

УДК 622.274:622.342

Гобов Николай Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58

Рожков Артем Андреевич

младший научный сотрудник
лаборатории подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 69artem@bk.ru

**ИЗЫСКАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ОТРАБОТКИ ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ
УСЛОВИЯМИ ЗАЛЕГАНИЯ
РУДНЫХ ТЕЛ****Аннотация:*

В результате пересмотра кондиций Ветренского золоторудного месторождения актуально вовлечение в эксплуатацию запасов нижних и отработанных ранее верхних этажей. Особенностью освоения данного месторождения является необходимость доработки рудных тел на границе с ранее отработанными запасами, а также разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий, обусловленное большим количеством отдельных рудных тел с незначительными запасами. Традиционной проблемой отработки жильных рудных тел является высокий уровень разубоживания, обусловленный сложной морфологией рудных тел, их небольшой мощностью, неопределенностью и извилистостью контактов золотосодержащих и вмещающих пород (проектная величина разубоживания составляет 28 %, а фактическая – 48 %). С целью поддержания производственной мощности подземного рудника и оптимизации показателей извлечения разработан комплекс технологических решений по подготовке и очистной выемке. Сконструированы варианты систем разработки для различных горно-геологических условий, позволяющие переходить с одной системы на другую за счет схемы подготовки. Рассчитаны нормативные потери и разубоживание по системам разработки и в целом по руднику.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, балансовые запасы, система разработки, целик, потери, разубоживание

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.030

Gobov Nikolay V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Worker
of the laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining of UB RAS,
620075, Ekaterinburg,
Mamin-Sibiryak st., 58

Rozhkov Artem A.

Junior Research Worker
of the laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining of UB RAS
e-mail: 69artem@bk.ru

**EXPLORATION
OF MINING TECHNOLOGY
FOR A GOLD ORE DEPOSIT
WITH VARIOUS CONDITIONS
OF ORE BODIES OCCURRENCE***Abstract:*

As a result of the revision of the conditions of the Vetrenskoye gold deposit, involving into the exploitation of the reserves of the lower and earlier worked out upper floors is becoming actual. An important feature of the development of this field is the need to refine ore bodies on the border with previously used reserves, as well as a variety of mining-geological and mining-technical conditions, due to a large number of separate ore bodies with insignificant reserves. A high level of impoverishment, because of the complex morphology of ore bodies, their small thickness, uncertainty and tortuosity of contacts of gold-bearing and enclosing rocks (the design value of impoverishment is 28% and the actual impoverishment is 48%). In order to maintain the production capacity of the underground mine and to optimize the extraction parameters, a set of technological solutions for the preparation and cleaning excavation has been developed. Variants of development systems for various mining-and-geological conditions, allowing to shift from one system to another through a preparation scheme, have been designed. Standard losses and impoverishment for the development systems and, in general, for the mine have been calculated.

Key words: gold ore deposit, balance reserves, development system, pillar, losses, impoverishment

* Работа выполнена по Госзаданию 007-00293-18-00. Тема № 0405-2018-0015

Отработка золоторудного месторождения «Ветренское» ведется подземным способом. Рудник располагается в пределах Верхне-Колымского нагорья. Климат района резко континентальный, характеризующийся продолжительной суровой зимой и коротким летом. Рудные тела имеют сложную форму и представлены серией сближенных кварцевых жил, линз, прожилков и жильных образований неправильной формы. Кварцево-жильные образования в рудных телах изменчивы по мощности и прерывисты по простиранию и падению.

Мощность рудных тел изменяется в интервале 0,7 – 7,4 м, угол падения 31 – 80°, размеры ограничены несколькими десятками метров по простиранию и высоте. Вмещающие породы – от малоустойчивых до устойчивых [1], руды крепкие – XIV-XV по буримости и VI-XIII по шкале проф. М.М. Протодяконова.

В 2010 г. для месторождения были изменены постоянные разведочные кондиции со снижением в 2,5 раза минимального среднего содержания золота в подсчетном блоке. В результате запасы ряда рудных тел (в том числе и ранее обрабатываемых) переведены из забалансовых в балансовые.

К особенностям освоения данного месторождения следует отнести:

- необходимость доработки рудных тел на границе с ранее отработанными запасами;
- высокий уровень разубоживания руды при добыче, обусловленный сложной морфологией рудных тел, их небольшой мощностью, неопределенностью и извилистостью контактов золотосодержащих жил (проектная величина разубоживания составляет 28 %, а фактическая – 48 %);
- разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий, обусловленное большим количеством отдельных рудных тел с незначительными запасами.

Таким образом, выбор технологии обработки месторождения, конструирование рациональных вариантов систем разработки и определение их показателей эффективности – актуальные технические задачи.

Для обоснования выбора технологии были проанализированы:

- горно-геологические условия (физико-механические свойства руд и вмещающих пород, угол падения и мощность рудных тел);
- горнотехнические условия (высота этажа, схема вскрытия, схема транспортирования);
- опыт работы рудника «Ветренский»;
- опыт разработки месторождений в схожих условиях.

Анализ показал следующее. Для рудных тел наклонного падения и незначительной мощности, с неустойчивыми породами висячего бока, в работе [2] предложена система разработки с обрушением руды и вмещающих пород с уменьшенной высотой подэтажей. При углах падения более 45°, средней мощности рудных тел и устойчивых вмещающих породах рациональным вариантом системы разработки являются подэтажные штреки с формированием общего горизонта выпуска через погрузочные заезды погрузочно-доставочными машинами [3]. Повышение эффективности применения системы подэтажных штреков для рудных тел со значительными размерами по простиранию и падению или граничащих с ранее отработанными запасами возможно за счет оставления целиков минимальных размеров. Для условий рассматриваемого месторождения целесообразно принимать междукамерные (МКЦ) и междуэтажные целики (МЭЦ) толщиной 10 м [4]. Технологии с твердеющей закладкой выработанного пространства являются наиболее эффективными по показателям извлечения, однако в работе [5] установлено, что для обработки мелких жил их применение является нецелесообразным в силу значительной себестоимости даже при высокой извлекаемой ценности руд. При малой мощности рудных тел и их крутом падении в практике освоения жильных золоторудных месторождений наибольшее распространение получила система разработки с магазинированием руды [6].

В результате для конструирования приняты следующие системы:

- система подэтажных штреков (ПШ);
- система подэтажного обрушения (ПО);
- система с магазинированием руды (СМ).

С учетом широкой вариации значений величин горно-геологических факторов, для принятых систем разработки определены области применения по мощности (m) и углу падения (α) рудных тел и установлена доля применения систем разработки относительно балансовых запасов месторождения. Для конструирования определены средневзвешенные параметры $m_{\text{ср}}$ и $\alpha_{\text{ср}}$ (табл. 1).

Таблица 1

Область и доля применяемых систем разработки

Показатель	$m \geq 3 \text{ м}$		$m < 3 \text{ м}$	
	$\alpha \geq 45^\circ$	$\alpha \geq 45^\circ$	$\alpha \geq 45^\circ$	$\alpha < 45^\circ$
	ПШ	ПО(1)	СМ	ПО(2)
Мощность, м	$m_{\text{ср}} = 4,1 \text{ м}$	$m_{\text{ср}} = 4,3 \text{ м}$	$m_{\text{ср}} = 1,8 \text{ м}$	$m_{\text{ср}} = 1,9 \text{ м}$
Угол падения, град.	$\alpha_{\text{ср}} = 68^\circ$	$\alpha_{\text{ср}} = 51^\circ$	$\alpha_{\text{ср}} = 63^\circ$	$\alpha_{\text{ср}} = 43^\circ$
Доля системы разработки, %	39,6 %	27,7 %	2 %	30,7 %

Система ПШ применяется для отработки рудных тел средней мощности (более 3 м) с углом падения $\alpha \geq 45^\circ$ при устойчивых рудах и вмещающих породах. В соответствии с геомеханическим обоснованием [7] и опытом рудника «Ветренский» устойчивая площадь обнажения всячего бока составляет 1500–2000 м². Система ПШ применяется в двух вариантах:

1 вариант. Для отработки локальных рудных тел без образования МЭЦ и МКЦ (рис. 1). Высота подэтажа равна 10–12,5 м. Подэтажи связаны между собой наклонными съездами. Отбойку ведут на открытое очистное пространство, с опережением верхних подэтажей по отношению к нижним. Это позволяет производить торцевой выпуск руды на подэтажах, но основная часть руды выпускается через траншейное днище из погрузочных заездов с помощью ПДМ. После выемки запасов камеры необходимо произвести погашение образовавшейся пустоты подрывом пород всячего бока.

2 вариант. Для отработки значительных по размерам рудных тел (более высоты этажа – 40–50 м) – с формированием МЭЦ и МКЦ (рис. 2). При значительной высоте рудных тел необходимо разделение их на добычные блоки (камеры) по высоте. Оставление МЭЦ необходимо и в том случае, если рудное тело находится под ранее отработанными запасами (обрушенными породами). Над нижележащей камерой оформляется МЭЦ толщиной 10–12 м. При большой длине рудных тел по простиранию, когда площадь обнажения всячего бока превышает предельно допустимую, необходимо образование МКЦ толщиной 10–12 м. Также МКЦ формируется на границе с ранее отработанными запасами (обрушенными породами). После выемки основных запасов камеры производится обрушение МЭЦ и/или МКЦ (рис. 3).

Система ПО применяется при неустойчивых вмещающих породах. Независимо от мощности и угла падения рудного тела, во всех случаях используется вариант с полойной отбойкой и торцовым выпуском руды погрузочно-доставочными машинами (ПДМ). Вентиляция очистных забоев осуществляется вентиляторами местного проветривания.

При углах падения рудных тел более 45° применяется вариант системы ПО(1), при котором высота подэтажа составляет 10–12,5 м (рис. 4).



Рис. 1 – Система разработки ПШ (1 вариант)

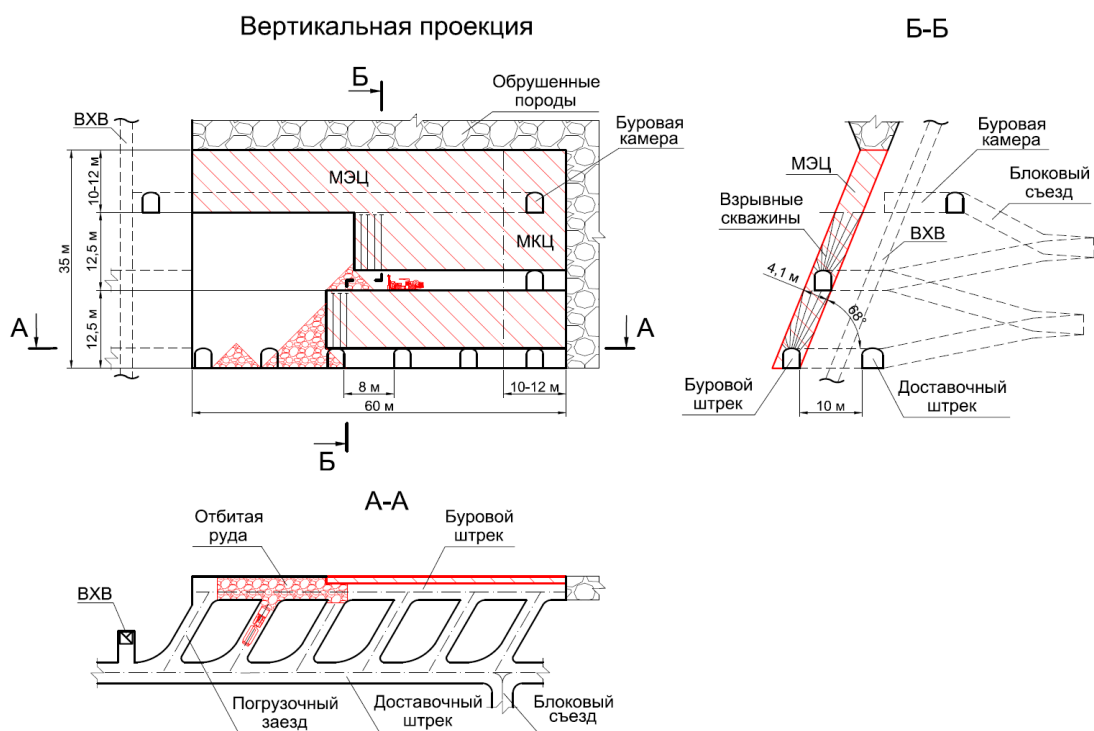


Рис. 2 – Система разработки ПШ (2 вариант). Выемка камерных запасов

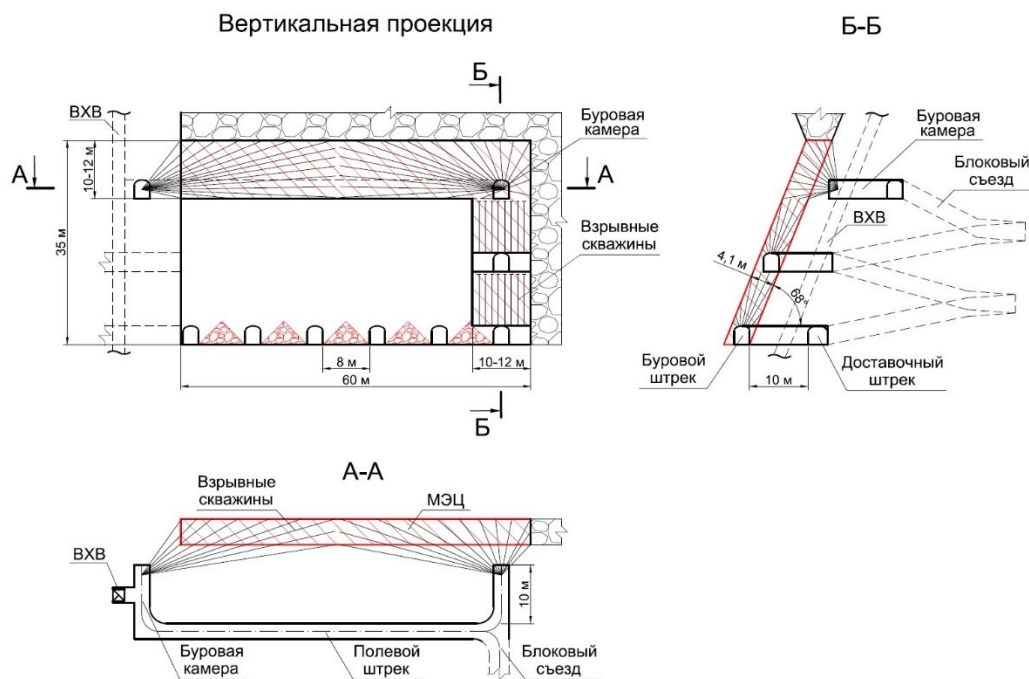


Рис. 3 – Система разработки ПШ (2 вариант). Погашение запасов МЭЦ и МКЦ

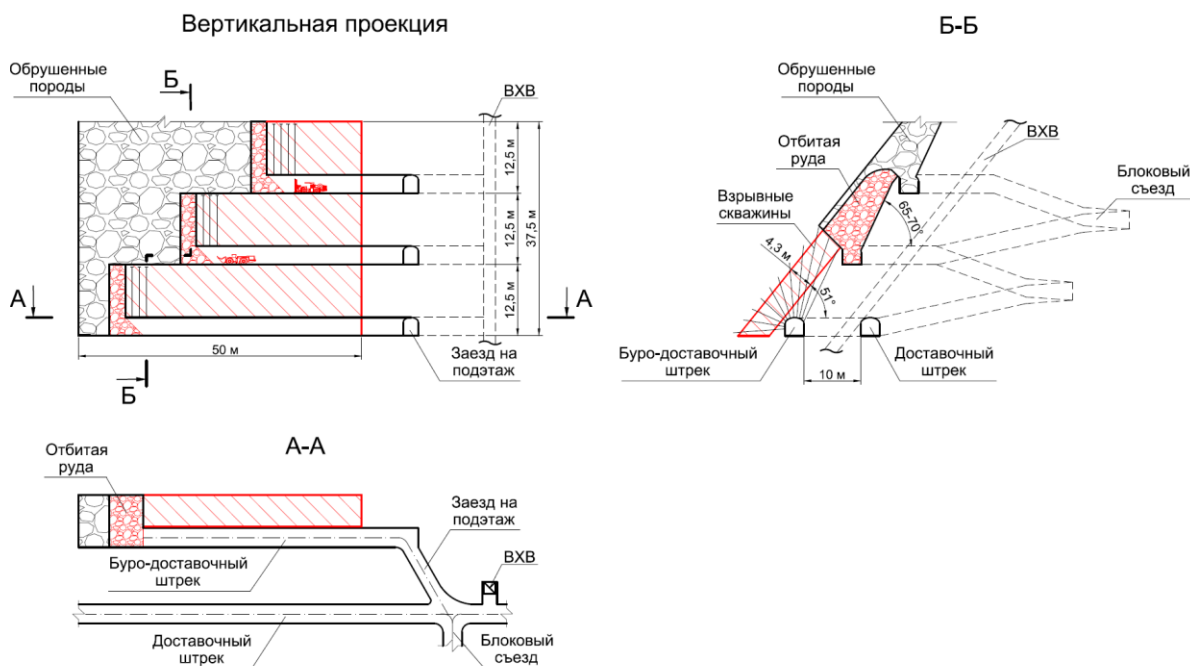


Рис. 4 – Система разработки ПО(1) с углом падения рудных тел более 45°

При отработке системой ПО(1) слепых рудных тел на верхнем подэтаже необходимо производить подрыв налегающих пород за счет перебура скважин за контур рудного тела в объеме, обеспечивающем полное заполнение пустот после выпуска отбитой руды.

В случае отработки наклонных рудных тел, когда угол падения не позволяет обеспечить выпуск руды слоя ($\alpha < 45^\circ$) [8], применяется вариант системы ПО(2) с уменьшенной до 5 – 6 м высотой подэтажа (рис. 5). Буро-доставочный штрек при этом смещается в сторону лежачего бока, производится подрезка последнего до $65 - 70^\circ$. При ПО(2) подрыв пород висячего бока осуществляется на каждом подэтаже.

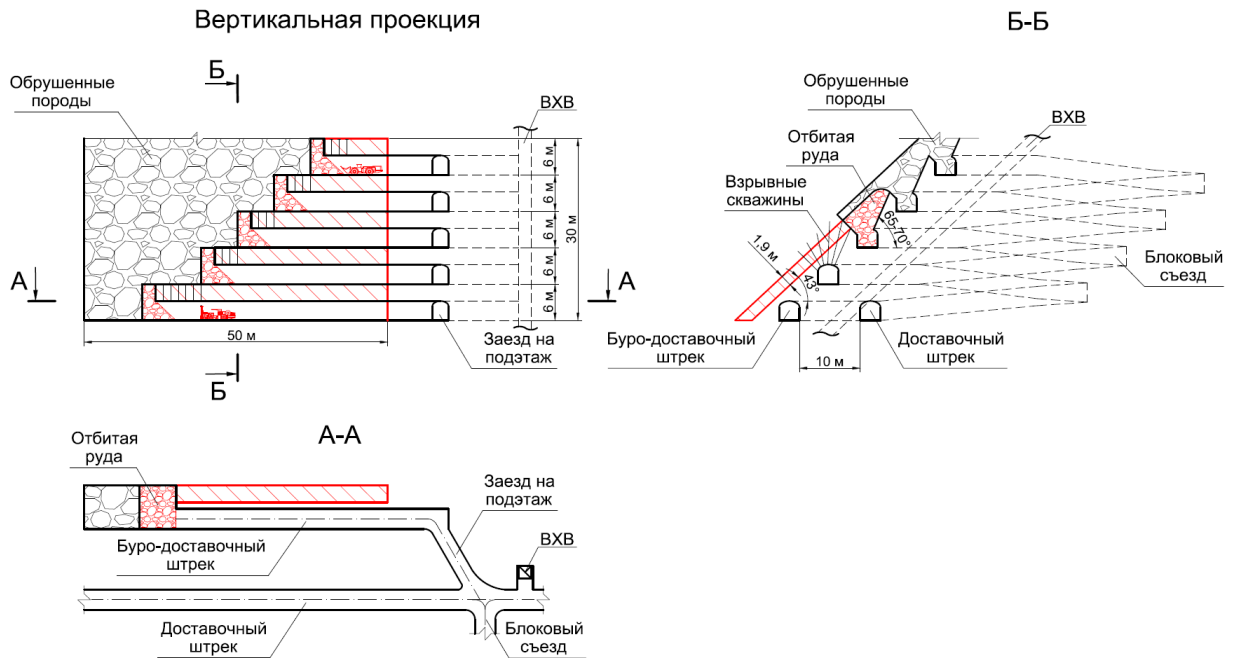


Рис. 5 – Система разработки ПО(2) с углом падения рудных тел менее 45°

Для отработки тонких и маломощных ($m < 3$ м) крутопадающих ($\alpha \geq 45^\circ$) рудных тел при устойчивых рудах и вмещающих породах применяется система с магазинированием руды (рис. 6).

Поскольку рудные тела имеют ограниченные размеры по падению и простирацию, оставление рудных целиков в виде потолочин и около вентиляционно-ходовой составляющей (ВХВ) не предусматривается. ВХВ проходятся по пустым породам на флангах рудных тел. Образовавшаяся после выемки запасов блока пустота должна быть погашена путем обрушения вмещающих пород или заполнением пустыми породами. Доля применения СМ на месторождении не более 2 %.

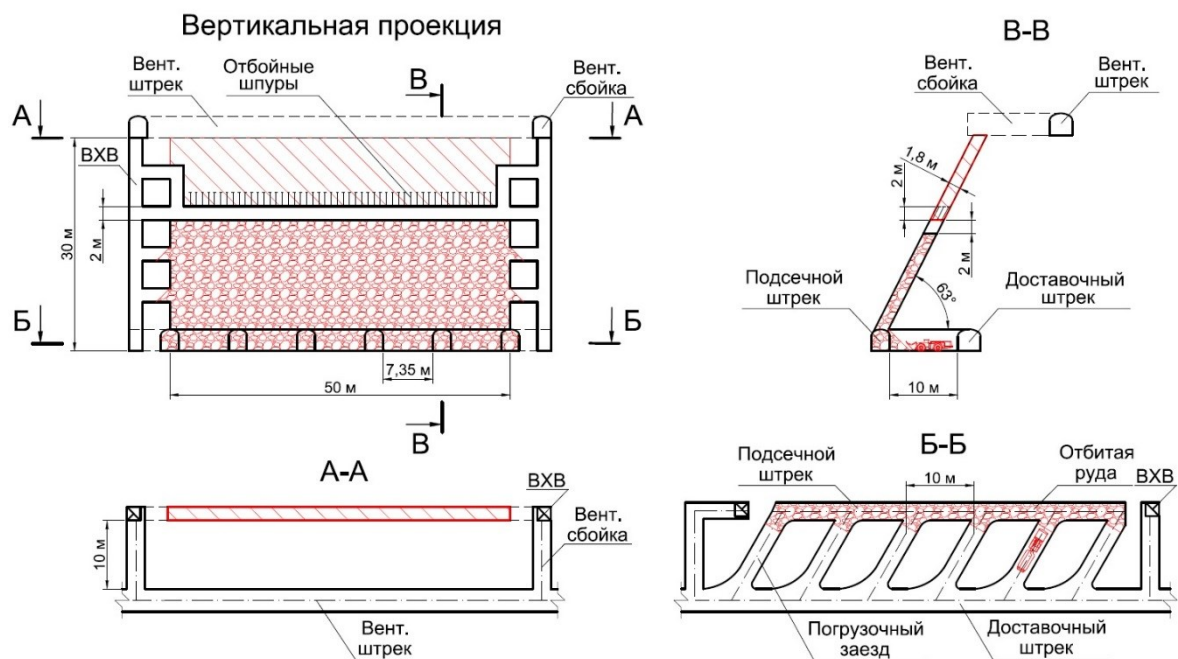


Рис. 6 – Система разработки с магазинированием руды

Еще одной особенностью при отработке золоторудных и других жильных месторождений ценного и редкоземельного сырья является эффект сегрегации – склонность рудных минералов при хрупком разрушении скапливаться в мелких классах руды с повышенным содержанием полезных компонентов [9]. Такая «обогащенная» рудная мелочь в значительных количествах скапливается на неровностях лежачего бока при всех вариантах систем разработки. При системе с обрушением руды и вмещающих пород это приводит к безвозвратным потерям такого типа. При системах разработки с открытым очистным пространством и с магазинированием руды известны методы снижения данного вида потерь, в частности гидрозачистка лежачего бока [10]. Однако в условиях вечной мерзлоты применение воды в процессе добычи неприемлемо. Соответственно, необходимо стремиться к снижению переизмельчения руды в процессе ее отделения от массива.

В работе [11] предложен способ отбойки руды полукруглыми горизонтальными пучками скважин при отработке жильных месторождений с опережающим взрыванием контурных зарядов. Тем самым достигался эффект возникновения экранирующих зон, благодаря чему повышалась эффективность использования полезной энергии взрыва внутри отбиваемого объема руды и снижалось негативное воздействие на законтурный массив. Для сконструированных систем разработки такой способ не подходит конструктивно, но заложенные в нем принципы следует считать основополагающими.

Поскольку рудные тела месторождения представлены кварцевыми жилами со значительным коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова ($f=12-13$), отбойку предложено производить плоскими системами рассредоточенных зарядов. Исследования действия взрыва таких систем, направленные на снижение выхода переизмельченных фракций при добыче кварцевого сырья ($f=10-15$), проведены в работе [12]. Полученные результаты говорят о практической возможности значительного снижения выхода мелких фракций за счет более равномерного дробления с ростом выхода кондиционных фракций средней крупности (рис. 7).

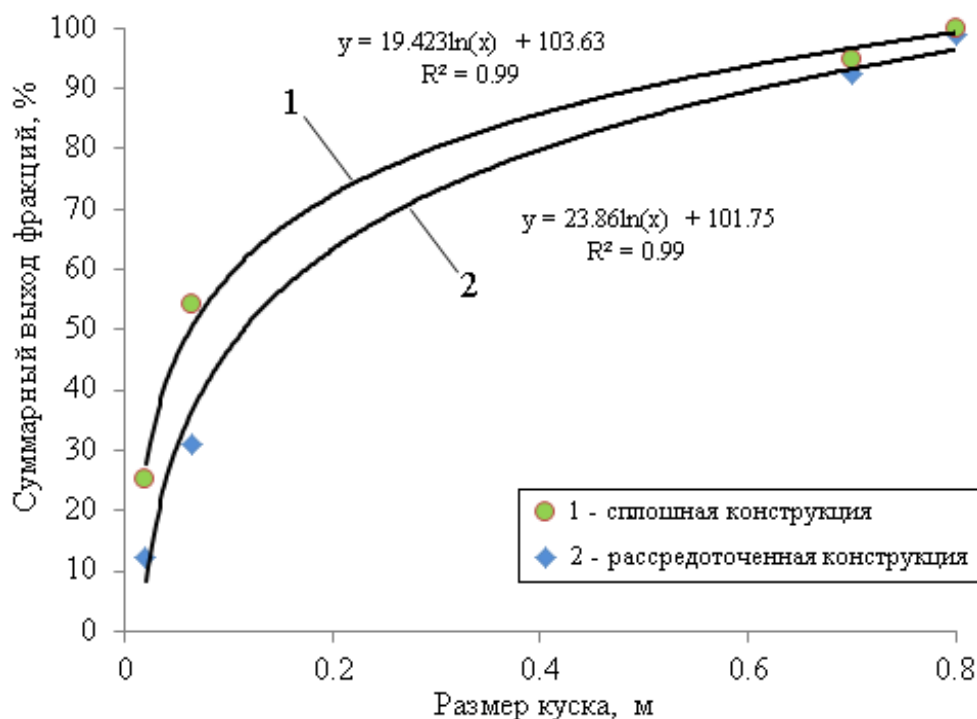


Рис. 7 – Сравнение качества взорванной горной массы при разных конструкциях зарядов в веерах скважин с одинаковыми параметрами расположения в массиве

Для систем разработки ПШ и ПО скважинные заряды располагаются в виде вееров.

Поскольку при СМ отбойка производится по принципиально другой схеме, рекомендуется применять рассредоточенные заряды гранулированного ВВ вне зависимости от схем и порядка взрывания. Рассредоточение заряда снижает начальное давление взрыва на стенки скважины (шпура), удлиняя время воздействия взрыва на массив горных пород, уменьшает бризантное действие взрыва, связанное с переизмельчением породы в ближней зоне взрыва и способствует более равномерному дроблению [13]. В работе [14] даны практические рекомендации по формированию рассредоточенных зарядов в восходящих скважинах (шпурах) малого диаметра без значительного повышения трудоемкости процесса зарядания и использования дополнительных специальных средств.

Сравнение применяемых систем разработки показывает, что наиболее эффективной является система ПШ, которая обеспечивает достаточно высокую производительность при наилучших показателях извлечения руды. Система ПО при высокой производительности отличается повышенным уровнем потерь и разубоживания. Разработанная схема подготовки добычных блоков позволяет в случае снижения устойчивости обнажений вмещающих пород оперативно без лишних затрат перейти от системы ПШ к ПО. При всех вариантах принятых систем разработки предусматривается применение единого комплекса самоходных машин для выпуска, доставки и транспортирования руды и породы.

Нормативные потери и разубоживание по применяемым системам разработки и в целом по руднику [15] с учетом потерь при перегрузке руды на поверхности и транспортировке ее на золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормативные потери и разубоживание

Система разработки	Потери	Разубоживание
	%	%
ПШ	6,81	13,43
ПО	11,78	42,13
ПО(2)	15,75	48,41
СМ	9,95	32,69
Итого	10,96	35,25
Потери при транспортировке на ЗИФ и перегрузке	1,0	-
Всего	11,96	35,64

Таблица 3

Основные показатели по руднику «Ветренский»

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение
1	Потери руды	%	11,96
2	Разубоживание	%	35,64
3	Годовая производительность рудника	тыс.т	200
4	Месячная производительность рудника	тыс.т	16,7
5	Объем ПНР:		
	- всего	м ³	42678
	- на 1000 т рудной массы	м ³ /1000 т	121,4

Увеличение доли применения системы ПШ для выемки рудных тел позволяет существенно снизить разубоживание (на 12 %).

Основные технические показатели по подземному руднику «Ветренский» приведены в табл. 3.

Предложенная технология отработки месторождения за счет дифференцированного применения систем разработки в разных условиях и увеличения доли системы поэтажных штреков обеспечивает:

- необходимую производительность по добыче руды;
- достаточно высокие показатели качества руды;
- возможность перехода от одной системы разработки к другой в случае изменения горно-геологических условий за счет схемы подготовки добычных блоков;
- снижение потерь в виде рудной мелочи на лежащем боку;
- безопасность ведения горных работ.

Литература

1. Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов. – М.: Недра, 1981. – 109 с.
2. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 2. – С. 47 – 53.
3. Никитин И.В. Вскрытие и технология отработки крутопадающего жильного месторождения в условиях гористой местности / И.В. Никитин // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1. – С. 108 - 113. DOI:10.18454/2313-1586.2014.01.108.
4. Павлов А.М. Обоснование параметров геотехнологий выемки целиков крутопадающих жильных месторождений / А.М. Павлов, Е.Л. Сосновская // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 15 – 19.
5. Глотов В.В. Технология разработки мелких жильных месторождений с изменчивой мощностью / В.В. Глотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Т. 1. № 12. – С. 70 - 74.
6. Технология разработки золоторудных месторождений / В.П. Неганов и др.; под ред. В.П. Неганова. – М.: Недра, 1995. – 336 с.
7. Методические указания по установлению размеров камер и целиков при камерных системах разработки руд цветных металлов. – Чита: Изд-во ВНИПИГорцветмет, 1988. – 126 с.
8. Куликов В.В. Выпуск руды / В.В. Куликов. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
9. Рафиенко Д.И. Системы с магазинированием руды при разработке жильных месторождений / Д.И. Рафиенко. – М.: Недра, 1967. – 191 с.
10. Ситников Р.В. Гидромеханическая зачистка рудной мелочи – эффективный путь снижения потерь руды / Р.В. Ситников // Вестник ЧитГУ. – 2010. – № 2 (59). – С. 18 – 22.
11. Трубецкой К.Н. Методология построения инновационных технологий освоения жильных месторождений / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Г.В. Сабянин // ФТПРПИ. – 2011. – № 4. – С. 86 – 94.
12. Результаты экспериментальных исследований подземной добычи высокоценного кварца в условиях Кыштымского рудника / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, А.А. Рожков // ФТПРПИ. – 2018. – № 1. – С. 97 - 106.
13. Лещинский А.В. Рассредоточение скважинных зарядов / А.В. Лещинский, Е.Б. Шевкун. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – 154 с.



14. Соколов И.В. Отбойка кварца рассредоточенными скважинными зарядами при подземной добыче / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, А.А. Рожков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 10. – С. 178 – 185.

15. Методические указания по нормированию, определению и учету потерь и разубоживания золотосодержащей руды (песков) при добыче. – Иркутск: Изд-во Иргиредмет, 1994. – 265 с.