43%) ниже проектной в связи с увеличением фактической крепости кварца с f = 10 до f = 15 и неосвоенностью нового станка БУ-80 НБ. Фактическая производительность труда на выпуске и транспортировании руды несколько выше проектной. В целом производительность труда по добычному блоку выше на 32%.

Анализ основных результатов ЭИ КСР показал, что потери высокоценного кварца в испытываемом варианте КСР (9,1%) в 3,2 раза ниже, чем в базовом варианте (28%). Себестоимость добычи тонны руды выросла на 7%, извлекаемая ценность на 12%, прибыль на 21% относительно базового варианта.

Потенциальный экономический эффект при отработке этажа 346/316 м составляет 15,6 млн руб на весь период эксплуатации. Анализ результатов ЭИ дает основание констатировать высокую степень соответствия фактических ТЭП теоретическим и проектным (сходимость не менее 80%), и позволяет утверждать, что КСР полностью соответствует условиям Кыштымского месторождения и обеспечивает наименьшие потери высокоценного кварца в недрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fiscor S.* Ravett Minerals: An Evolving American Success Story // Engineering and Mining Journal. — 2012. — № 6. — pp. 64—73.

2. *Lovejoy C.* Taking Troy to the next level // Mining Magazine. — 2011. — December. — pp. 13—14.

3. *Malone S.* Metorex spreads its African wings // Mining Magazine. — 2002. — June. — pp. 1—5.
4. *Глотов В.В.*, *Пахалуев Б.Г.* Физическое моделирование гидрозачистки выемочных блоков в наклонных рудных залежах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 4. — С. 5—9.
5. *Jung L.* High purity natural quartz. Quartz Tehnology. Inc. P.: New. Jersey, 1995. 550 p.
6. *Бродская Р.Л., Гётце Й., Котова Е.Л., Хайде Г.* Анализ строения индивидов и агрегатов жильного кварца и оценка качества кварцевого сырья (на примере месторождений Кыштымского района, Урал) // Записки Российского минералогического общества. 2015. — Т. 144. — № 1. — С. 93—100.
7. *Савич И.Н.*, *Павлов А.А.*, *Романов В.А.*, *Сухов Д.И.* Подэтажный торцевой выпуск при подземной разработке наклонных рудных тел с неравномерным оруденением // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 57—60.
8. *Неверов А.А.*, *Фрейдин А.М.*, *Неверов С.А.*, *Хмелинин А.П.* Устойчивость поддерживающих целиков и кровли лавных подсечек при комбинированной технологии выемки пологих рудных залежей // Вестник КузГТУ. — 2013. — № 5. — С. 124—129.
9. *Богуславский Э.И.*, *Коржавых П.В.* Условия применения этажно-камерных систем при отработке глубоких рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 1. — С. 5—8.
10. *Соколов И.В.*, *Смирнов А.А.*, *Антипин Ю.Г.*, *Барановский К.В.*, *Рожков А.А.* Ресурсосберегающая технология подземной разработки месторождения высокоценного кварца // ФТПРПИ. — 2015. — № 6. — С. 133—145.
11. *Соколов И.В.*, *Смирнов А.А.*, *Антипин Ю.Г.*, *Соколов Р.И.* Влияние показателей извлечения на эффективность технологии подземной разработки рудных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. — 2012. — № 3. — С. 4—11.
12. *Соколов И.В.*, *Смирнов А.А.*, *Антипин Ю.Г.*, *Барановский К.В.*, *Рожков А.А.* Выбор оптимального варианта комбинированной системы разработки месторождения высокоценного кварца на основе моделирования // ФТПРПИ. — 2016. — № 6. — С. 124—133.
13. *Соколов И.В.*, *Антипин Ю.Г.*, *Барановский К.В.* Изыскание подземной геотехнологии для отработки рудного тела средней мощности и наклонного падения Кыштымского месторождения гранулированного кварца // Известия вузов. Горный журнал. — 2013. — № 2. — С. 17—22. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Соколов Игорь Владимирович[1] — доктор технических наук, зав. лабораторией, e-mail: geotech@igduran.ru,
Антипин Юрий Георгиевич[1] — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Барановский Кирилл Васильевич[1] — научный сотрудник,
Гобов Николай Васильевич[1] — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
[1] Институт горного дела Уральского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 21–27.
UDC 622.275

I.V. Sokolov, Yu.G. Antipin, K.V. Baranovskiy, N.V. Gobov

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYBRID MINING SYSTEM FOR TILTED DEPOSIT OF QUARTZ

The results of experimental studies conducted in order to verify compliance with the conditions of full-scale floor 346/324 m Kyshtym deposits developed high-value underground geotechnology quartz mining, provide cost-effective and drastic reduction of losses in the depths of quartz.

Hither to unique Kyshtym quartz mine mastered one piece chamber-system with losses of about 30%, which is unacceptable for high-value deposits of quartz with limited resources. On the basis of theoretical studies found that increasing the efficiency and safety of field development is achieved through the combination in a single decontamination unit camera system development and system sublevel caving interchamber pillars. For geological and mining conditions of the mine is constructed 7 rational variants of the combined development of the system. On the basis of economic and mathematical modeling established that the lowest operating costs and highest profits is a variant with increased width of the chamber and pliable interchamber entirely trapezoidal shape, practiced under the console hanging wall rocks with explosion shipping and release of ore through the trench bottom of the chamber. Option introduced to the project and tested in the field. Economic efficiency of the combined development of the system is determined by comparison with the basic camera system with leaving the band as a whole, used when developing floor 359/346m on the criterion of maximum profit in the conditional 1 t redeemable balance reserves.

Key words: underground mining, mine quartz, slope ore body, combined system of development, losses and contaminaton, experimental studies.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-21-27

AUTHORS

Sokolov I.V.[1], Doctor of Technical Sciences,
Head of Laboratory, e-mail: geotech@igduran.ru,
Antipin Yu.G.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Baranovsky K.V.[1], Researcher,
Gobov N.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
[1] Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
620075, Ekaterinburg, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study has been carried out under the State Contract No. 007-01398-17-00. Topic No. 0405-2015-0010: Technology Framework for Integrated Mineral Resources Development Strategy and Mining Technologies with Allowance for the Specificity of Transition Processes in the Dynamics of Mining Technical Systems.

REFERENCES

1. Fiscor S. Ravett Minerals: An Evolving American Success Story. *Engineering and Mining Journal*. 2012, no 6, pp. 64—73.
2. Lovejoy C. Taking Troy to the next level. *Mining Magazine*. 2011. December. pp. 13—14.
3. Malone S. Metorex spreads its African wings. *Mining Magazine*. 2002. June. pp. 1—5.
4. Glotov V.V., Pakhaluev B.G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 4, pp. 5—9.
5. Jung L. *High purity natural quartz. Quartz Tehnology*. Inc. P.: New. Jersey, 1995. 550 p.
6. Brodskaya R.L., Gettse Y., Kotova E.L., Khayde G. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*. 2015, vol. 144, no 1, pp. 93—100.
7. Savich I.N., Pavlov A.A., Romanov V.A., Sukhov D.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 8, pp. 57—60.
8. Neverov A.A., Freydin A.M., Neverov S.A., Khmelinin A.P. *Vestnik KuzGTU*. 2013, no 5, pp. 124—129.
9. Boguslavskiy E.I., Korzhavykh P.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 1, pp. 5—8.
10. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskiy K.V., Rozhkov A.A. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2015, no 6, pp. 133—145.
11. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Sokolov R.I. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2012, no 3, pp. 4—11.
12. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskiy K.V., Rozhkov A.A. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no 6, pp. 124—133.
13. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Baranovskiy K.V. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2013, no 2, pp. 17—22.