

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦА

Соколов И.В., Барановский К.В.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследований по обоснованию технологии подземной разработки наклонного рудного тела средней мощности, обеспечивающей кардинальное снижение потерь при освоении уникального месторождения кварца. На основании анализа теории и практики отработки наклонных рудных месторождений установлено, что радикальное снижение потерь кварца в недрах может быть достигнуто применением комбинированной системы разработки (КСР), сочетающей систему с открытым очистным пространством при выемке основных камерных запасов и систему с обрушением руды и вмещающих пород при выемке междукамерных целиков (МКЦ). Варианты КСР систематизированы по основному признаку – форме МКЦ (прямоугольный, трапециевидный), и дополнительному – условию отработки МКЦ (под консолью пород висячего бока, под обрушенными породами). В соответствии со систематизацией сконструировано семь технически рациональных вариантов КСР, различающиеся также по способу очистной выемки МКЦ (метод отбойки, выпуска руды, очередность выемки) и способу (принудительное или самообрушение пород висячего бока) и порядку (до или после отбойки МКЦ) погашения выработанного пространства очистного блока. Разработана методика определения величины потерь и разубоживания кварца, отличающаяся тем, что в качестве базовых аргументов приняты мощность и угол падения рудного тела, ширина камер и МКЦ, позволяющая оптимизировать параметры технологии в зависимости от данных факторов. Установлено, что наиболее эффективные варианты КСР с увеличенной шириной камер, податливыми МКЦ трапециевидной формы, обрабатываемыми под породной консолью или принудительно обрушенными породами висячего бока обеспечивают снижение потерь до 6–11%.

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

Введение

Кыштымское месторождение является практически единственным в России эксплуатируемым месторождением высокоценного гранулированного кварца и стабильным источником сырья для производства принципиально новых материалов (кварцевое стекло, специальная керамика, продукция двойного назначения) [1]. Рациональное использование запасов высокоценного кварца в связи с их ограниченностью крайне важно для развития инновационных отраслей российской промышленности. Наклонное падение рудного тела (25–40 град), средняя мощность (10–12 м) при средней устойчивости руды и вмещающих пород предопределили технологические трудности при его отработке и невысокие показатели извлечения. Так, применяемая камерно-целиковая система разработки с взрыводостав-

кой характеризуется потерями балансовых запасов кварца в неизвлекаемых междукамерных целиках (МКЦ) и на почве камеры до 30%. Соответственно резко сокращается сырьевая база предприятия и срок эксплуатации уникального месторождения. Применение систем с закладкой неприемлемо, поскольку попадание даже незначительного количества цемента в жильную массу делает ее непригодной для получения высокочистых кварцевых концентратов (исследования выполнены Кыштымским ГОКом). В связи с этим актуальна задача изыскания технологии подземной добычи, обеспечивающей кардинальное (в 2 раза) снижение потерь кварца [2].

Основная часть

В результате анализа теории и практики отработки наклонных рудных месторождений (более 20-ти) установлено, что радикальное снижение потерь кварца в недрах может быть

достигнуто применением КСР, сочетающей систему с открытым очистным пространством при выемке основных камерных запасов и систему с обрушением руды и вмещающих пород при выемке МКЦ. Для конструирования и сравнительной оценки вариантов КСР выполнена их систематизация (табл. 1). Поскольку отработка камерных запасов тривиальна, в качестве основного признака принят конструктивный фактор – форма МКЦ (прямоугольный, трапециевидный), от которого в наибольшей степени зависит степень извлечения чистой руды из блока. При делении вариантов на группы принято условие отработки МКЦ (под консолью пород висячего бока, под обрушенными породами), определяемое устойчивостью пород висячего бока. Варианты внутри группы различаются по способу очистной выемки МКЦ (метод отбойки, выпуска руды, очередность выемки) и способу (принудительное или самообрушение пород висячего бока) и порядку (до или после отбойки МКЦ) погашения выработанного пространства очистного блока.

В соответствии со систематизацией сконструировано семь технически рациональных вариантов КСР, три – признаны нерациональными (в табл. 1 они не пронумерованы). Во всех вариантах этаж разделяется на два подэтажа, подэтажи – на очистные блоки, состоящие из очистной камеры и МКЦ. Блок обрабатывается в две стадии: на первой – камерные запасы, на второй – МКЦ. Технология выемки камерных запасов во всех вариантах одинакова – послойная отбойка руды веерными скважинными зарядами диаметром 65 мм и площадным выпуском руды через погрузочные заезды. При конструировании приняты: постоянная ширина очистного блока 28 м, равная сумме ширины камеры и МКЦ; длина камеры и МКЦ равна длине рудного тела по простиранию – 100 м; средняя мощность рудного тела (m_{cp}) 12 м и угол падения рудного тела ($\alpha_{p,t}$) 30°. Выработки выпуска и доставки располагаются в лежачем боку рудного тела [3]. На основных технологических процессах используется высокопроизводительное самоходное оборудование [4].

Одной из идей по снижению потерь балансовых запасов кварца является применение податливых МКЦ трапециевидной формы с

малым верхним основанием, что одновременно позволяет эффективно управлять горным давлением. Размеры и форма целиков, пролеты камер рассчитаны отделом геомеханики ИГД УрО РАН. Установлено, что очистные камеры шириной 26 м и МКЦ шириной 8 м (по низу) и 2 м (по верху) будут устойчивы за счет придания им податливости. Увеличение ширины камеры и соответственное уменьшение ширины МКЦ позволяет увеличить объем камерных запасов, что обеспечивает улучшение показателей извлечения руды в целом по блоку [5].

Методологической базой для выбора эффективной технологии является системный подход к обоснованию оптимальной системы разработки и ее параметров, основанный на учете всех факторов и сравнении вариантов по критерию прибыли (Π_p) на единицу погашаемых балансовых запасов [6]. Технологические и конструктивные параметры, соответствующие варианту системы разработки с наибольшей прибылью, считаются оптимальными. Целевая функция применительно к кварцевому горно-обогательному производству имеет вид

$$\Pi_p = 0,01\eta \sum_{i=1}^n Z_i c \varepsilon_i - C \frac{1-\Pi}{1-P} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $\eta=(1-\Pi)$ – коэффициент извлечения руды при добыче, где Π – потери, доли ед.; n – количество реализуемых концентратов; Z_i – цена i -го концентрата на мировом рынке кварцевого сырья; c – содержание кварца в погашаемых балансовых запасах, %; ε_i – извлечение кварца в i -й концентрат при обогащении, доли ед., определяемая в зависимости от его содержания в добытой руде $a=c(1-P)$; P – разубоживание, доли ед.; C – себестоимость добычи, транспорта и обогащения 1 т добытой руды, руб./т.

Из (1) видно, что показатели извлечения существенно влияют как на извлекаемую ценность балансовых запасов кварца, так и на себестоимость его добычи и переработки [7]. Учитывая цель работы – снижение потерь балансовых запасов кварца в недрах более чем в 2 раза, на первом этапе выбора за критерий оценки эффективности сконструированных вариантов можно принять минимум потерь. При этом варианты системы разработки с минимальными потерями считаются наиболее рациональными и отбираются для дальнейшего сравнения по (1).

Таблица 1

Систематизация вариантов КСР наклонного месторождения средней мощности

Форма МКЦ	Вариант комбинированной системы разработки				
	Условия отработки МКЦ				
	под породной консолью	под обрушенными породами			
		принудительно	самообрушенными		
Способ выемки МКЦ					
I Прямой угольный	1. Камерная с обрушением прямоугольного МКЦ и площадным выпуском руды под породной консолью. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и площадной выпуск руды из открытого пространства и под затекающими обрушенными породами. Принудительное обрушение породной консоли после выпуска руды из МКЦ	3. Камерная с обрушением прямоугольного МКЦ и комбинированным выпуском руды под породной консолью. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и комбинированный выпуск руды – площадной основных запасов аналогично варианту 1 и торцовый довыпуск. Обрушение породной консоли аналогично варианту 1	– Камерная с обрушением прямоугольного МКЦ и торцовым выпуском руды под принудительно обрушенными породами не рациональна из-за невозможности полного выпуска МКЦ	6. Камерная с обрушением прямоугольного МКЦ и площадным выпуском руды под самообрушенными породами. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и площадной выпуск руды под обрушенными породами. Погашение выработанного пространства путем самообрушения всячего бока после массовой отбойки МКЦ	7. Камерная с обрушением прямоугольного МКЦ и комбинированным выпуском руды под самообрушенными породами. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и комбинированный выпуск руды – площадной основных запасов и торцовый довыпуск под обрушенными породами. Погашение выработанного пространства путем самообрушения всячего бока после массовой отбойки МКЦ
	II Трапециевидный	2. Камерная с обрушением трапецевидного МКЦ и площадным выпуском руды под породной консолью. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и площадной выпуск руды из открытого пространства и под затекающими обрушенными породами. Обрушение породной консоли аналогично варианту 1	4. Камерная с обрушением трапецевидного МКЦ и комбинированным выпуском руды под породной консолью. Массовая отбойка МКЦ на открытую камеру, взрыводоставка и комбинированный выпуск руды – площадной основных запасов аналогично варианту 1 и торцовый довыпуск. Обрушение породной консоли аналогично варианту 1	5. Камерная с обрушением трапецевидного МКЦ и торцовым выпуском руды под принудительно обрушенными породами. Погашение отработанной камеры путем принудительного обрушения всячего бока до отработки МКЦ. Послойная отбойка МКЦ в зажатой среде и послойный торцовый выпуск руды	– Камерная с обрушением трапецевидного МКЦ и площадным выпуском руды под самообрушенными породами не рациональна из-за невозможности обеспечить устойчивость кровли камер

Известно, что основными горно-геологическими факторами, влияющими на уровень извлечения при отработке наклонных залежей, являются мощность и угол падения рудного тела, плотность руды и породы, содержание ценного компонента в руде, устойчивость руды и вмещающих пород всяческого бока. Из конструктивных и технологических факторов, кроме рассмотренных выше, выделены наиболее существенные – конструкция и параметры выпускного днища (расстояние между погружными заездами, размеры и угол откоса выпускной траншеи); схема отбойки МКЦ (послойная и массовая); параметры БВР (диаметр скважин, ЛНС, конструкция заряда); схема выпуска (площадной, торцовый, комбинированный) отбитой руды [8].

Основные методические принципы определения потерь регламентированы «Типовыми методическими указаниями по нормированию потерь...» (ТМУ) [9] и созданными на их основе «Отраслевыми инструкциями...» [10, 11]. На основе этих принципов и с учетом вышперечисленных факторов применительно к КСР разработана методика определения величины потерь и разубоживания кварца, состоящая из 88-ми аналитических зависимостей. Особенность методики состоит в следующем:

- в качестве базовых аргументов приняты мощность и угол падения рудного тела, ширина камер и МКЦ. Формулы взаимодействуют между собой при любом изменении параметров технологии;

- учитываются все виды потерь и разубоживания, места их образования (при проведении подготовительно-нарезных выработок, на контактах рудного тела с породой, при оконтуривании камер и целиков, при выпуске руды под затекающими из смежного блока обрушенными породами, при торцовом выпуске руды МКЦ);

- учитывается специфика технологии отработки наклонного месторождения гранулированного кварца;

- позволяет устанавливать влияние горно-геологических, технологических и экономических факторов на показатели извлечения и оптимизировать параметры технологии на основе полученных аналитических зависимостей;

- позволяет определять места образования и

величину потерь руды, представляющих интерес для повторной разработки месторождения.

Расчет показателей извлечения производился на основе выделения на месторождении элементарной выемочной единицы [12], в качестве которой принят добычный блок. В табл. 2 приведены результаты расчета по вариантам КСР при средней мощности и угле падения рудного тела.

Таблица 2
Величина потерь и разубоживания по вариантам КСР

Показатель извлечения	Вариант КСР						
	1	2	3	4	5	6	7
Потери, %	15,72	10,68	14,58	9,88	6,39	30,54	29,40
Разубоживание, %	9,13	11,97	15,17	18,01	14,24	10,87	17,78

Установлено, что с увеличением m (диапазон изменения от 4 до 20 м) потери при всех вариантах снижаются, наиболее интенсивное снижение происходит до 12 м. Влияние α (от 20 до 40°) на потери для разных вариантов различно. При одновременном изменении m и α в указанных диапазонах формируется область допустимых значений потерь, определяемых как потери меньше целевого показателя ($P=12,6\%$). Данная область характеризует надежность варианта КСР в обеспечении снижения потерь ниже целевого значения. Наиболее надежными являются варианты 2, 4 и 5 (рис. 1, а, 1, б, 1, в соответственно), имеющие наибольшую область допустимых значений потерь. Эти же варианты являются наилучшими по минимуму потерь при добыче для средних значений m и α (см. табл. 2).

Показатель разубоживания руды (который в контексте исследований можно принять как дополнительный критерий) при данных вариантах КСР в рассматриваемых диапазонах снижается с увеличением m , причем наиболее интенсивно – до 12 м. При одновременном изменении m и α формируется область допустимых значений разубоживания, определяемых как разубоживание меньше установленного показателя $P=13,5\%$. Более надежным вариантом, имеющим наибольшую область допустимых значений разубоживания, является вариант 2 (рис. 2, а), варианты 4 и 5 обеспечивают допустимое разубоживание только при больших углах падения (рис. 2, б и 2, в соответственно).

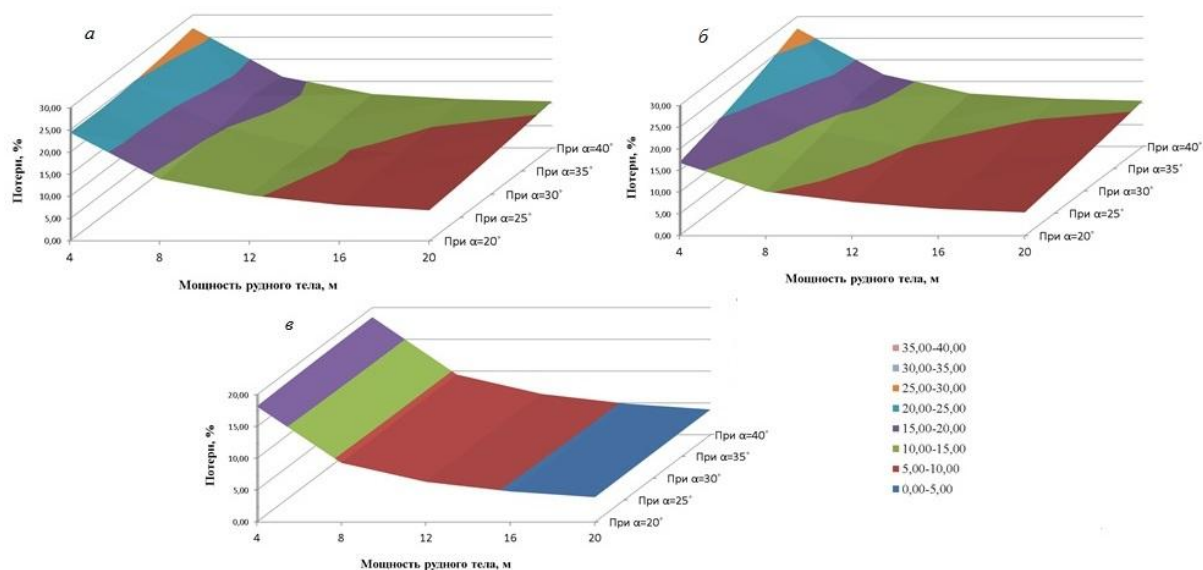


Рис. 1. Изменение потерь руды от мощности и угла падения рудного тела в вариантах КСР 2 (а), 4 (б) и 5 (в) соответственно

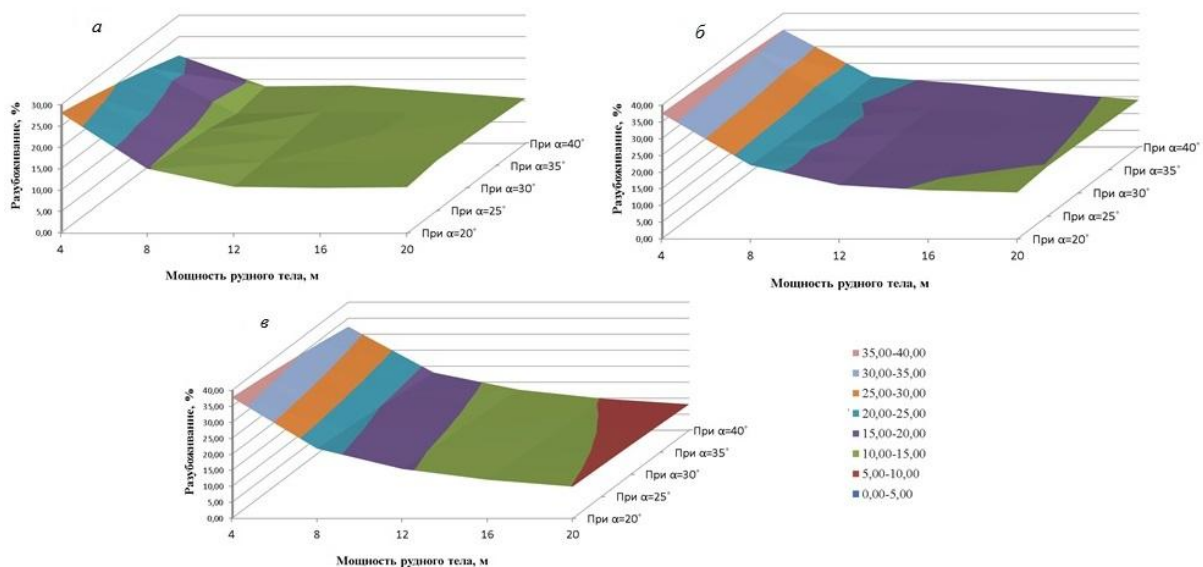


Рис. 2. Изменение потерь руды от мощности и угла падения рудного тела в вариантах КСР 2 (а), 4 (б) и 5 (в) соответственно

Таким образом, варианты КСР 2, 4 и 5 следует признать наиболее конкурентоспособными, они позволяют получить целевой уровень потерь в наибольшем диапазоне изменения горно-геологических условий. Конструкция и параметры вариантов 2, 4 и 5 приведены на рис. 3, а, б и в соответственно. При отработке камер шириной 26 м формируются податливые МКЦ трапециевидной формы. Выпуск отбитой руды МКЦ осуществляется под консолью пород висячего бока (варианты 2 и 4) или под принудительно обрушенными до выемки МКЦ породами (вариант 5). Выпуск руды – площад-

ной (вариант 2), торцовый (вариант 5) или комбинированный (вариант 4). В варианте 2 величина потерь ниже целевого уровня достигается за счет выпуска большей части запасов МКЦ под породной консолью (при этом порода вовлекается только с одной стороны зоны выпуска). Вариант 4 отличается от варианта 2 организацией торцового довыпуска запасов МКЦ. Величина потерь в варианте 5 минимальна ввиду применения торцового выпуска при форме сечения отбитой руды МКЦ близкой к форме фигуры выпуска (т.е. вписывается в эллипсоид вращения).

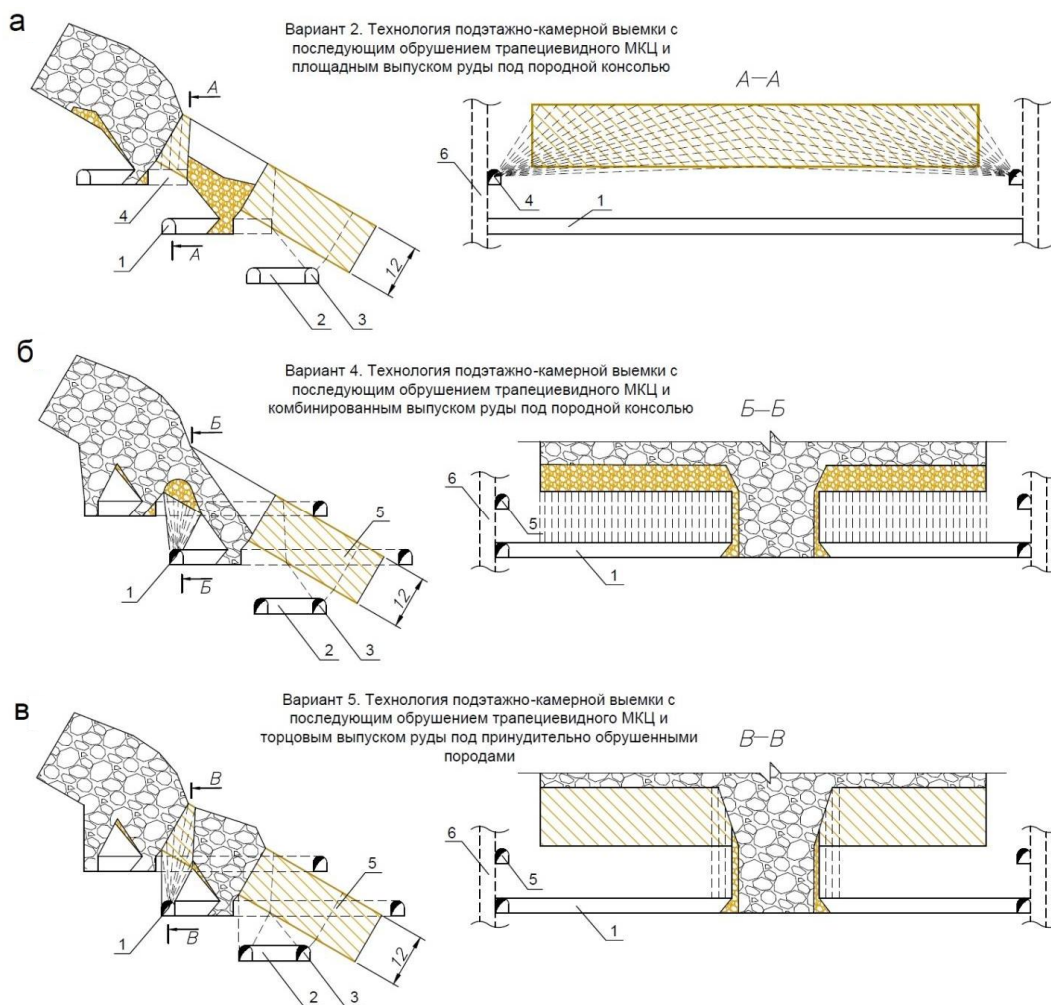


Рис. 3. Варианты КСР 2 (а), 4 (б) и 5(в): 1 – доставочный штрек; 2 – погрузочный заезд; 3 – траншейный штрек; 4 – буровая заходка; 5 – орт и буровая ниша; 6 – фланговый вентиляционно-ходовой восстающий

Заключение

На данном этапе исследований можно сделать следующие выводы:

1. Кардинальное (до 2 раз) снижение потерь кварца при разработке уникального Кыштымского месторождения может быть достигнуто за счет применения комбинированной системы разработки, включающей камерную выемку основных запасов блока и отработку междукамерных целиков с обрушением.

2. Наиболее эффективными, обеспечивающими снижение потерь до 6,4–10,7%, являются варианты КСР с увеличенной до 26 м шириной камер, податливыми МКЦ трапециевидной формы, обрабатываемыми под породной консолью или принудительно обрушен-

ными породами всяческого бока.

3. Окончательный выбор оптимального варианта КСР (из трех эффективных) планируется выполнить по критерию максимума прибыли на основе экономико-математического моделирования с учетом установленных факторов и зависимостей.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEF160714X0026).

Список литературы

1. 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 // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. №2. С. 17–22.

2. О формировании научно-технологического задела для внедрения комплексной геотехнологии добычи и переработки высокоценного кварца / И.В. Соколов, С.В. Корнилов, А.Д. Сашурин и др. // Горный журнал. 2014. № 12. С. 44–48.
3. Изыскание технологических решений по обеспечению устойчивости выработок в метасоматически измененных породах / В.Н. Калмыков, М.В. Рылникова, Р.Ш. Маннанов, Е.А. Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. №4. С. 187–193.
4. Направления развития и опыт применения подземной геотехнологии с использованием самоходной техники на уральских рудниках / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. № 4. Проблемы недропользования. 2013. С. 66–74.
5. Закусин Г.А. Повышение эффективности разработки наклонных залежей средней мощности железорудных месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск: СГИ, 1984. 24 с.
6. Волков Ю.В., Соколов И.В., Камаев В.Д. Выбор систем подземной разработки рудных месторождений Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 124 с.
7. Влияние показателей извлечения на эффективность технологии подземной разработки рудных месторождений / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, Р.И. Соколов // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. №3. С. 4–11.
8. Барановский К.В. Влияние горно-геологических факторов на эффективность подземной отработки наклонных залежей средней мощности К.В. Барановский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 11. Проблемы недропользования. 2011. С. 288–293.
9. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче // Сборник руководящих материалов по охране недр / Госгортехнадзор СССР. М.: Недра, 1973.
10. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь, разубоживания руды на рудниках МЦМ СССР // Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых / МЦМ СССР. М.: Недра, 1977.
11. Отраслевая инструкция по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях МЧМ СССР / ВИОГЕМ. Белгород, 1975.
12. Правила охраны недр (ПБ 07-601-03). Утв. Госгортехнадзором России 18.06.03 / ГУП НТЦ БП. Вып. 11. М., 2003.

Материал поступил в редакцию 15.09.15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-10-17

CHOOSING AN EFFICIENT TECHNIQUE FOR UNDERGROUND MINING OF QUARTZ

Sokolov Igor Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Head of the laboratory of underground geotechnology of the Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: geotech@igduran.ru.

Baranovsky Kirill Vasilievich – Researcher at the laboratory of underground geotechnology of the Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kartingist@list.ru.

Abstract. This article presents results of research aimed at justifying an underground mining technique used to mine medium width pitching ore bodies and ensuring a drastic loss reduction in mining a unique deposit of quartz. The analysis of the theory and practice of pitching ore body mining helped establish that the drastic reduction in quartz losses can be achieved through application of a Combined Mining System (CMS) encompassing an open stoping system used for extracting the main chamber deposits and an ore and country rock caving system used for extracting inter-chamber pillars (ICP). Different types of CMS can be grouped by the shape of ICP (rectangular or trapezoidal), which is the key characteristic, and by ICP recovery conditions (under the hanging wall or under loose rock), which is an additional characteristic. Based on the grouping, seven efficient versions of CMS have been designed that are also distinguished by the ICP stoping method (breakage, ore drawing, stoping sequence) and by the reclamation method (artificial or uncontrolled caving of hanging walls) and procedure (before or after ICP breakage). A technique has been developed to determine the loss and dilution

of quartz which uses the width and incidence of the quartz body and the width of chambers and ICPs as basic arguments. This technique helps identify the best process parameters depending on the above factors. It was determined that the most efficient types of CMS, i.e. CMSs with wider chambers, trapezoidal yield ICPs mined under the hanging wall or artificially caved rock), ensure a loss reduction of 6 to 11%.

Keywords: Quartz deposit, underground mining technique, pitching ore body, losses and dilution, combined mining system.

References

1. Sokolov I.V., Antipin Iu.G., Baranovskii K.V. Exploring the underground mining technology used to mine the medium width pitching ore body of the Kyshtym granular quartz deposit. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [Proceedings of Russian Universities. Mining Journal]. 2013, no. 2, pp. 17-22.
2. Sokolov I.V., Kornilov S.V., Sashurin A.D. et al. On the creation of a scientific and technological basis for the introduction of a comprehensive geotechnology of extraction and processing of high grade quartz. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2014, no. 12, pp. 44-48.
3. Kalmykov V.N., Rylnikova M.V., Mannanov R.Sh., Emelyanenko E.A. Searching for sustainable solutions for mining of metasomatically al-

- tered deposits. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining analytical bulletin]. 2001, no. 4, pp.187-193.
4. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Iu.G. et al. Development and application of underground geotechnology using mobile mining machines in Ural region mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. №4. *Problemy nedropolzovaniya* [Mining analytical bulletin. No. 4. Issues of subsoil management]. 2013, pp. 66-74.
 5. Zakusin G.A. Increasing the mining efficiency of medium width steeply dipping iron ore bodies. *Aftoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Extended abstract of a PhD dissertation]. Sverdlovsk: SGI. 1984, 24 p.
 6. Volkov Iu.V., Sokolov I.V., Kamaev V.D. *Vybor sistem podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdenii Urala* [Selection of underground mining systems for iron ore deposits of the Urals region]. Ekaterinburg: The Urals Branch of the Russian Academy of Sciences. 2002, 124 p.
 7. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Iu.G., Sokolov R.I. Effect of recovery indicators on iron ore underground mining efficiency. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [Proceedings of Russian Universities. Mining Journal]. 2012, no. 3, pp. 4-11.
 8. Baranovsky K.V. Effect of geological factors on the underground mining efficiency of medium width steeply dipping bodies. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. Otd. vyp. #11. *Problemy nedropolzovaniya* [Mining analytical bulletin. No.11. Issues of subsoil management]. 2011, pp. 288-293.
 9. Standard regulations on solid minerals losses in mining. *Sbornik rukovodyashchikh materialov po okhrane nedr. Gosgortekhnadzor SSSR* [A collection of regulations on the conservation of mineral resources. USSR Committee for Mining and Industrial Safety Supervision]. Moscow: Nedra. 1973, 154 p.
 10. Guidelines on the definition, regulation and monitoring of ore losses and dilution at the mines of the USSR Ministry of Non-Ferrous Metals Industry. *Sbornik instruktivnykh materialov po okhrane i ratsional'nomu ispol'zovaniyu poleznykh iskopaemykh. MTsM SSSR* [A collection of guidelines on the conservation and sustainable utilization of mineral resources. USSR Ministry of Non-Ferrous Metals Industry]. Moscow: Nedra, 1977.
 11. Guidelines on the definition, monitoring and regulation of ore losses at iron, manganese and chromite ore mines of the USSR Ministry of Ferrous Metals Industry. VIOGEM, Belgorod, 1975.
 12. *Pravila okhrany nedr* [Mineral resources conservation rules] (PB 07-601-03). Approved by Gosgortekhnadzor of Russia on 18 June 2003. GUP NTTc. Issue 11, Moscow, 2003.

Соколов И.В., Барановский К.В. Выбор эффективной технологии подземной разработки месторождения кварца // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 10–17. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-10-17

Sokolov I.V., Baranovsky K.V. Choosing an efficient technique for underground quartz mining. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 10–17. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-10-17
