© И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, М.А. Широков, 2013

УДК 622.272.06/271.06

И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, М.А. Широков

*ОБОСНОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ САРБАЙСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

На основании анализа горно-геологических и горнотехнических условий обоснованы эффективные варианты систем подземной разработки подкарьерных запасов Сарбайского железорудного месторождения. Разработана технология отработки конкретных участков месторождения, определены показатели извлечения и основные ТЭП по вариантам.

Ключевые слова: подземная геотехнология, подготовительно-нарезные работы, очистная выемка, система разработки, обрушение руды и вмещающих пород.

Переход от открытой разработки (ОГР) Сарбайского железорудного месторождения к подземной (ПГР) является одной из важнейших задач сохранения и поддержания минерально-сырьевой базы ОАО ССГПО. Спецификой комбинированной разработки месторождения является последовательная схема освоения запасов – ОГР ведутся карьером до глубины 620 м с последующим переходом на ПГР. Запасы магнетитовых руд включают четыре крупных рудных тела мощностью от 3 до 250 м и углом падения от 30º до 90º. Породы и руды средней устойчивости и неустойчивые, с коэффициентом крепости руды f = 14, вмещающих пород f = 13. В результате выемки запасов будет происходить подработка водоносных горизонтов. При доработке карьера создаются внутренние отвалы пустых пород на северо-западном участке высотой 260 м и на южном – до 110 м.

Освоение запасов проектом ОАО «Гипроруда» определено в два этапа:
1) выше гор. -300 м рудником с производственной мощностью 6,0 млн т/год;
2) -300/-600 м – 10,0 млн т. Шахтное поле вскрывается с поверхности центральной группой стволов: Главным, Вспомогательным и Грузовым, расположенными в лежачем боку месторождения с восточной стороны карьера. Предусмотрен нагнетательный способ проветривания с подачей воздуха по Вспомогательному, Южному и Северному вентиляционным стволам. Вскрытие, подготовка и отработка шахтного поля предусматривается этажами высотой 100 м с устройством концентрационных горизонтов на отм. -300 м и -600 м и транспортированием руды электровозами в вагонетках.

* Работа выполнена при поддержке Междисциплинарного проекта «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала» (12-М-23457-2041 УрО РАН).

ИГД УрО РАН в рамках технологических регламентов для проектирования запасы Сарбайского месторождения разделены на прибортовые (выше дна карьера в отм. +15/-385 м) и подкарьерные (между отм. -385 м и -585 м), причем как непосредственно граничащие с предельным контуром карьера, так и удаленные от него. При этом месторождение разбито на три участка: Центральный, Северный и Южный. Установлены средняя горизонтальная мощность и угол падения рудных тел: мощных – 105 м и 53°; средней мощности – 19 м и 54°, соответственно. Выемка около 20 % верхнего подкарьерного этажа -385/-485 м будет производиться под отвалом пустых пород, а большая часть подкарьерных запасов – под обрушенными породами.

При изыскании и конструировании рациональной технологии руководствовались следующими основными положениями:

— расположение основных подготовительно-нарезных выработок и блоков вкрест простирания рудного тела по геомеханическим условиям;

— сплошной порядок отработки рудных тел от центра к флангам без формирования МБЦ;

— постепенная подработка водоносных горизонтов с оставлением предохранительных целиков, позволяющей создать условия для плавного опускания водоупорных глин и предупреждения залпового прорыва воды и плывунов в подземные выработки;

— применение камуфлетного взрывания, ударобезопасной формы сечения выработок (шатровая, четырехугольная со щелями в углах) для предупреждения горных ударов;

— учет аэро- и гидродинамические связей между карьером и подземными выработками.

— применение высокопроизводительного самоходного оборудования (СО) с целью обеспечения проектной мощности рудника;

— использование карьерных буровых станков для обуривания подземных запасов с уступов, не заполненных внутренним отвалом.

Производство ПНР и очистных работ для всех вариантов технологии ведется одинаковыми комплексами СО:

— проходка – буровые каретки типа *Sandvik DD* 320-40 и ПДМ *Sandvik LH* 307 грузоподъемностью 6,7 т;

— выпуск и доставка рудной массы в рудоспуски – ПДМ *Sandvik LH* 514*E* с электроприводом, грузоподъемностью 14 т;

— бурение взрывных скважин – буровые станки *Sandvik DL* 420-10*C*;

— заряжание скважин – зарядная машина *Charmec* 6705*B*;

— проходка восстающих – комплекс *Robbins*73*RHC* или *Rhino* 1000.

— разделка негабарита в забоях и рудоспусках – бутобои «*Rammer*».

Рудные тела средней мощности рационально разрабатывать системами:

— подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды (вариант 1);

— этажно-камерной с последующим обрушением целиков (вариант 2).

Для мощных рудных тел сконструированы системы разработки:

— этажно-камерная с твердеющей закладкой (вариант 3);

— подэтажное обрушение с торцовым выпуском руды (вариант 4);

— этажное принудительное обрушение с одностадийной выемкой, отбойкой на зажатую среду и площадным выпуском руды (вариант 5).

Система подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды является достаточно эффективной, универсальной и гибкой по условиям применения (может применяться в сложных

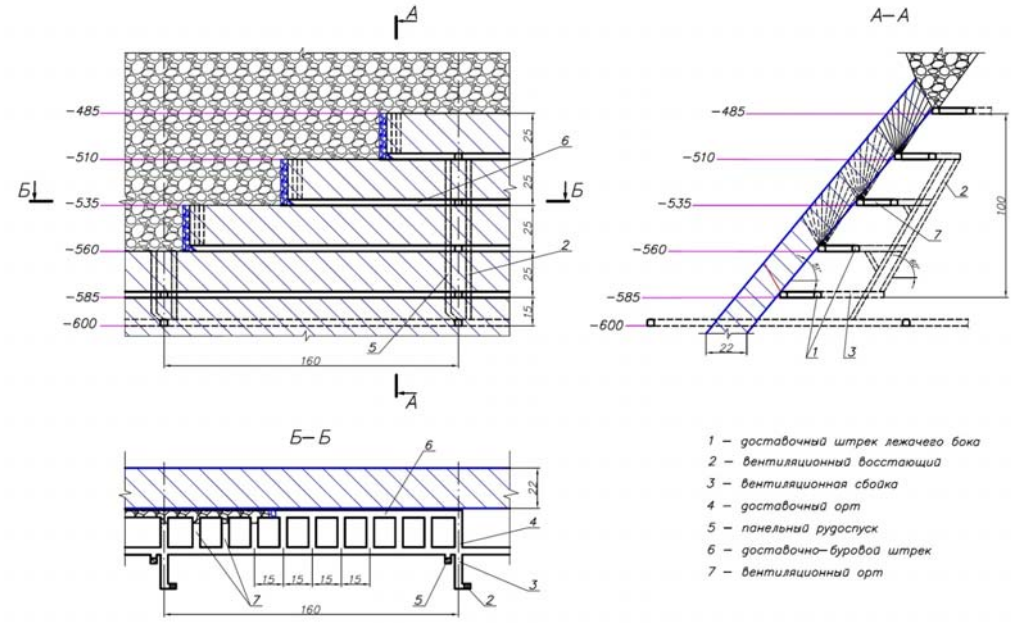

Рис. 1. Система разработки рудных тел средней мощности подэтажным обрушением (вариант 1)

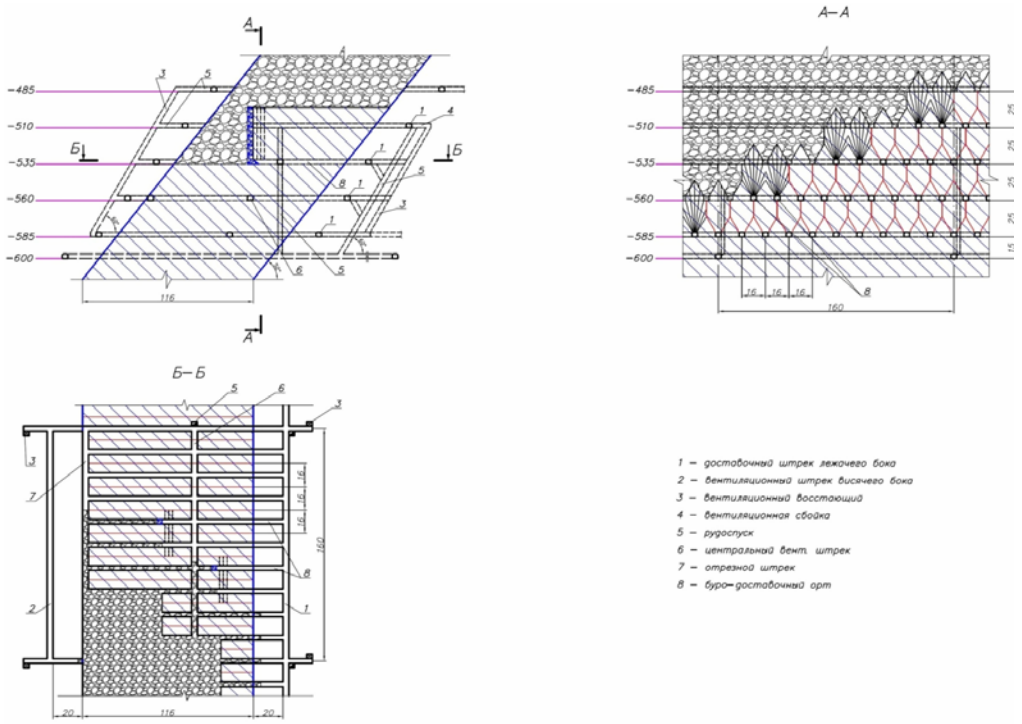

Рис. 2. Система разработки мощных рудных тел подэтажным обрушением (вариант 4)

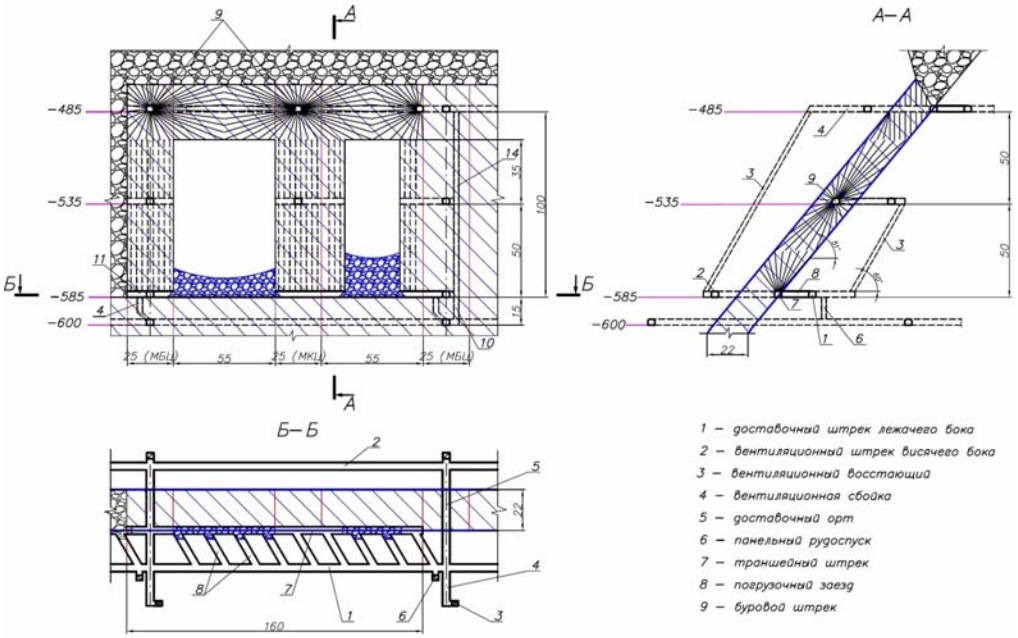

Рис. 3. Этажно-камерная система разработки с обрушением целиков (вариант 2)

горно-геологических, гидрогеологических и геомеханических условиях), позволяет организовать широкий фронт очистных работ на подэтажах и обеспечить требуемую производительность рудника. В условиях Сарбайского рудника она рекомендуется для выемки рудных тел средней мощности (рис. 1), хотя при необходимости (неустойчивые руды при высоком горном давлении) она может быть применена и для отработки мощных рудных тел (рис. 2).

Вместе с тем подэтажное обрушение требует проведения большого объема ПНР, имеет определенные ограничения по применению (необходимость заполнения выработанного пространства породой после выемки каждого слоя). Высокая интенсивность добычных работ предопределяет необходимость одновременной работы большого числа забоев при цикличной организации работ в последних (отбойка – выпуск) и большого количества технологических взрывов, что обуславливает сложную организацию очистных работ. К недостаткам относится и трудность проветривания очистных забоев, требующая использование вентиляторов местного проветривания.

Для рудных тел средней мощности в отдельных случаях при устойчивых рудах и породах возможно применение этажно-камерной системы с последующим обрушением целиков (рис. 3).

Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой достаточно производительна, но не обеспечивает необходимой интенсивности отработки месторождения (рис. 4). Технология очистной выемки предусматривает дополнительный процесс закладки выработанного пространства, который предполагает значительные материальные, энергетические и трудовые затраты на возведение ис-

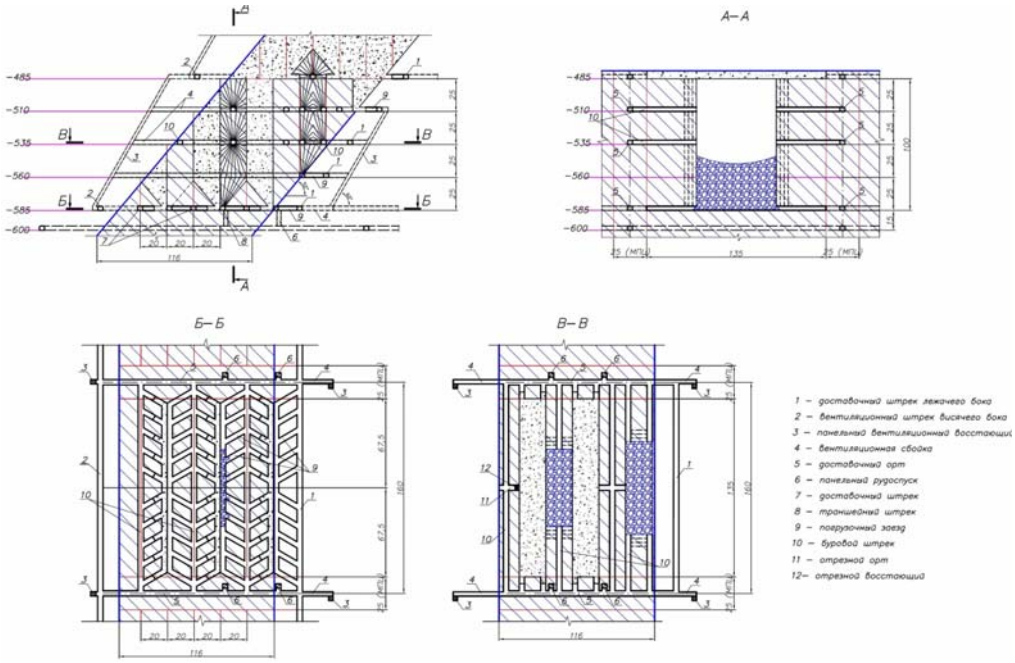

Рис. 4. Этажно-камерная система разработки с закладкой (вариант 3)

кусственного массива (доля таких затрат составляет 25-30 % от общих на очистную выемку). Продолжительность процесса закладки камер и твердения искусственного массива достигает 8-ми месяцев (учитывая опыт отработки медноколчеданных месторождений Урала), что существенно снижает интенсивность отработки запасов месторождения, а стадийная выемка усложняет организацию и снижает концентрацию ведения горных работ. Кроме того, как показывает опыт Соколовского подземного рудника и геомеханические расчеты, устойчивость камер будет недостаточна, что приводит к повышенному засорению руды и сводит на нет главное преимущество системы – хорошие показатели извлечения руды. По этим причинам применение системы с твердеющей закладкой для Сарбайского подземного рудника не рекомендуется.

В качестве основного рекомендуется вариант этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой руды и отбойкой в зажатой среде, поскольку в условиях Сарбайского месторождения гарантировать устойчивость камер компенсации из-за высокой трещиноватости рудного и породного массива и значительной величины горного давления нельзя. Вариант характеризуется небольшим удельным объемом ПНР. Непрерывный выпуск больших объемов руды и независимое ведение буровзрывных работ и работ по выпуску и доставке позволяют обеспечить высокую интенсивность добычи руды и большую производительность ПДМ (до 650 т/смену). Возможность производить равномерный выпуск руды по всей площади блока позволяет соблюдать горизонтальный контакт отбитой руды с обрушенной породой и, как следствие, получить достаточно хо-

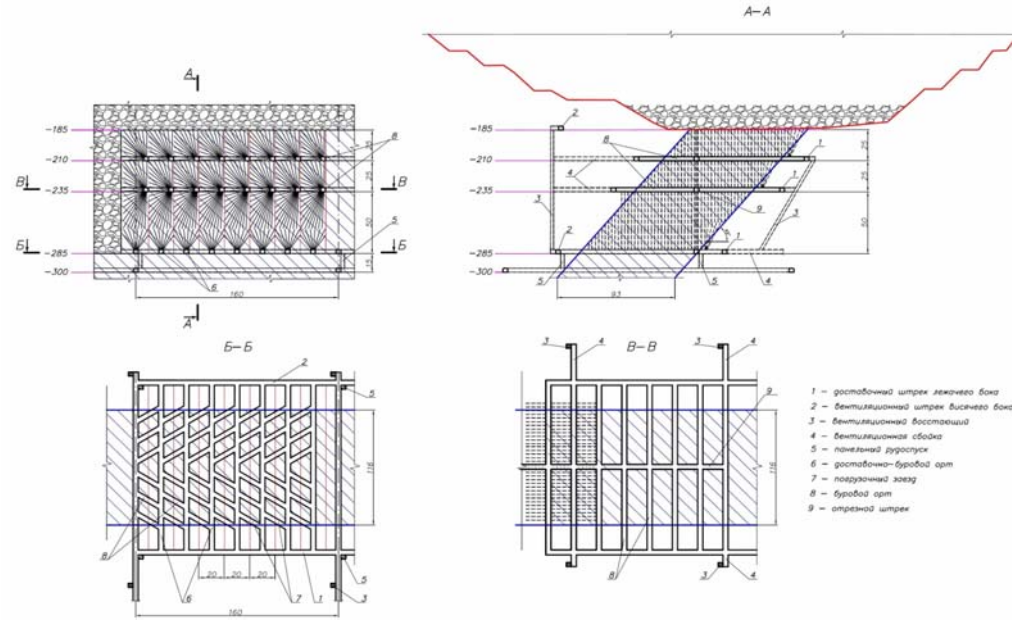

Рис. 5. Этажное принудительное обрушение (вариант 5)

рошие показатели извлечения руды. Вариант обеспечивает успешное применение этажного обрушения при достаточно высоком уровне горного давления и более эффективен при сплошной выемке этажа.

Рудное тело разбивается на панели высотой – 100 м, длиной по простиранию – 160 м, шириной равной мощности рудного тела (рис. 5). Подготовка панели производится полевыми доставочными и вентиляционными штреками, доставочными ортами между ними, пройденными через 160 м, вентиляционным и вентиляционно-ходовым восстающими и панельными рудоспусками. Панель разбивается на блоки шириной 20 м, отрабатываемые сплошным порядком по простиранию рудного тела. Подготовка блока заключаются в проведении доставочного орта, соединяющего полевые штреки висячего и лежачего бока, диагональных (под углом 60°) траншейных погрузочных заездов через 15 м из доставочных ортов. На подэтажах проходятся буровые орты, отрезные штреки и отрезной восстающий.

Очистная выемка в блоке начинается с оформления отрезной щели в центре блока и развивается двумя забоями к висячему и лежачему бокам. При отработке последующего блока доставочный орт предыдущего блока используется как траншейный (буроподсечной). Нижняя траншейная подсечка создается на ширину блока высотой 20 м и длиной, равной толщине отбиваемой секции 15-30 м. Отбойка основных запасов осуществляется секциями толщиной 15-30 м с помощью восходящих и нисходящих вееров скважин диаметром 102 мм, пробуренных из буровых ортов, расположенных на двух буровых подэтажах. Сетка скважин 2,7×3,3 м. После отбойки секции выпускается 25-30 % отбитого объема руды для обеспечения разрыхления руды перед взрывом

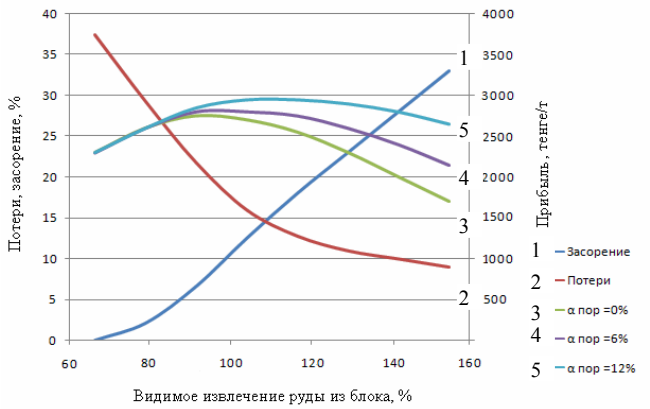

Рис. 6. Зависимости прибыли на 1 т балансовых запасов, и зависимости потерь и засорения от полноты выпуска руды из блока

очередной секции. Руда от забоев до рудоспусков доставляется ПДМ. Площадной выпуск осуществляется равномерно-последовательно с целью плавного опускания границы обрушенных налегающих пород.

Одной из важных задач при обосновании технико-экономических показателей (ТЭП) технологии с обрушением является определение экономически оптимального соотношения взаимосвязанных потерь и разубоживания [1]. Экономическим критерием оценки такого оптимального сочетания в соответствии с ТМУ [2] и «Отраслевой инструкцией…» [3] является полученная прибыль на единицу погашенных балансовых запасов. Извлекаемая ценность добытой руды равна ценности концентрата и окатышей, полученных из 1 т этой руды. В качестве затрат принята себестоимость добычи и обогащения. Расчет величины прибыли на 1 т балансовых запасов применительно к конкретным условиям Сарбайского подземного рудника произведен по авторской программе ИГД УрО РАН. Исходные стоимостные и технические данные представлены институтом «Гипроруда» и АО ССГПО.

Таблица 1

ТЭП вариантов систем разработки

№ п/п	ТЭП	Вариант системы разработки				
		1	**2**	**3**	**4**	5
1	Балансовые запасы добычной панели, тыс. т	**1309***	1309	6904	6904	**6904**
2	Удельный объем ПНР, м^3/ на 1000 т руды	**24,4**	16,2	16,5	20,3	**15,3**
3	Производительность труда: - проходка, м^3/чел.-см. - отбойка, т/ чел.-см. - доставка, т/ чел.-см. - закладка, т/ чел.-см. - на очистной выемке, т/ чел.-см. по системе разработки, т/ чел.-см.	 **4,7** **685** **638,3** **-** **330** **121,3**	 4,7 570 638,3 - 301 148,1	 4,7 565 638,3 425 176 108,8	 4,7 684 638,3 - 330 135,6	 **4,7** **649** **638,3** **-** **322** **156,3**
4	Потери, %	**12**	15	5	15	**13**
5	Засорение, %	**21**	25	10	25	**20**

* **Полужирным** шрифтом выделены лучшие варианты

Результаты расчетов показали, что прибыль равна нулю при содержании железа в добытой руде 20 %. Эта величина и принята предельной при выпуске руды под обрушенными породами. Следует отметить, что величина прибыли заметно зависит от содержания железа в засоряющих породах. На рис. 6 показаны графики изменения условной прибыли на 1 т балансовых запасов и изменения показателей извлечения руды от полноты выемки (видимого извлечения) руды из блока.

Рис. 6 показывает, что при незначительном содержании железа в засоряющих породах ($\alpha_{пор}$=0-6%) экономические оптимальное соотношение потерь и засорения при выпуске может быть принято равным 1:1 (по весу), при $\alpha_{пор}$=12-15 % (что характерно для обычной практики этажного обрушения) – 1:1,25. Исходя из этого, определены оптимальные соотношения потерь и засорения (при $\alpha_{пор}$=13 %), соответственно: при выпуске под пустыми породами 14 % и 19 %; при выпуске под отработанным блоком 12 % и 21 %.

Выполнено экономико-математической моделирование вариантов систем разработки. ТЭП по вариантам приведены в таблице.

Технико-экономическое сравнение вариантов показывает, что при отработке мощных рудных тел наиболее эффективным является этажное принудительное обрушение с площадным выпуском (вариант 1), рудных тел средней мощности – подэтажное обрушение с торцовым выпуском руды (вариант 5). Рекомендуемая технология обеспечивает своевременный набор и поддержание проектной производственной мощности Сарбайского подземного рудника и эффективное освоение запасов в течение 45 лет. Достигнутые ТЭП соответствуют лучшим мировым аналогам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.

2. *Типовые методические указания* по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче / Сборник руководящих материалов по охране недр. Госгортехнадзор СССР. – М.: Недра, 1973.

3. *Отраслевая инструкция* по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях МЧМ СССР / ВИОГЕМ, Белгород, 1975. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Соколов Игорь Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
Антипин Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Смирнов Алексей Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Барановский Кирилл Васильевич – ведущий инженер, аспирант,
Никитин Игорь Владимирович – аспирант, младший научный сотрудник,
Широков Максим Анатольевич – аспирант, младший научный сотрудник,
Лаборатория подземной геотехнологии, Институт горного дела УрО РАН, geotech@igduran.ru