

УДК 622.2

Билин Андрей Леонидович

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН,
184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 24
e-mail: bilin@goi.kolasc.net.ru

Наговицын Григорий Олегович

аспирант,
Горный институт КНЦ РАН,
e-mail: Nagovitsyn_GO@goi.kolasc.net.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА
К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ
ЦИКЛИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
СРЕЗАЕМЫХ РУДОСПУСКОВ**

Аннотация:

Рассмотрены плоский и объемный случаи расположения рудоспусков в добычной зоне карьера. Получен цикл углубки рабочей зоны карьера, который позволяет равномерно распределять объемы руды по периодам цикла и рудоспускам, а также производить срезку рудоспусков через равные промежутки времени.

Ключевые слова: рудоспуск, рабочая зона карьера, цикл углубки, срезка рудоспусков

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.006

Bilin Andrew L.

candidate of technical sciences,
leading researcher,
Mining institute KSC RAS,
184209, Apatite, Murmansk region,
24 Fersman st..
e-mail: bilin@goi.kolasc.net.ru

Nagovitzin Grigory O.

post-graduate student,
The Mining institute KSC RAS
e-mail: Nagovitsyn_GO@goi.kolasc.net.ru

**GROUNDING THE APPROACH
FOR CALCULATION THE PARAMETERS
OF CYCLIC DEVELOPMENT OF OPEN-PIT
WORKING AREA APPLYING CUTTABLE
ORE PASSES**

Abstract:

The article describes both the flat and volume case of ore passes location in working area of the open pit. The sinking cycle of the open pit working area is obtained, that allows to distribute the volumes of ore to ore passes and cycle periods evenly, as well as to produce the ore passes cutting in regular intervals.

Key words: ore pass, open pit working area, sinking cycle, ore passé cutting

В настоящее время часть предприятий, обрабатывающих месторождения комбинированным способом, использует подземные горные выработки для транспортирования добываемой карьером руды. Данная схема вскрытия глубоких горизонтов карьера позволяет уменьшить расстояние транспортирования руды на фабрику, а также длину внутрикарьерных перевозок и тем самым улучшить технико-экономические показатели. Подземные транспортные комплексы (ПТК) используются на карьерах рудников России – Кок-Су, Лениногорском, Тырнаузском, Алтын-Топканском, Хайдарканском, Кунрадском – и на ряде зарубежных [1]. Перепуск руды из карьера на подземный концентрационный горизонт осуществляется, как правило, с помощью рудоспусков.

На Кольском полуострове (северо-западный регион европейской части России) расположен рудник «Железный» Ковдорского ГОКа, обрабатывающий с 60-х годов 20-го века месторождение комплексных железных руд. До настоящего времени транспортировка руды из карьера к обогатительной фабрике осуществлялась с использованием циклично-поточной технологии при проектной глубине карьера 565 м по замкнутому контуру.

Одним из возможных вариантов дальнейшей разработки карьера является применение новой конструкции бортов и ПТК для вскрытия глубоких горизонтов карьера. ПТК будет включать два сближенных наклонных ствола, в одном из которых предполагается разместить выдачной конвейерный комплекс и рудоспуски в рабочей зоне карьера. В связи с высокой производительностью карьера (до 20 – 25 млн т руды в год) при данной схеме вскрытия предполагается применение трех рудоспусков, располагающихся по длинной оси карьера.

Расположение рудоспусков, формируемых в рабочей зоне карьера, для минимизации затрат на транспортирование должно удовлетворять условию минимального расстояния транспортирования руды от забоя до устья рудоспуска и равномерного распределения объемов руды по рудоспускам для обеспечения равномерной срезки рудоспусков. Таким образом, оптимальное расположение рудоспусков при разработке месторождений открыто-подземным способом является актуальной проблемой, которая в настоящее время практически никак не освещена в литературе.

Рассмотрим схему расположения трех рудоспусков в добычной зоне карьера на примере разработки крутопадающего месторождения. Для пояснения метода выбора оптимального расположения рудоспусков будем считать, что они располагаются на одной линии. За исходное положение горных работ примем трехступенную рабочую зону. Разместим рудоспуски в соответствии со схемой на рис. 1. Рудоспуск № 2 первоначально располагаем по середине рабочей зоны, а рудоспуски № 1 и № 3 – с отступами, равными $\frac{1}{3} L_{\text{раб. зоны}}$ от рудоспуска № 2, соответственно, влево и вправо.

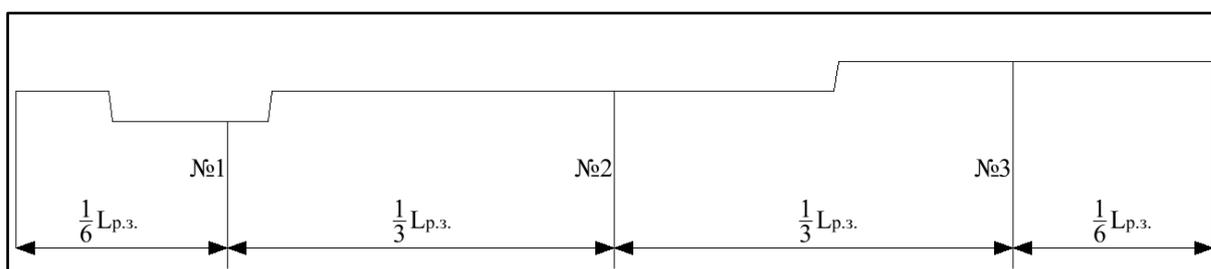


Рис.1 – Схематичный вид рабочей зоны с рудоспусками

Два рудоспуска будут находиться в работе, а один в ожидании срезки или в срезке. За один цикл углубки добычной зоны карьера (на один уступ) происходит три срезки рудоспусков, т. е. один цикл можно условно разделить на три периода (табл. 1).

Таблица 1

Цикличность срезки рудоспусков

Периоды	Рудоспуски		
	1	1	2
2	1	срезка	3
3	срезка	2	3

Добавим подвижки одного цикла углубки. Каждой подвижке присвоим индекс вида «1.1», где первой цифрой обозначается период данной подвижки, а второй цифрой – номер рудоспуска, через который руда данной подвижки будет перепускаться. Для придания уникальности номерам подвижек добавим к их номерам буквенное обозначение (рис. 2).

Получаем следующее распределение подвижек по периодам:

1. На рудоспуск № 1 транспортируется руда подвижки 1.1А и 1.1Б, на рудоспуск № 2 – руда подвижки 1.2, которая является срезкой рудоспуска № 3;

2. На рудоспуск № 1 транспортируются подвижки 2.1А и 2.1Б, где 2.1А должна быть минимальной, в связи с тем что перемещается на один уступ вверх, из-за чего повышаются затраты на транспорт, а 2.1Б является срезкой рудоспуска № 2. На рудоспуск № 3 транспортируется руда подвижки 2.3;

3. На рудоспуск № 2 транспортируются подвижки 3.2А и 3.2Б, где 3.2А является срезкой рудоспуска № 1 и должна быть минимальной, в связи с тем что перемещается на один уступ вверх, из-за чего повышаются затраты на транспорт. На рудоспуск № 3 транспортируется руда подвижки 3.3.

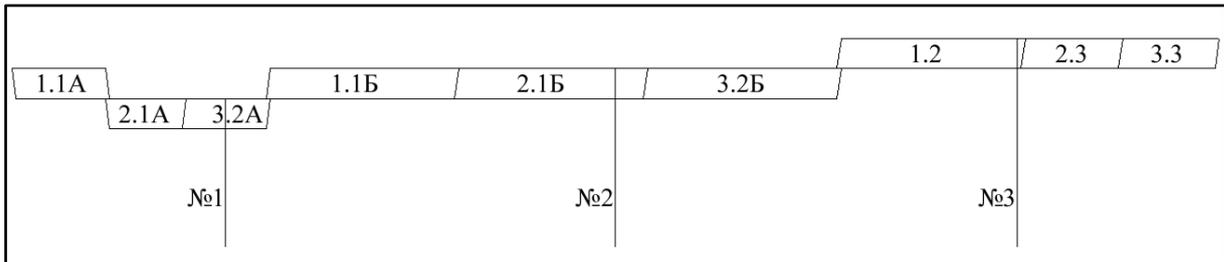


Рис. 2 – Распределение подвижек по периодам одного цикла углубки и рудоспускам

Для обеспечения равномерного распределения объемов по рудоспускам должны выполняться следующие условия:

1. В первом периоде $1.1А + 1.1Б = 1.2$;
2. Во втором периоде $2.1А + 2.1Б = 2.3$;
3. В третьем периоде $3.2А + 3.2Б = 3.3$;

Следует отметить, что в данных уравнениях под величиной подвижки (для плоского случая продольного разреза) принимается ее длина.

В итоге все подвижки можно разделить на четыре категории:

1. Подвижки, величина которых равна суммарному объему руды, перепускаемой через рудоспуск за один период (1.2, 2.3, 3.3). Условно назовем их «X»;
2. Подвижки, величина которых равна половине суммарного объема руды, перепускаемой за один период (1.1А, 1.1Б). Условно назовем их «X₁», $X_1 = X/2$;
3. Подвижки, величина которых должна быть минимальной в связи с транспортированием их на один уступ вверх (2.1А, 3.2А). Условно назовем их «X_{мин}»;
4. Подвижки, величина которых равна разнице между суммарным объемом руды, перепускаемой за один период, и минимальной подвижкой (2.1Б, 3.2Б). Условно назовем их «X₂», $X_2 = X - X_{мин}$.

Выразим длину рабочей зоны как сумму длин подвижек:

$$\begin{aligned} L_{\text{раб.зоны}} &= 3X + 2X_1 + 2X_2 + 2X_{\text{мин}} = \\ &= 3X + 2X/2 + 2(X - X_{\text{мин}}) + 2X_{\text{мин}} = \\ &= 3X + X + 2X - 2X_{\text{мин}} + 2X_{\text{мин}} = 6X. \end{aligned}$$

Следовательно, зная длину рабочей зоны, можно вычислить длину подвижки X, величина которой условно равна объему руды, перепускаемой через один рудоспуск за период, а также длины подвижек X₁ и X₂.

Определим длину минимальной подвижки. Допустим, что срезка рудоспусков будет вестись по схеме с минимизацией одновременно взрываемого ВВ («щадящая технология»), предложенной для рудника Центральный АО «Апатит» рис. 3 [2]

При такой схеме первоначально взрываются участки на удалении от устья рудоспуска 10 – 20 м, а близлежащие к нему (3 – 4 ряда) взрываются в последнюю очередь одновременно по одну и другую сторону от оси рудоспуска. Таким образом, величину минимальной подвижки можно определить следующим образом:

$$X_{\text{мин}} = D_{\text{у.р.}} + 2*(10 \div 20),$$

где $D_{\text{у.р.}}$ – диаметр устья рудоспуска.

Например, на Каджаранском медно-молибденовом месторождении [3] применялись рудоспуски диаметром 3 м, устье рудоспуска составляло 13 – 14 м при высоте уступа 10 м, т.е. X_{мин} для рудоспусков диаметром 3 м находится в пределах от 34 до 44 м.

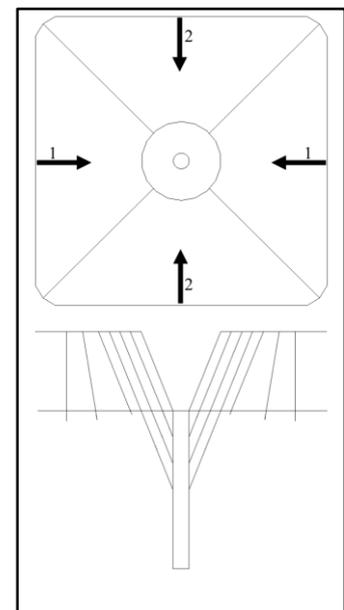


Рис. 3 – Схема срезки рудоспуска (щадящая технология)

На руднике Центральный АО «Апатит» применялись рудоспуски диаметром 5 м, устье рудоспуска достигало 22 – 25 м [4], т.е. X_{\min} для рудоспусков диаметром 5 м находится в пределах от 45 до 55 м. Для подвижки 2.1А величина X_{\min} зависит от размеров разрезной траншеи. В среднем принимаем минимальную величину X_{\min} , равную 50 м.

Выразим длины подвижек в процентах от длины рабочей зоны:

$$L_{\text{раб.зоны}} = 6X \rightarrow X = 100/6 = 16,6 \% ; \\ X_1 = X/2 = 16,6/2 = 8,3 \% .$$

Рассмотрим пример рабочей зоны, длина которой составляет 1200 м. Вычислим длины подвижек:

$$X = 200\text{м} (16,6 \%); X_1 = X/2 = 100\text{м} (8,3 \%); \\ X_{\min} = 50\text{ м} (4,2 \%); X_2 = X - X_{\min} = 150\text{ м} (12,4 \%).$$

Допустим, что рудоспуск № 1 будет расположен посередине минимальной подвижки X_{\min} , рудоспуски № 2 и № 3 будут располагаться в подвижках 2.1Б и 1.2 таким образом, что срезка производится к концу отработки соответствующей подвижки.

В итоге получается цикл углубки рабочей зоны карьера с равномерным распределением объемов руды по периодам и рудоспускам (рис. 4). Как видим, сравнивая рис. 4 с рис. 2, рациональное размещение рудоспусков существенно смещается относительно центра тяжести рудного тела.

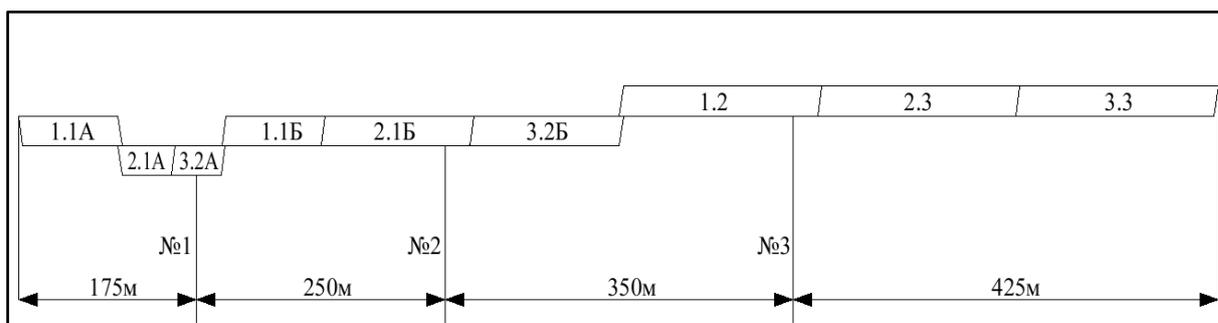


Рис. 4 – Цикл углубки рабочей зоны карьера

Перейдем к рассмотрению объемного случая расположения рудоспусков на примере Ковдорского карьера. Следует отметить, что компьютерное моделирование выполнялось в созданном и развиваемом в Горном институте КНЦ РАН программном комплексе MINEFRAME [5], представляющем собой систему автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ.

В качестве исходного карьера примем контур на конец отработки по проработкам Горного института КНЦ РАН (рис. 5) [6]. Рудоспуски вступят в строй, когда рабочее дно карьера опустится на гор. -365 м.

Для этой отметки был построен контур рудной зоны, площадь которой составила 386 тыс. м². Исходя из схемы, полученной при рассмотрении плоского случая, разделим рудную площадь на подвижки, чтобы соблюдалось полученное процентное соотношение площадей подвижек к площади рудной зоны (табл. 2).

Корректировка X_{\min} . Вскрывающий котлован состоит из двух подвижек 2.1А и 3.2А, величина которых должна быть минимальной в связи с транспортированием их на один уступ выше. Площадь подвижки 2.1А, состоящей из съезда шириной 30 м и начального котлована 50 м × 70 м, составляет примерно 6500 м². Подвижка 3.2А является срезкой рудоспуска № 1, причем нужно учитывать, что в плане она представляет собой окружность радиусом 25 м, ее площадь равна примерно 2000 м². Для равномерного распределения объемов руды по рудоспускам во 2-м и 3-м периодах должны выполняться равенства: 2.1А + 2.1Б = 2.3 и 3.2А + 3.2Б = 3.3. Учитывая изменившиеся 2.1А и 3.2А, необходимо пересчитать площади подвижек 2.1Б и 3.2Б (табл. 3).

Таблица 2

Распределение площадей подвижек

№ подвижки	Категория подвижки	Доля от рудной площади, %	Площадь, тыс. м ²
1.1А	X1	8,3	32,15
2.1А	X _{мин}	4,2	16,07
3.2А	X _{мин}	4,2	16,07
1.1Б	X ₁	8,3	32,15
2.1Б	X2	12,4	48,22
3.2Б	X2	12,4	48,22
1.2	X	16,6	64,30
2.3	X	16,6	64,30
3.3	X	16,6	64,30

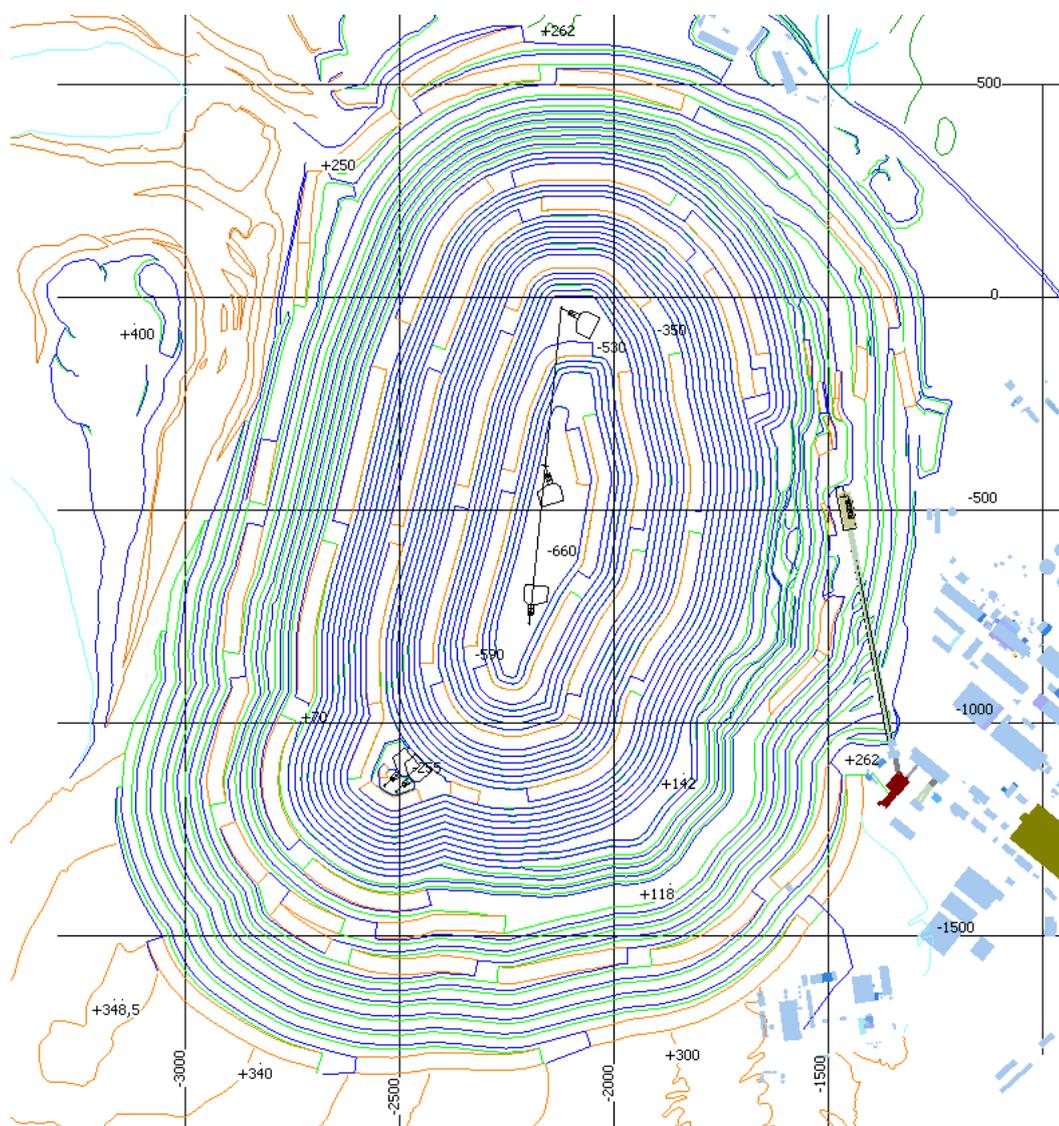


Рис. 5 – Контур карьера на конец отработки

Таблица 3

Скорректированные площади подвижек

№ подвижки	Категория подвижки	Доля от рудной площади, %	Площадь, тыс. м ²
1.1А	X1	8,3	32,15
2.1А	X _{мин}	1,7	6,50
3.2А	X _{мин}	0,5	2,00
1.1Б	X1	8,3	32,15
2.1Б	X2	15,0	57,80
3.2Б	X2	16,1	62,30
1.2	X	16,6	64,30
2.3	X	16,6	64,30
3.3	X	16,6	64,30

По полученным площадям подвижек отстраиваем добычную зону карьера (рис. 6). Рудоспуск № 1 выводим на площадку горизонта -530 м в северном торце карьера, рудоспуски № 2 и 3 располагаем в соответствии с дном конечного карьера так, чтобы все три рудоспуска находились на одной оси. Для того чтобы соблюдалось условие минимального плеча транспортирования, подвижки 1.1А и 1.1Б располагаем вокруг рудоспуска № 1; 3.2Б – вокруг рудоспуска № 2; 2.3 – вокруг рудоспуска № 3.

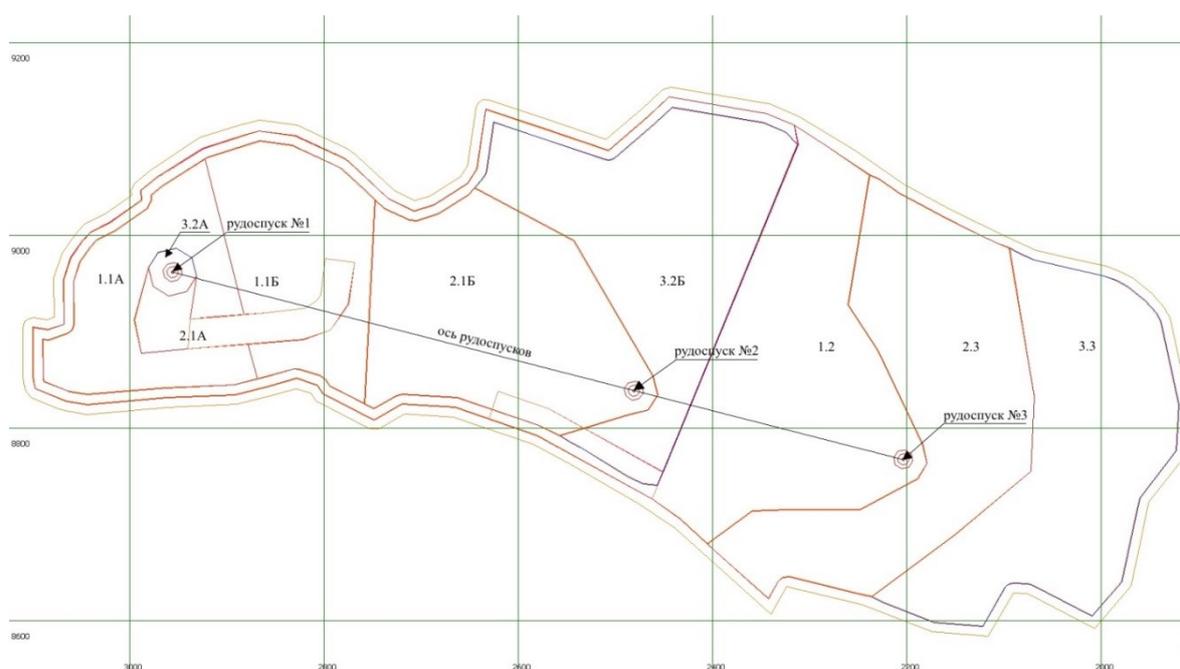


Рис. 6 – Добычная зона карьера с оптимальным расположением рудоспусков

Отстроив положения добычной зоны карьера по периодам, получим цикл углубки, состоящий из трех периодов (рис. 7):

1. Срезка рудоспуска № 3 и расширение вскрывающего котлована до границ подвижек 1.1Б и 1.1А.
2. Срезка рудоспуска № 2 со вскрытием нового горизонта съездом и начальным котлованом в северном торце добычной зоны и отработка подвижки 2.3 в южном.
3. Отработка подвижек 3.3, 3.2Б, срезка рудоспуска № 1, возврат к первоначальному положению добычной зоны карьера.

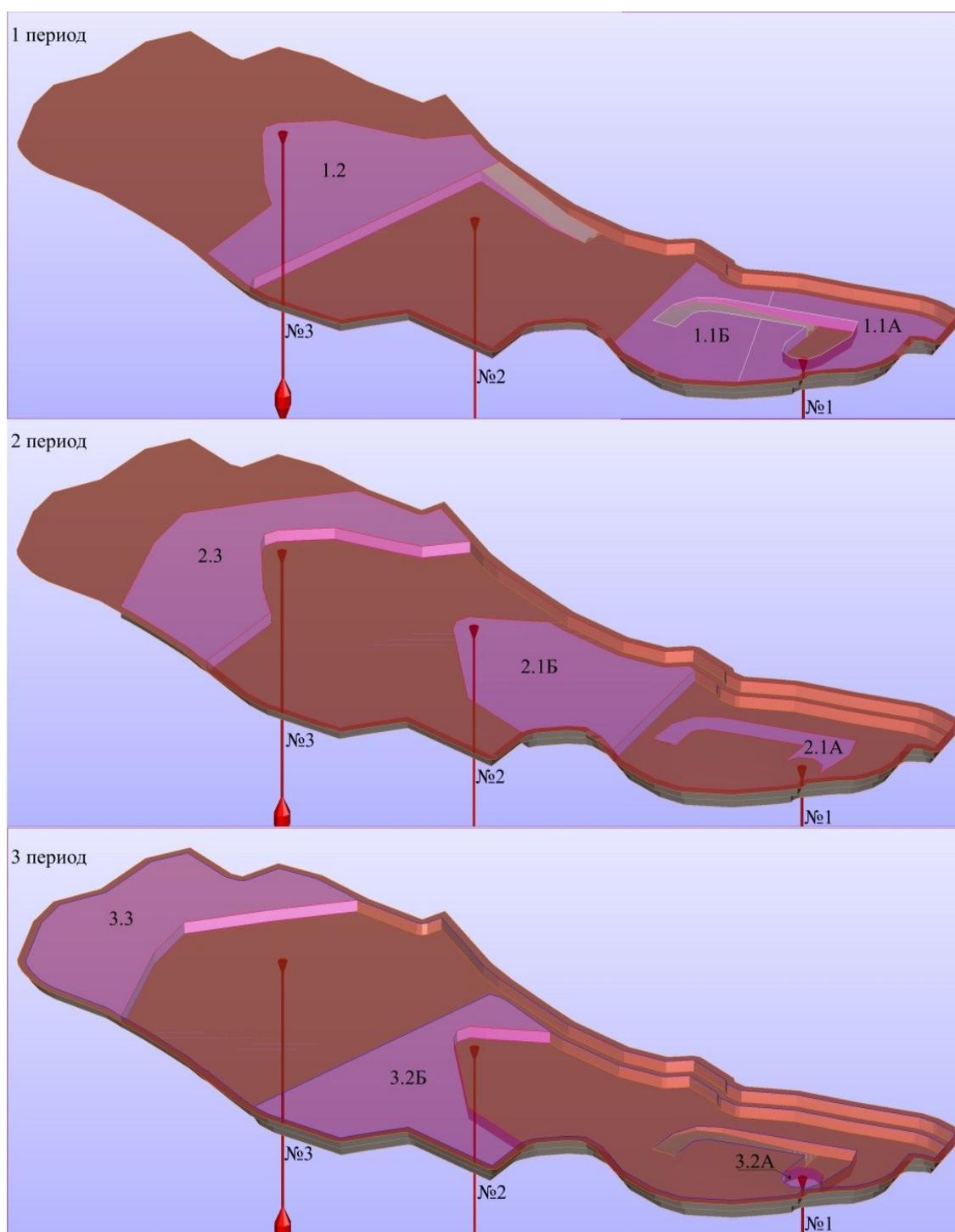


Рис. 7 – Цикл углубки добычной зоны карьера

Таким образом, в результате выполненных проработок разработаны принципы, позволяющие определять местоположение рудоспусков в добычной зоне карьера и обеспечивающие равномерное распределение объемов руды по рудоспускам. Отработка ведется циклами, включающими в себя три периода. В начале и в конце каждого цикла добычная зона, трансформируясь в течение трех периодов, принимает форму первоначального положения. За один цикл происходит три срезки рудоспусков через равные промежутки времени. Равномерное распределение объемов руды по рудоспускам исключит случаи перегрузки бункера рудоспуска, в результате которых образуются зависания, а также обеспечит выполнение плановой производительности рудника.

Также для условий карьера «Железный» Ковдорского ГОКа разработаны трафареты трех периодов одного цикла углубки добычной зоны карьера, обеспечивающие ритмичную отработку запасов с равномерным распределением объемов руды по периодам и рудоспускам. Установлено, что время отработки цикла обратно пропорционально темпу углубки добычной зоны карьера. Вследствие уменьшения с глубиной площади рудной зоны, темп углубки возрастает, а время отработки цикла пропорционально уменьшается.

Литература

1. Черных А.Д. Эффективность открыто-подземной разработки месторождений полезных ископаемых / А.Д. Черных, О.С. Брюховецкий // Цветметинформация. - М., 1988.
2. Инструкция по эксплуатации глубоких карьерных рудоспусков комбината «Апатит» / А.И. Арсентьев, Л.Н. Гаркуша, А.А. Кулешов, Н.И. Маркова, Б.К. Оводненко, Т.И. Павленко. - Кировск, 1966.
3. Мкртчян Б.И. Опыт эксплуатации карьерных рудоспусков в условиях Каджаранского месторождения / Б.И. Мкртчян, Ф.А. Петросян, К.Б. Мкртчян // Горный журнал. - 1988. - № 9. – С. 42 - 44.
4. Глубокие рудоспуски / В.В. Гушин, Ю.А. Епимахов, А.А. Козырев и др. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. - 196 с.
5. Наговицын О.В. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения горных работ в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичев // ГИАБ. – 2013. – № 7. – С. 184 - 192.
6. Лукичев С. В. Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных комбинаций конвейерного транспорта / С.В. Лукичев, О.В. Белогородцев, Е.В. Громов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. - № 3.– С. 72 - 82.