

ОПЫТ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ВЫРАБОТКАМИ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА РУДНИКАХ ОАО «АЛРОСА»

*А.Н. Петров, В.С. Марков, Д.Д. Акимов, А.А. Павлов,
Северо-Восточный федеральный университет, Россия*

В работе проанализированы результаты опытно-промышленных испытаний по ведению очистных работ выработками с увеличенными параметрами на рудниках «Интернациональный» и «Айхал». Приведены результаты математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) взаимодействия закладки и руды в камерах с трапециевидным сечением на руднике «Мир».

В настоящее время все рудники АК «АЛРОСА» ведут добычу руды подземным способом. Отработка запасов рудников осуществляется слоевой системой разработки с полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями и нисходящим порядком выемки слоев по проекту института Гипроникель. Производительность рудников составляет около 500 тыс. т. руды в год.

Слои обрабатывают тупиковыми выработками (лентами) шириной 5м и высотой 4,5-5м. выработки (ленты) ориентированы в крест простиранию рудного тела. Отбойка руды производится с применением комбайнов АМ-75, АМ-85, АНМ-105 и КП-21. Доставка с применением ПДМ ST-1000 с дизельным приводом, емкостью ковша 4,7 м³.

Порядок и очередность отработки очистных лент в слоях определяются исходя из следующих условий:

- ширина целика время твердения закладки в стенке заложеной ленты между лентами (выработками) должна быть не менее, двойной ширины ленты (целик рудный или искусственный);

- время твердения закладки в стенке заложеной ленты, до момента начала её обнажения при выемке в соседней ленте, должно быть достаточны для набора ею прочности 1 МПа.

Закладочную смесь (ЗС) готовят на поверхностном комплексе. ЗС подается по закладочным скважинам, пробуренным с поверхности в вентиляционный закладочный квершлаг и далее по двум трубным линиям в вентиляционно-закладочный штрек. ЗС подается непосредственно в выработанное пространство с торца выработки, через перемычку.

При расположении выработок вкрест простирания средняя длина выработок составляет всего 35-40 м, а количество их на слое достигает 60 и более штук. Такое количество коротких выработок приводит к значительным удельным объемам непроизводительных работ, таких как перегон и подготовка комбайна к работе в новой выработке, процесс засечки комбайна в каждой выработке, настройка вентиляции, монтаж закладочных трубопроводов, сооружение закладочных перемычек.

Также незначительный объем выработанного пространства каждой очистной выработки повышает цикличность процесса закладки и тем самым снижает эффективность работы закладочного комплекса, а также приводит к перерасходу высокомарочных составов закладочных смесей (выработку проще заложить смесью одной марки, чем подавать разные составы в небольших количествах).

Связи с этим, изыскания технических решений, позволяющих обеспечить высокопроизводительную работу очистного комплекса в сложных горно-геологических и гидрологических условиях рудников ОАО «АЛРОСА» является актуальной задачей.

С целью исключения вышеуказанных недостатков и обеспечения высокопроизводительной работы очистного комплекса институтом «Якутнипроалмаз» были предложены и опробованы схемы ведения очистных работ на руднике «Интернациональный» очистными выработками с увеличенными параметрами (рис.1, 2) [1].

Вариант № 1. Высота очистной выработки остается равной проектной (4,45–5,25 м), а ширина увеличивается до значения близкого к технической возможности применяемого

комбайна (8,8 м). При предложенных параметрах было отработано несколько очистных лент, но значительного эффекта получено не было по причине ужесточения требований к вышележащему закладочному массиву.

Вариант № 2. Высота очистной выработки равна высоте двух проектных слоев (8-9 м), а ширина составляет 6 м. Данный вариант не испытывался в виду несоответствия необходимой подготовки блока с существующей. Хотя по расчетам данный вариант давал наибольшую интенсификацию очистных работ на слое и требовал меньшего количества разрезных слоев в работе.

Вариант № 3. Высота очистной выработки равна 6,75 м, а ширина составляет 6 м. Опыт-но-промышленные испытания (ОПИ) проводились в соответствии с локальным проектом. До начала проведения ОПИ в слое, в его северной части, по границе с вмещающими породами пройден разрезной штрек высотой и шириной по 5 м. Кровлей разрезного штрека являлся закладочный массив ранее отработанного и заложеного слоя.

Для выемки запасов руды в лентах слоя применялся комбайн АМН-105 с максимальной высотой и шириной резания – 5,8 м и 8,8 м соответственно. Исходя из этого, отработка лент велась в две стадии: вначале тупиковым забоем высотой 5,2 м отрабатывалась верхняя часть ленты (первая стадия), затем производилась выемка оставшихся запасов ленты - уступа высотой 1,55 м (вторая стадия).

Вариант № 4. Высота очистной выработки равна 6,75 м, а ширина составляет 6 м. Доработка по высоте ведется буровзрывным способом.

После отработки каждой ленты комиссией, состоящей из специалистов рудника и Мирнинского ГОКа осуществлялось обследование состояния обнажений породного массива и оформлялся соответствующий акт. Результаты наблюдений свидетельствуют о том, что в лентах не происходило ухудшение состояния обнажения в связи с увеличением параметров очистных выработок. Здесь необходимо отметить, что рудник не располагает средствами для механизированного осмотра и оборки заколов в выработках, поэтому визуальный контроль состояния обнажений осуществляется только с почвы выработки. При увеличении высоты выработок до 6,75 м такой контроль становится затруднительным, что в свою очередь, снижает степень безопасности ведения горных работ в лентах.

Опыт работ показал, что, несмотря на рост производительности при увеличении параметров очистных выработок с 5,4×4,5 м до 6,0×5,2 м соответственно с 200 тыс. т/год до 254 тыс. т/год, при отработке второй стадии, производительность комбайна оказалась ниже на 40%.

Недостатком является дополнительные работы в разрезном штреке по подработке почвы для вывода кода комбайна на уровень 2-й стадии и подсыпка почвы для заезда в ленты 1-й стадии.

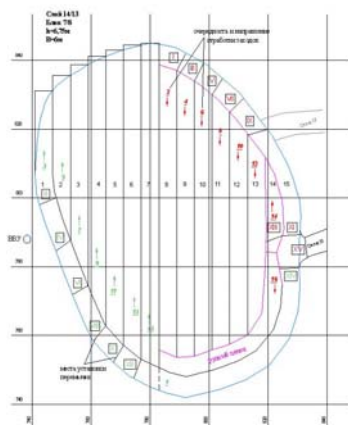


Рис. 1 – Схема отработки слоя на руднике «Интернациональный»

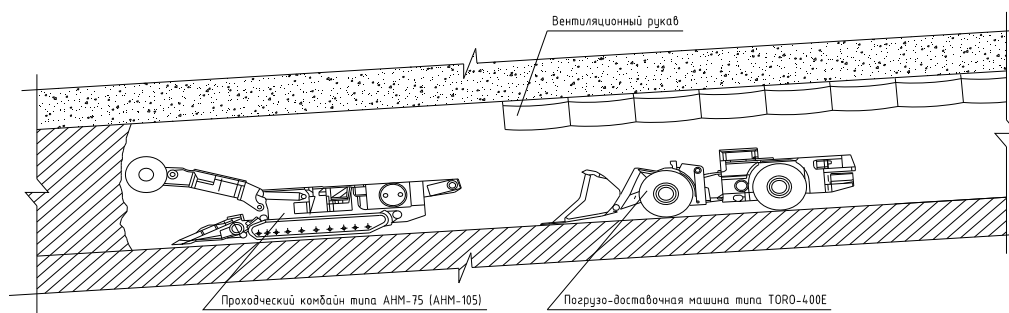


Рис. 2 – Состав горно-добычного комплекса на очистных работах

Опытно-промышленные испытания были проведены на руднике «Айхал» в слоях №5 (восточная и центральная части) и №6 ВЕ 2 с расположением очистных выработок по простиранию рудного тела с шириной выработок до 8 м. Количество лент в слое расположения отрабатываемой части (восточная, центральная или западная) составляет 4-6. Длина очистных выработок изменяется от 40-120 м. По итогам испытаний обеспечено увеличение коэффициента использования очистного комплекса (комбайн+ПДМ) с 0,55 до 0,66, снижение себестоимости добычи 1 т руды на 1599,52 руб [2].

Для выемки запасов руды в лентах слоев №5 и №6 применялся комбайн АМ-75 с шириной резания (мах) – 7,45 м. Исходя из этого, отработка очистной выработки производилась в две стадии. На первой стадии отрабатывалась часть очистной выработки шириной 5,0 м и высотой 4,5 м на всю длину. На второй стадии отрабатывалась оставшаяся боковая часть выработки шириной 3,0 м.

Производительность, достигаемая комплексом при отработке очистных выработок с параметрами 4,5×8 м, на 14% выше производительности при отработке выработками с параметрами 5×4,5 м, что обеспечивается ростом скорости отработки комбайном расширяемой части выработки с улучшением показателей по производительности комбайна на 2-й стадии отработки выработки. Вместе с тем необходимо отметить, что конструктивные особенности комбайна (технология резания) не рассчитаны на отработку породного массива при наличии дополнительной обнаженной плоскости по всей высоте. В этом случае происходит неравномерная нагрузка на исполнительный орган комбайна с неравномерным износом зубьев режущей головки. Наблюдается фактор «отталкивания» исполнительного органа комбайна в сторону обнажения, вследствие чего происходит «ступенчатое» оформление борта выработки.

Из технологических недостатков отработки выработок увеличенной длины следует отметить то, что при угле наклона 4° приходится чаще возводить промежуточные перемычки в выработке и не удается избежать некоторого увеличения расхода высокомарочных составов закладки при формировании несущего слоя.

По итогам испытаний технологии отработки очистных лент, ориентированных по простиранию рудного тела и увеличенной до 8 м шириной очевиден тот факт, что угол наклона выработок 4° приводит к перерасходу закладочных составов высокой марочности и затрудняет работу комбайна. В связи с этим одной из первых рекомендаций является переход на отработку выработок с углом наклона $1-2^{\circ}$.

С целью дальнейшего повышения эффективности слоевой системы с нисходящим порядком выемки слоев, рекомендовалось провести опытно-промышленные работы по отработке очистных выработок с параметрами $Ш \times В = 8,0 \times 8,0$ м и применение буровзрывных работ на стадиях расширения разрезного штрека в выработке и отработке почвоуступа.

Первые испытания буровзрывного способа отбойки руды проведены в 1 квартале 2011 г. на участке длиной около 20 м в выработке (ленте) №7 слоев 7-8 юго-западной части СВРТ. Расположение лент на указанном участке СВРТ принято по простиранию рудного тела. Длина ленты №7 составила 80 м. На участке длиной 60 м из рудного орта №2 комбайном АМ-75 проходили выработку шириной 6 м и высотой 4,5 м (первая стадия). Затем комбайном произвели расширение выработки до 8,0 м (вторая стадия). На третьей стадии отработали почвоуступ вы-

сотой 2.25 м. При этом очистная выработка приобрела в сечении следующие размеры: ширина – 8,0 м, высота – около 7.0 м. Проходка и расширение разрезного штрека в выработке осуществлялись из рудного орта №2, отработка почвоуступа – из рудного орта №3.

Для бурения шпуров диаметром 43-45 мм в борт и почву разрезного штрека в выработке применялась буровая установка «Sandvik», заезд которой на почву разрезного штрека осуществлялся по рудному орту №2. Высота стрелы буровой установки превышала высоту выработки, поэтому шпуры в почвоуступ бурились под углом 65°. Бурение шпуров и взрывание производилось сериями; в качестве первой серии было пробурено и взорвано три ряда шпуров по 14 шпуров в ряду (всего 42шт.).

После проведения взрывных работ в результате обследования установлено, что на участке взрывной отбойки руды (20 м), в борту (практически на всю высоту) появилось значительное количество техногенных трещин и раскрытие до 0,5 – 5,0 мм имеющихся геологических трещин. По трещинам (ориентированным под углом 30-45° к борту выработки) происходило сползание и выпадение отдельных кусков руды.

В рамках этой работы, совместно УРАН ИПКОН РАН и институтом «Якутнипроалмаз» для условий рудника «Мир» были рекомендованы следующие варианты камерной системы разработки с закладкой [2].

Вариант № 1. Камерная система разработки, укороченные камеры. Подготовка и нарезка блока в целом не меняется и остается проектной. Нарезка камер заключается в проходке буродоставочных ортов через 12 м. Для осуществления проветривания очистных работ за счет общешахтной депрессии каждый буро-доставочный орт сбивается с кольцевой вентиляционной выработкой, а через 20 м проходятся вентиляционные штреки. Параметры камеры: ширина – 12 м, высота – 15 м, длина – 20 м. Отбойка камер осуществляется скважинными зарядами.

Вариант № 2. Камерная система с трапециевидными камерами. Высота камеры зависит от физико-механических свойств руды и вмещающих пород, требуемой производительности и качества извлечения, предлагаются следующие параметры высоты: 12,5; 20 и 25 м.

Каждый подэтаж разбит на камеры шириной 10 м. Камеры по высоте относительно друг друга расположены в шахматном порядке. В разрезе камера имеет форму трапеции («шатровую» форму в кровле и «траншейную» форму в днище), что способствует созданию благоприятной геомеханической обстановки при ее обнажении.

Камерные запасы отбивают веерами скважин, пробуренных из буродоставочного орта. Длина камер составляет 8-12 м.

Ожидаемые годовые производительности добычных комплексов предложенных вариантов систем:

- для варианта камерной системы разработки с укороченными камерами (12x15x20 м), годовая производительность слоя равен 260 т. т/год.

- для варианта камерной системы с трапециевидными камерами.

При высоте первого подэтажа 12,5 м (12,5×10×20 м) – годовая производительность равна 185,5 тыс. т/год.

Второго 20 м (20×10×20 м) – составляет 172,2 тыс. т/год.

Третьего 25 м (25×10×20 м) – 173,5 тыс. т/год.

Из сопоставления результатов становится очевидной зависимость производительности добычных комплексов от размеров сечения. Чем больше размер, тем выше производительность, но такой контроль становится затруднительным, что в свою очередь, снижает степень безопасности ведения горных работ, а также большой объем бурения скважин и значительная длина скважин в камере (слое) сказывается на точности бурения.

Для оценки напряженно-деформированного состояния массива при отработке трапециевидными камерами с помощью программы “Phase2” (ver.8.05) фирмы Rocscience Inc. методом конечных элементов рудного и закладочного массива при отработке трапециевидными камерами, был проведен расчет НДС горного массива для 7 вариантов параметров камер.

При расчетах были приняты следующие прочностные и деформационные свойства породного массива и закладки приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Деформационные и прочностные свойства массива [3].

| Породы | ρ , кг/м ³ | E, МПа | ν | σ_c , МПа | σ_t , МПа |
|------------|----------------------------|--------|-------|------------------|------------------|
| Кимберлиты | 2450 | 11000 | 0,26 | 21 | 3,3 |
| Закладка | 2200 | 3000 | 0,31 | 6 | 0,4 |

Задача решалась в упругой постановке для невесомой среды.

Коэффициент бокового распора принимался, на основании выше сказанного, в рудном теле $\lambda=1$ и $\lambda=1,5$ (влияние дайки).

Напряжения на бесконечности $\gamma_H=3, 7, 11$ МПа.

Для оценки устойчивости выработки примем критерий Кулона-Мора.

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, σ – нормальное напряжение, c – сцепление (сопротивление чистому сдвигу), φ – угол внутреннего трения.

Введем коэффициент запаса прочности (SF – strength factor) для критерия Кулона-Мора

$$I_1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} \quad (2)$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \quad (3)$$

$$J_3 = \left(\sigma_{xx} - \frac{I_1}{3}\right) \left(\sigma_{yy} - \frac{I_1}{3}\right) \left(\sigma_{zz} - \frac{I_1}{3}\right) + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \left(\sigma_{xx} - \frac{I_1}{3}\right) \tau_{yz}^2 - \left(\sigma_{yy} - \frac{I_1}{3}\right) \tau_{zx}^2 - \left(\sigma_{zz} - \frac{I_1}{3}\right) \tau_{xy}^2 \quad (4)$$

$$\Theta = \frac{1}{3} \arcsin \left(-\frac{3\sqrt{3}J_3}{2J_2^{3/2}} \right), \quad -\frac{\pi}{6} < \Theta < \frac{\pi}{6} \quad (5)$$

$$S = \sqrt{J_2} \quad (6)$$

$$S_{\max} = \frac{\frac{I_1}{3} \sin \varphi + c \cos \varphi}{\cos \Theta + \frac{\sin \Theta \sin \varphi}{\sqrt{3}}} \quad (7)$$

$$SF = \frac{S_{\max}}{S} \quad (8)$$

Коэффициент SF характеризует во сколько раз эквивалентное напряжение больше критического (в данном случае по критерию Кулона-Мора). Если $SF < 1$, то должно быть разрушение.

Параметры c – сцепление (сопротивление чистому сдвигу) и φ – угол внутреннего трения определим по следующим формулам через пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение σ_c и σ_t , соответственно

$$c = \frac{\sqrt{\sigma_c \sigma_t}}{2} \quad (9)$$

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \quad (10)$$

Геометрические размеры выработок показаны на рисунке 3.

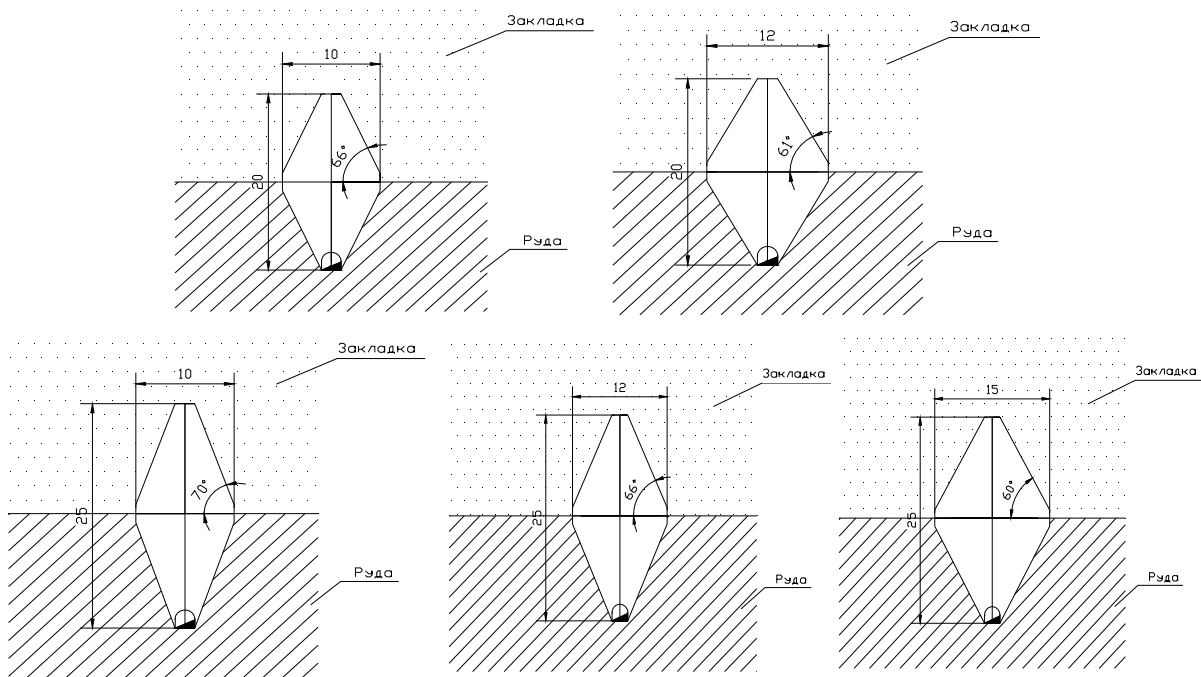


Рисунок 3 – Геометрические размеры выработок

Ширина камер по почве составляет 4 м.

Размеры расчетной области 50×150 м.

Расчет производился с помощью программы “Phase2” (ver.8.05) фирмы Rocscience Inc. методом конечных элементов.

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

На горизонте - 210 м рекомендуется применять камеры с размерами 12,5×8 м (рис 4).

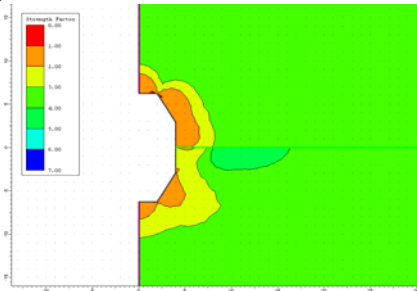


Рис. 4 – Горизонт -210 при размере камеры 12,5×8м

На горизонте - 410 м рекомендуется применять камеры с размерами 12,5×6м (рис. 5).

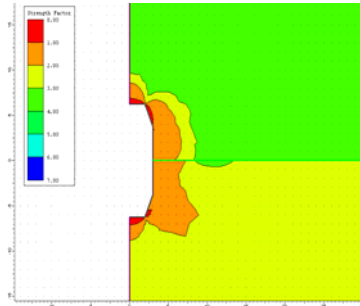


Рис. 5 – Горизонт -410 при размере камеры 12,5×6м

На горизонте -615 рекомендуется применять камеры с размерами 25×10м (рис. 6).

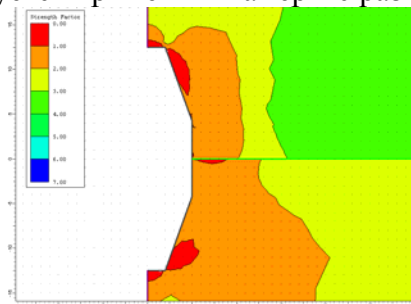


Рис. 6 – Горизонт - 615 при размере камеры 25×10 м.

Выводы

Проведение опытно-промышленных испытаний на рудниках ОАО «АЛРОСА» показало, что дальнейшее развитие слоевой системы с увеличенными параметрами очистных выработок с комбайновой отбойкой возможно в трех направлениях:

1. Одностадийная выемка очистных выработок с параметрами, максимально приближенными к технически возможному сечению по условию резания комбайна. Высота выработок должна составлять 5,2-5,7 м, а ширина выработок – 7-8 м. В данном варианте используется стандартная схема подготовительно-нарезных работ, используемая при традиционной технологии.

2. Комбинированная двухстадийная схема с отработкой первой стадии выработок комбайновым способом, а второй стадии – буровзрывным способом. Высота слоя, обрабатываемая комбайном должна составлять не менее 0,8 от технически возможного сечения по условиям резания комбайна. Для отработки запасов второй стадии буровзрывным способом руднику требуется приобретение самоходной бурильной установки. Для реализации схемы требуется проведение работ, направленных на совершенствование схемы подготовительно-нарезных работ с целью исключения из технологического цикла непроизводительных операций, связанных с формированием заездов на слои.

3. Двухстадийная схема формирования выработок с комбайновой отбойкой руды. Применение данной схемы целесообразно при условии, что будет обоснована возможность увеличения высоты очистных выработок до 9-11 м, а рудник будет обеспечен техническими средствами для контроля устойчивости обнажений и механизированной оборки кровли. Выемка запасов, как первой, так и второй стадии должна производиться сечением, приближенным к технически возможному по условиям резания комбайна, то есть высота слоев должна составлять 4,5-5,5 м. Схема подготовительно-нарезных работ должна быть изменена таким образом, чтобы обеспечивать выемку запасов 1-й и 2-й стадии с противоположных флангов рудного тела. Это необходимо для уменьшения высоты слоевых заездов, а также для ограничения высоты закладочных перемычек.

Для обеспечения устойчивости обнажений и для снижения зависимости очистных работ по отработке запасов 1-й и 2-й стадии в условиях ограниченной площади рудного тела целесообразно вести отработку запасов слоя камерно-целиковым порядком с разделением на выработки двух очередей. Ширину выработок первой очереди принять равной 6 м, а выработок второй очереди – 7-8 м.

На руднике «Мир», рекомендуемые параметры камер составляют:

на горизонте -210 - (высота, ширина) 12,5×8 м;

на горизонте -410 - 12,5×6 м;

на горизонте -615 - 25×10 м.

Дальнейшие рекомендации по совершенствованию и внедрению камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства на руднике «Мир» будут разрабатываться на основе результатов опытно-промышленных работ.

Список литературы

1. Анохин Р.В., Петров А.Н. Первый опыт применения слоевой системы разработки с увеличенными параметрами очистных выработок на руднике «Интернациональный» //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №12. – С.11-15.

2. А.С. Кульминский, А.Н. Петров, А.С. Курилко. Разработка рекомендаций по ведению очистных работ выработками с увеличенными параметрами с использованием комбайновой и буровзрывной отбойки при слоевой системе разработки на руднике «Айхал». Труды научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН Новопашина М.Д., (г. Якутск. 13-15 сентября 2011 г.) Якутск, 2011. С.106-108.

3. С.А. Константинова, Н.П. Крамсков, В.А. Соловьев. Некоторые проблемы механики горных пород применительно к отработке алмазных месторождений Якутии. Новосибирск. Наука. 2011. 222 с.