

# ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С САМООБРУШЕНИЕМ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»

ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ» ПРЕДУСМАТРИВАЕТСЯ НИСХОДЯЩИЙ ПОРЯДОК ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ПЕРВОНАЧАЛЬНО ОТРАБАТЫВАЮТСЯ ЗАПАСЫ В БОРТАХ КАРЬЕРА, ЗАТЕМ ПРИСТУПАЮТ К ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ПОД ДНОМ КАРЬЕРА.

**Авторы:** Коваленко А. А., главный инженер института «Якутнипроалмаз», Русских И. Л., научный сотрудник ОАО «Уралмеханобр»

**Д**ля выемки запасов трубки «Удачная» подземным способом запроектированы и применяются системы поэтажного обрушения с торцовым выпуском и этажного принудительного обрушения и площадным выпуском руды [1].

Отработка прибортовых запасов месторождения системой поэтажного обрушения с торцовым выпуском руды является, по сути, переходным этапом от открытых к подземным горным работам. При выемке прибортовых запасов отгружается только часть отбитой руды, а основная ее масса остается на его дне, формируя рудную, комбинированную или породную подушку, под защитой которой планируется осуществлять отработку основных запасов руды под дном карьера.

Высота добычных блоков составляет 100 метров. Вся руда в блоках отбивается круговыми или восходящими веерами скважин из поэтажных буровых выработок. Выпуск отбитой руды осуществляется самоходным оборудованием на горизонте -465 (-565) метров выемкой и площадным выпуском руды.

Принятые конструктивные элементы системы разработки соответствуют общепринятым в российской горной науке канонам, а также практике ведения горных работ.

Однако на месторождении существует ряд факторов, которые могут вызвать определенные трудности при применении системы разработки с массовым обрушением:

- неизученность процессов смерзаемости руды и пород при нахождении в выработанном пространстве столь больших объемов рудной массы на длительный период;

- отсутствие исследований процесса выпуска рудной массы из блоков в условиях отрицательных температур;

- изменение прочностных свойств кимберлита при его соприкосновении с воздухом и насыщении

водой может отрицательно повлиять на устойчивость рудных элементов днищ блоков (бортов траншей);

- слабая устойчивость кимберлита еще больше проявляется при продолжительном времени существования выработок и эксплуатации блока;

- значительное сейсмическое влияние взрывных работ на рудные массивы и вмещающие породы при взрывании.

В связи с этим появилась необходимость произвести анализ мирового опыта применения систем разработки в сходных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Существующие в настоящее время в Канаде рудники, в частности рудник Diavik, разрабатывающие кимберлитовые трубки в сложных климатических и горно-геологических условиях, ведут подготовку либо уже отработывают запасы, отнесенные к подземной отработке, системами с твердеющей закладкой: слоевой системой отработки и камерной системой разработки в восходящем порядке [2].

Значительный объем добываемой подземным способом кимберлитовой руды на рудниках Южной Африки и Австралии осуществляется с применением систем поэтажного и этажного обрушения. При выборе основного варианта системы разработки с обрушением для отработки основных запасов на большинстве рудников предпочтение отдают системам блокового самообрушения. При доработке прибортовых запасов руды чаще всего применяются камерные системы разработки с отбойкой руды на открытое пространство карьера и системы поэтажного обрушения с торцовым выпуском руды.

В целом проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что системы массового обрушения (самообрушения) являются достаточно распространенными при подземной отработке кимберлитовых трубок. При этом основной объем занимают системы панельного или блокового самообрушения вследствие малой

прочности обрабатываемой руды, достаточно низкой себестоимости выемки, возможности применения высокопроизводительного самоходного оборудования и высоких показателей производительности системы разработки.

**Учитывая вышесказанное, авторы статьи считают целесообразным применение системы этажного самообрушения для выемки руды в условиях Удачного месторождения.**

Процесс самообрушения зависит от ряда факторов, влияющих на обрушаемость, дробимость и показатели извлечения при выпуске, главными являются площадь и форма подсечки. При этом необходимо комплексное решение ряда задач, связанных с определением возможности самообрушения массива, выбора формы подсечки, режимов выпуска с учетом их влияния на извлечение руды и относительной себестоимости добычи, параметров расположения выпускных выработок для увеличения показателей извлечения.

Опыт горных работ на ряде рудников показывает [3, 4], что создание подсечки вносит основной вклад в успех блокового самообрушения. Слабое планирование, проектирование, реализация и управление подсечкой могут подвергнуть риску успех, производительность и себестоимость производства. Обосновывая важность подсечки, Butcher (2000 г.) сформулировал три задачи:

- создание обнажения достаточных размеров для инициирования самообрушения;
- достижение требуемых размеров подсечки для начала обрушения с минимальным нарушением вмещающих пород;
- развитие подсечки (как можно быстрее во времени) до параметров, необходимых для начала процесса самообрушения, инициирование обрушения, распространение обрушения по площади и по вертикали с одновременным снижением опорного давления в районе подсечки.

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАДИУС

Разработанные на настоящий момент методики оценки условий развития процесса самообрушения (Лобшир, Мэтьюз-Потвин, Мавдеслей) основаны на рейтинговой оценке массива и определении необходимой величины гидравлического радиуса (он же фактор формы S), определяемого необходимой площадью и формой подсечки.

Под гидравлическим радиусом в зарубежной литературе HR (Hydraulic Radius) понимается отношение площади обнажения кровли (рудного массива) к его периметру.

Для условий трубки «Удачная» был определен гидравлический радиус по трем методикам:

- 1) по методике Мэтьюза-Потвина — гидравлический радиус, при котором начнется процесс самообрушения:  $HR \geq 13$  м;
- 2) по методике Мавдеслей — гидравлический радиус, при котором начнется процесс самообрушения:  $HR \geq 11$  м;
- 3) по методике Лобшира — гидравлический радиус, при котором начнется процесс самообрушения: для ВРТ — 16 м, а для ЗРТ — 12 м.

Учитывая требование надежности, окончательно была принята величина гидравлического радиуса, равная 18 м.

Размеры подсечки прямоугольной формы с размерами сторон a и b можно определить, исходя из величины гидравлического радиуса HR, следующим образом:

$$HR = \frac{a \cdot b}{2a + 2b} \Rightarrow a = \frac{2b \cdot HR}{b - 2 \cdot HR} \quad (1)$$

Соотношения сторон подсечки в условиях трубки «Удачная» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Допустимые соотношения сторон горизонтальной подсечки

Ширина, м	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Длина, м	360	180	129	104	90	81	74	69	65

С учетом наиболее быстрого оформления подсечки наиболее приемлемой можно считать подсечку, наиболее близкую к форме квадрата.

## МЕТОДЫ ПОДСЕЧЕК

В основном применяются три различных метода подсечки [3, 4]:

— **метод последующей подсечки** заключается в ее разбурировании и оформлении после завершения подготовки горизонта выпуска. Камеры выпуска также подготовлены до оформления подсечки и готовы к приему руды;

— **метод предварительной подсечки** заключается в ее создании до полного оформления горизонта выпуска. Применяется при рудах с низкой прочностью и устойчивостью, так как при предварительной подсечке подготовка горизонта выпуска осуществляется в уже разгруженной части массива (после его подсечки);

— **метод передовой подсечки** подразумевает подсечку над частично подготовленным горизонтом выпуска. Частичная подготовка горизонта выпуска может состоять из проходки только доставочных штреков или доставочных штреков и погрузочных заездов. Камеры выпуска всегда оформляются в зоне разгрузки напряжений за фронтом подсечки на определенном расстоянии (рисунок 1).

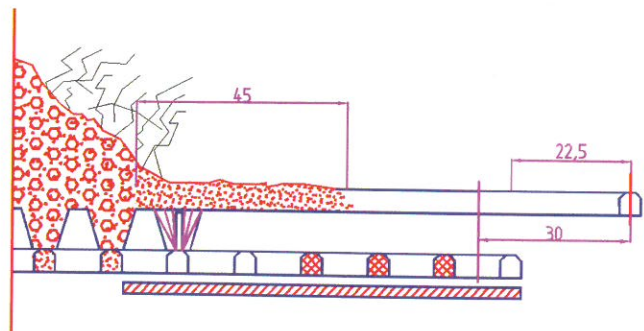


Рисунок 1. Метод передовой подсечки при панельном самообрушении на руднике El Teniente



читательным можно считать вариант выпускной камеры, представленный на рисунке 6.

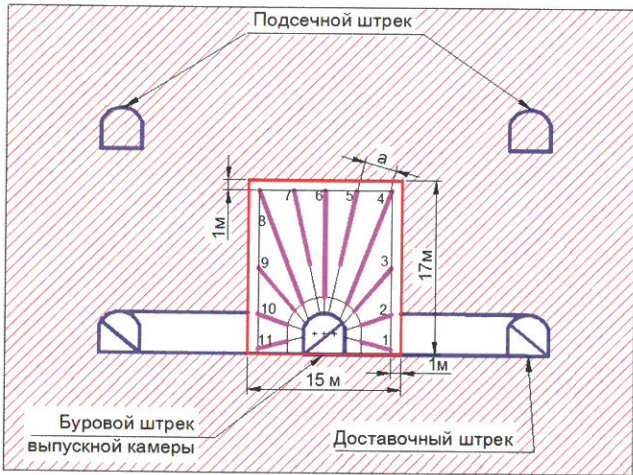


Рисунок 6. Вариант оформления выпускных выработок

### КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С САМООБРУШЕНИЕМ ДЛЯ УСЛОВИЙ РУДНИКА УДАЧНЫЙ

Для выемки запасов трубки «Удачная» были разработаны и рассмотрены несколько вариантов системы этажного самообрушения. Данные варианты отличаются друг от друга схемами подготовки днища блоков, различными трассировками транспортных, доставочных, подсечных и буровых выработок, но общая схема выемки запасов и система разработки остаются неизменными.

Наиболее подходящим с геомеханической и технологической точек зрения является вариант системы разработки с самообрушением, представленный на рисунке 7.

Переход к выемке запасов системами с самообрушением планируется в этаже -365м/-465 м. Высота добычного блока составляет 100 м.

Выпуск рудной массы осуществляется через выпускные выработки блоков с помощью самоходных ПДМ на горизонте -465 м.

В плане рудное тело разбивается на панели шириной 35 м. Длина панелей соответствует протяженности рудного тела на конкретном участке.

Для активизации процесса самообрушения руды горные работы начинаются одновременно в двух

смежных панелях. При достижении площади подсеченного пространства на величину порядка 5 250 м<sup>2</sup> (70 × 75 м) начинается активация процесса самообрушения. Гидравлический радиус при этом составляет 18 м.

Направление отработки запасов панелей — расходящимися фронтами к флангам рудного тела. По мере продвижения (расхождения) фронтов горных работ в двух первоочередных панелях в очистную выемку включаются соседние панели.

Единственным возможным способом подготовки днища на ЗРТ (коэффициент крепости кимберлитов ЗРТ по Протодяконову — около 4) является опережающее проведение подсечки, по окончании которого можно оформлять выпускные камеры.

### ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ РУДЫ

Система разработки этажного самообрушения при выемке запасов этажа высотой 100 м включает в себя две условные стадии очистной выемки:

- начальная стадия;
- нормальная стадия.

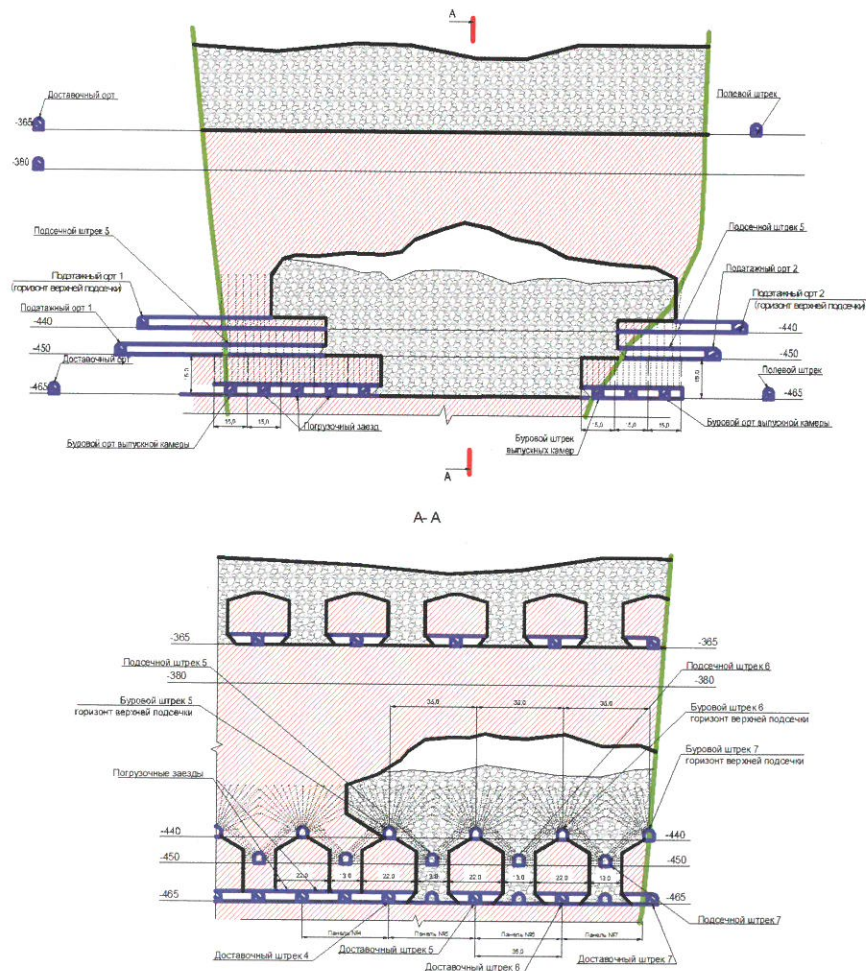


Рисунок 7. Вариант системы разработки с самообрушением руды (с двойной высокой подсечкой)



Начальная стадия очистной выемки в этаже (на ВРТ) включает в себя оформление четырех выпускных камер. Над данными выпускными камерами начинается формирование общей подсечки путем отбойки комплектов скважин, пробуренных с горизонтов -440 и -450 м. Выпуск отбитой руды от подсечки осуществляется как через выпускные камеры на горизонте -465 м, так и на горизонтах подсечки из торцов отрезных штреков.

По мере увеличения площади подсечки до расчетной величины (70 × 75 м — 5 200 м<sup>2</sup> и более) над подсеченным участком в блоке начинается процесс самообрушения кимберлита.

В дальнейшем начинается нормальная стадия выемки руды в этаже путем подключения в отработку смежных панелей и блоков расходящимися фронтами в направлении к краям рудного тела. Площадь подсечки по мере подключения в отработку запасов соседних панелей будет значительно превышать минимально необходимые для активизации самообрушения 5 200 м<sup>2</sup>.

По мере самообрушения через оформленные выпускные камеры производится выпуск обрушенной руды с соблюдением необходимой планогаммы в параметрах, необходимых для обеспечения безопасности.

Доставка рудной массы производится по доставочным штрекам горизонта -465 м до рудоспусков, расположенных в Восточном полевом орте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение варианта системы блокового самообрушения с двойной подсечкой на начальном этапе

развития очистных работ в ВРТ и ЗРТ более целесообразно. Преимущество данного варианта заключается в минимальных затратах на добычу руды при обеспечении высокой производительности рудника.

Таблица сравнения системы с самообрушением и проектной системы принудительного этажного обрушения, предусмотренной действующим проектом, представлена в таблице 2. 🌐

Таблица 2. Сравнение системы с самообрушением и проектной системы принудительного этажного обрушения, предусмотренной действующим проектом

Наименование показателя	Ед. изм.	Наименование системы разработки	
		Система разработки блокового самообрушения	Система разработки этажного принудительного обрушения (проектный вариант)
Потери	%	7,3	7,7
Разубоживание	%	15	11,8
Всего уд. объем ПНР на 1 000 т, в т. ч:	м <sup>3</sup> /1 000 т	20,1	32,2
— по руде	м <sup>3</sup> /1 000 т	6,0	20,6
— породе	м <sup>3</sup> /1 000 т	14,1	11,6
Годовая производительность рудника	млн т/г	6,5	4,0
Выход руды с 1 м скважин	т/м	40,9	20,6
Удельный расход ВВ	кг/м <sup>3</sup>	0,36	0,71

## Список использованной литературы

1. Технологический регламент для проекта «Отработка запасов трубки «Удачная» АК «Алроса» в отм. -260/-380 м». — Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 2010.
2. Diavik Diamond mine Fact book, 2009.
3. Brady, B. H. G., Brown, E. T. Rock. Mechanics for underground mining. 2004.
4. Brown, E. T. Block caving geomechanics. 2002.

