

УДК 622.371

Н. П. КРАМСКОВ (Институт «Якутнипроалмаз»)

С. А. ВОХМИН, Ю. П. ТРЕБУШ, Г. С. КУРЧИН, Е. С. МАЙОРОВ (Сибирский федеральный университет)

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ «АЙХАЛ»



Н. П. КРАМСКОВ,
главный научный
сотрудник,
д-р техн. наук



С. А. ВОХМИН,
зав. кафедрой,
канд. техн. наук



Ю. П. ТРЕБУШ,
доцент



Г. С. КУРЧИН,
доцент,
канд. техн. наук



Е. С. МАЙОРОВ,
старший преподаватель

Предложена методика нормирования потерь и разубоживания руды для специфических условий подземной добычи кимберлитов, с применением системы разработки нисходящими слоями, комбайновой выемки руды и закладки выработанного пространства твердеющими смесями. Приведен алгоритм реализации методики, показаны исследования, натурные эксперименты и измерения по установлению мест формирования, видов потерь и разубоживания; установленные эмпирические зависимости для расчетов нормативных значений.

Ключевые слова: подземная добыча кимберлитов, система разработки, нисходящие слои, ленты, комбайновая выемка руды, закладка, виды потерь и разубоживания, методика нормирования.

Подземную добычу руды кимберлитовой трубки «Айхал» осуществляют с применением системы разработки нисходящими слоями и закладкой выработанного пространства каждого слоя твердеющей смесью.

Запасы руды в очистном блоке разделяются по высоте на *выемочные слои*: РС — разрезной слой — верхний слой очистного блока, где создается усиленное перекрытие, под защитой которого ведется отработка нижележащих слоев; СС — стыковочный слой — нижний слой очистного блока, отработывающий запасы на контакте с ранее отработанным и заложеным разрезным слоем ниже лежащего очистного блока; ОС — основной слой (слои) — промежуточный слой (слои), отработывающий запасы очистного блока.

В плане запасы слоев разделяют на очистные ленты. Выемка руды в слое осуществляется по камерно-целиковой схеме с оставлением между лентами целика, по ширине равной ширине одной или двух лент. После завершения отработки всех запасов слоя комбайновый комплекс переводится на нижележащий слой.

На почве лент перед подачей закладочной смеси формируются насыпная рудная «подушка» на высоту 0,15–0,5 см, которая отбивается с нижележащего слоя. Данная подушка устраняет сейсмическое воздействие рабочего органа комбайна на закладочный бетон, исключает подрывку бетона несущего слоя в очистных лентах, а также исключает уступную стыковку смежных лент путем регулирования толщины подсыпки.

Разработку блока начинают с выемки запасов верхнего разрезного слоя. Очистные ленты разрезного слоя закрепляют ароч-

ной металлической крепью с деревянной затяжкой. Сечение лент основных и стыковочных слоев прямоугольное с угловыми закруглениями.

Технология подземной добычи кимберлитовых руд является уникальной в горнодобывающей промышленности Российской Федерации. При этом наиболее актуальной задачей является полнота и качество извлечения кимберлитов из недр, что подразумевает разработку и использование в практике научно обоснованной методики нормирования, определения и учета потерь и разубоживания при добыче руды. Ниже показан комплекс исследований по решению этих задач применительно к подземной разработке кимберлитов на глубоких горизонтах рудника «Айхал».

Исследования включали три следующих этапа (**рис. 1**) [1]:

- изучение технологии выемки запасов руды из недр с выделением конструктивных элементов системы разработки, в которых формируются потери и разубоживание руды, и разработкой классификаций эксплуатационных потерь и разубоживания руды по видам, местам и источникам их образования для отдельных конструктивных элементов, а также анализ соблюдения технологических режимов по процессам добычи руды с установлением причинно-следственных связей влияния процессов очистной выемки на формирование потерь и разубоживания руды;

- выбор метода расчета нормативов потерь и разубоживания руды по каждому виду, месту и источнику образования в соответствии с классификациями и установленными условиями их формирования, а также формирование исходных данных для расчета нормативов с использованием геолого-маркшейдерских данных,

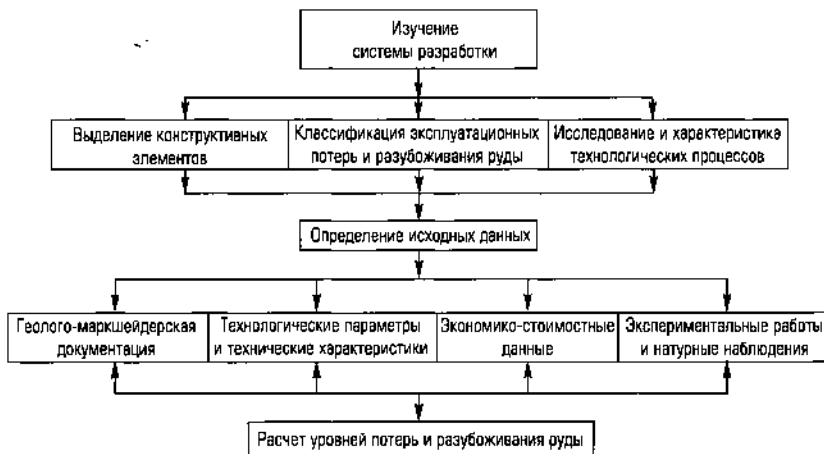


Рис. 1. Структура методики (алгоритм) нормирования потерь и разубоживания в системе подземной разработки исходящими слоями с комбайновой выемкой руды и закладкой выработанных пространств

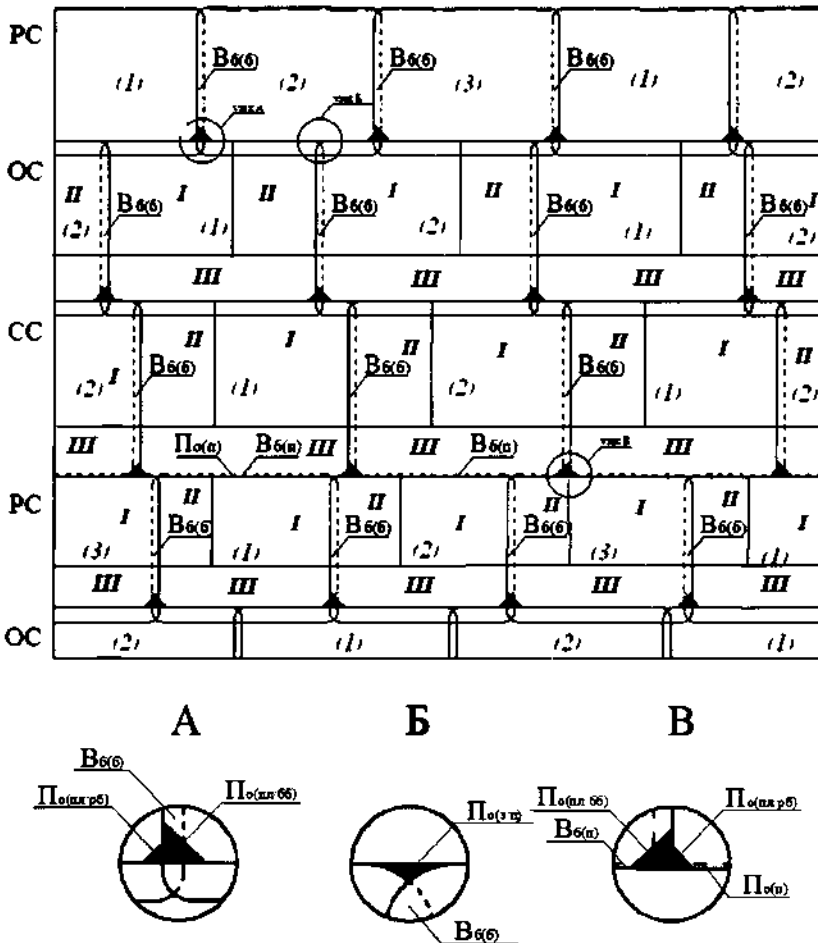


Рис. 2. Схема формирования потерь и разубоживания руды при трехстадийной отработке очистных лент:
1, 2, 3 — очередность выемки руды лентами в слое; I, II, III — стадии отработки ленты

ценностно-стоимостных значений и результатов экспериментальных работ;

- расчет нормативов потерь и разубоживания руды по каждому виду, месту и источнику их образования.

На руднике «Айхал» совместно с маркшейдерской службой выполнен комплекс экспериментальных работ, включающий натурные наблюдения, прямые замеры и статистическую обработку полученных данных. Конструктивными элементами системы разработки, в которых формируются потери и разубоживание руды, являются разрезные штреки, разрезные орты и очистные ленты. Натурными наблюдениями определены места и источники эксплуатационных потерь и разубоживания руды (рис. 2, таблица), а также установлено, что доминирующее влияние на их формирование в разрезном и основном слоях оказывают два процесса очистных работ — разрушение руды комбайном и создание рудной «подушки», а в стыковочном слое — разрушение руды и зачистка отбитой руды с почвы слоя.

Комбайн избирательного действия со стреловидным исполнительным органом и резцовой коронкой при воздействии на забой образует прямоугольную форму сечений выработок с угловыми закруглениями и извилистостью пилообразной формы контура рудного и породного бортов по длине выработки. В последующем угловые закругления и зона извилистости бортов определяют контур примыкающего закладочного массива, который, в свою очередь, подрабатывается смежными выработками с вовлечением материала закладочного массива в добытую руду, разубоживая ее.

В ходе экспериментальных работ проводили натурные замеры этих параметров в выработках, где используют комбайны с резцовыми коронками диаметром 1050 и 1400 мм. По результатам исследований установлена зависимость радиуса закруглений угловых частей выработок в основных и стыковочных слоях:

$$R = R_{стр}^{0.5} (d/b_g)^{0.75} - 0,08R_{стр}, \quad (1)$$

где R — радиус закругления угловой части выработки, м; $R_{стр}$ — радиус поворота стрелы комбайна, м; d — диаметр резцовой коронки комбайна, м; b_g — ширина выработки, м.

Контур выработок разрезного слоя со сводчатой кровлей определяется параметрами арочной крепи; приведенный радиус закругления кровли составляет $R = 1,5$ м.

Для установления параметров извилистости контакта рудного борта были обработаны материалы съемки рудных бортов, выполненной маркшейдерской службой рудника «Айхал». По опорным точкам графически отстроенных зон извилистости контура рудного борта очистных лент проводили замеры ширины t и длины $L_{щ}$

волны. По результатам математической обработки статистических данных получены значения $t = 0,3$ м и $L_{\text{ш}} = 0,5$ м. Извилистость бетонного борта визуально не наблюдалась, и поэтому не оценивалась (отсутствие значимой извилистости бетонного борта очистных лент предположительно связана с меньшей прочностью бетонной закладки и действием резовых коронок на бетонный массив в период разрушения руды, вследствие чего выступы из закладочного материала разрушаются).

При создании рудной подсыпки формируются потери мелкой отбитой руды вдоль бортов в плинтусах, образующихся при работе ПДМ ковшового типа. На величину потерь руды в плинтусах вдоль рудных и породных бортов оказывает влияние также извилистость борта. При этом плинтусы вдоль рудных бортов частично подрабатываются при разработке смежных лент в слое, а в плинтусах вдоль бетонных и породных бортов руда теряется полностью. Экспериментальными работами с последующей математической обработкой полученных данных определены зависимости для расчета значений удельных нормативных потерь руды в отбитом виде в плинтусах:

- вдоль породного борта:

$$P_{\alpha(n/n/b)} = \frac{(0,005\alpha - 0,0742)^2 \times \sin\varphi \sin(180 - \alpha)}{2,4\sin(\alpha - \varphi)}, \text{ м}^3; \quad (2)$$

- в торце ленты:

$$P_{\alpha(n/t)} = 0,017\text{tg}\varphi, \text{ м}^3/\text{м}; \quad (3)$$

- вдоль рудного борта:

$$P_{\alpha(n/r/b)} = 0,0202\text{tg}\varphi, \text{ м}^3/\text{м}; \quad (4)$$

- вдоль бетонного борта:

$$P_{\alpha(n/b/b)} = 0,067\text{tg}\varphi, \text{ м}^3/\text{м}, \quad (5)$$

где φ — угол естественного откоса отбитой руды, град; α — угол падения рудного тела, град.

Кроме перечисленных технологических процессов, на уровни потерь и разубоживания руды определенное влияние оказывают горно-геологические параметры залегания рудного тела и технические характеристики оборудования. Расчет нормативов по каж-

Классификация эксплуатационных потерь и разубоживания руды при разработке очистных лент

Группа, вид и место потерь и разубоживания руды	Условные обозначения	Слой*		
		РС	ОС	СС
Потери руды				
<i>Группа I. Потери в массиве</i>				
Между выемочными лентами при отбойке руды в замках по кровле: по рудному борту по бетонному борту	$P_{n(kp/pb)}$	+	-	-
	$P_{n(kp/bb)}$	+	-	-
На контактах рудного тела с вмещающими породами при отбойке руды в замках по породному борту	$P_{n(nb)}$	+	+	+
<i>Группа II. Потери отделенной от массива</i>				
В нарезных и очистных выработках при отбойке и отгрузке руды: на почве по площади на почве в плинтусах: вдоль породного борта вдоль рудного борта вдоль бетонного борта в торце ленты	$P_{\alpha(n)}$	-	-	+
	$P_{\alpha(n/n/b)}$	+	+	+
	$P_{\alpha(n/r/b)}$	+	+	+
	$P_{\alpha(n/b/b)}$	+	+	+
	$P_{\alpha(n/t)}$	+	+	+
Между выемочными лентами при отбойке руды: в зажиме вдоль породного борта в зажиме на почве	$P_{\alpha(z/nb)}$ $P_{\alpha(z/r)}$	+	+	+
Разубоживание руды				
<i>Группа I. Первичное разубоживание</i>				
При отбойке руды: породой с торца ленты из-за несовпадения угла наклона контакта рудного тела и плоскости забоя породой с борта ленты в результате прирезки пород	$B_{n(r)}$	+	+	+
	$B_{n(b)}$	+	+	+
<i>Группа II. Вторичное разубоживание</i>				
При отбойке руды: бетоном с борта смежных заложённых выработок бетоном со стыка смежных заложённых выработок	$B_{b(b)}$	+	+	+
	$B_{b(st/r)}$	+	+	+
При звезде комбайна на ленту: бетоном с торца смежных заложённых выработок**	$B_{b(t)}$	+ / (-)	+ / (-)	+ / (-)

* РС, ОС, СС — слои, соответственно, разрезной, основной, стыковочный.

** (-) — для лент 1-й очереди отработки.

дому виду, месту и источнику образования потерь и разубоживания руды проводят с учетом разделения их на взаимосвязанные и обособленные. К взаимосвязанным относят потери и разубоживание, когда снижение уровня потерь руды ведет к увеличению ее разубоживания, и наоборот. В этом случае потери и разубоживание определяют вариантно-аналитическим методом по критерию максимальной прибыли с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого на основе сравнения экономических последствий выемки запасов руды по контурам отработки [2–4]:

$$Pr = C_b K_n I_c \frac{C_{\text{тов}} K_n}{K_k} \rightarrow \max, \quad (6)$$

где Pr — прибыль с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, руб.; C_b — валовая ценность 1 т погашенных балансовых запасов, руб.; K_n, K_k — соответственно коэффициенты извлечения полезного компонента из недр и изменения качества добытого полезного ископаемого, доли ед.; I_c — сквозной

коэффициент извлечения полезного компонента при переработке; $C_{\text{тов}}$ — суммарные затраты на добычу, транспорт и переработку 1 т товарной руды, руб.

Значения потерь и разубоживания, соответствующие контуру выемки с максимальным значением прибыли, принимают как нормативные уровни.

К взаимосвязанным относятся потери в массиве — в замках по кровле рудного и бетонного бортов, а также отбитой руды в «зажиме» на почве слоев, связанные с величиной подработки бетонного борта; потери в массиве — в замках по породному борту, а также отбитой руды в «зажиме» вдоль породного борта, связанные с подработкой породного борта. В остальных местах потери и разубоживание руды относят к обособленным, уровни которых зависят от конструктивно-технологических параметров системы разработки, а также технических характеристик оборудования. Например, нормативные величины разубоживания руды от закладочного массива в торце очистных лент при звездке комбайна на ленту $B_{6(\Gamma)}$ установлены натурными наблюдениями и замерами, а затем уточнены методом компьютерного моделирования, исходя из параметров выработок и характеристик оборудования. Абсолютные величины подработки бетонных торцов рассчитываются из выражения:

• для лент шириной менее 5 м:

$$\text{при } a_{\text{пер}} < 5,5 \text{ м } B_{6(\Gamma)} = (0,261a_{\text{пер}}^2 - 2,74a_{\text{пер}} + 7,31)b_{\text{в}}, \text{ м}^3;$$

$$\text{при } a_{\text{пер}} \geq 5,5 \text{ м } B_{6(\Gamma)} = 0;$$

• для лент шириной более 5 м:

$$\text{при } a_{\text{пер}} < 3,1 \text{ м } B_{6(\Gamma)} = (0,261a_{\text{пер}}^2 - 2,74a_{\text{пер}} + 6,0)b_{\text{в}}, \text{ м}^3;$$

$$\text{при } a_{\text{пер}} \geq 3,1 \text{ м } B_{6(\Gamma)} = 0,$$

где $a_{\text{пер}}$ — расстояние от сопряжения с разрезным штреком до места установки перемычки, м.

В заключение подчеркнем, что предлагаемая методика нормирования потерь и разубоживания, в отличие от других (дей-

ствующих) методов, учитывает технологические и конструктивные особенности слоевой системы разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства и комбайновой выемкой руды, в которой характер формирования потерь и разубоживания существенно отличается от их формирования при традиционной буровзрывной отбойке руды. При этом специализированная для комбайновой выемки методика позволяет усовершенствовать процесс нормирования показателей извлечения руды из недр за счет использования компьютерных технологий.

Библиографический список

1. Вохмин С. А., Требуш Ю. П., Ермолаев В. Л. Планирование показателей извлечения при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. — Красноярск: ГАЦМиЗ, 2002. — 160 с.
2. Сборник руководящих материалов по охране недр. — М.: Недра, 1973.
3. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной металлургии СССР. — М.: Госгортехнадзор, 1975. — 127 с.
4. Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр. — М.: Недра, 1974. — 312 с. □

Крамсков Николай Петрович,
e-mail: KramskovNP@alrosa.ru

Вохмин Сергей Антонович,
e-mail: svochmin@mail.ru

Требуш Юрий Прокопьевич,
e-mail: trebush@yandex.ru

Курчин Георгий Сергеевич,
e-mail: KurchinGS@mail.ru

Майоров Евгений Сергеевич,
e-mail: MaiorES@mail.ru

METHOD OF REGULATION OF LOSSES AND CONTAMINATION OF ORE DURING THE UNDERGROUND MINING OF AYKHAL KIMBERLITE PIPE

Kramskov N. P.¹, Chief Researcher, Doctor of Engineering Sciences, e-mail: KramskovNP@alrosa.ru

Vokhmin S. A.², Head of a Chair, Candidate of Engineering Sciences

Trebush Yu. P.², Assistant Professor

Kurchin G. S.², Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

Mayorov E. S.², Senior Lecturer

¹ «Yakutniproalmaz» Institute (Mirny, Russia)

² Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)

Method of regulation of losses and contamination of ore is offered for specific conditions of underground mining of kimberlites with application of descending mining, continuous ore mining and stowing by solidifying compounds. The algorithm of realization of this method is also given. There are shown the researches, natural experiments and measurements on definition of places of formation and types of losses and contamination, which were carried out in the conditions of Aykhal mine of «ALROSA» JSC. There is given the range of places and sources of losses and contamination. Empirical dependences are defined for calculations of regulation values of losses and contamination.

Methodical approach of regulation of losses and contamination, developed on the basis of the offered method, takes into account the technological and design peculiarities of layer system of development with solidifying stowing and continuous mining of ore. At the same time, there appears the possibility of improvement of process of regulation of indices of ore extraction from subsoil, due to the usage of computer technologies.

Key words: underground mining of kimberlites, development system, descending layers, belts, continuous mining of ore, stowing, types of losses and contamination, method of regulation.

REFERENCES

1. Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Ermolaev V. L. *Planirovaniye pokazateley izvlecheniya pri podzemnoy razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* (Planning of extraction indices during the underground mining of mineral deposits). Krasnoyarsk: State Academy of Non-Ferrous Metals and Gold, 2002, 160 p.
2. *Sbornik rukovodyashchikh materialov po okhrane neдр* (Collection of guiding materials on subsoils protection). Moscow: Nedra, 1973.
3. *Otraskovaya instruktsiya po opredeleniyu, normirovaniyu i uchetu poter i razubozhivaniyu rudy i peskov na rudnikakh i priiskakh Ministerstva tsvetnoy metallurgii SSSR* (Branch manual on definition, regulation and accounting of losses and contamination of ore and sands on mines and placers of Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of USSR). Moscow: State Technical & Mining Inspectorate, 1975, 127 p.
4. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka izvlecheniya poleznykh iskopaemykh iz neдр* (Technical-economic assessment of extraction of mineral resources from subsoils). Moscow: Nedra, 1974, 312 p.