

УДК 622.272.001.33

**ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОТРАБОТКИ ЗАПАДНОГО ФЛАНГА
МЕДИСТЫХ РУД ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
С ПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКОЙ ВТОРИЧНЫХ КАМЕР**

В. А. Усков, С. А. Кондратьев, С. А. Неверов

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: wau347743@list.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Установлена экономическая целесообразность применения камерной системы разработки с камерно-целиковым порядком отработки с твердеющей закладкой первичных камер и закладкой вторичных обрушенными породами в условиях западного фланга рудника “Октябрьский”. Система разработки имеет более высокие показатели весовых потерь и разубоживания в сравнении с базовой системой при сопоставимом качестве добываемой руды. Технико-экономическое сравнение двух вариантов технологических решений в полном цикле добычи, переработки руды и извлечения основного металла (никеля) и попутных металлов (меди, платины и др.) показывает, что по предложенной системе разработки можно получить более высокую удельную прибыль от добычи и переработки руды.

Камерная система разработки с закладкой выработанного пространства, камерно-целиковый порядок отработки, себестоимость добычи и переработки медистой руды, удельная прибыль, Октябрьское месторождение

DOI: 10.15372/FTPRPI20170613

Проектом развития рудника “Октябрьский” ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” до 2025 г. предусмотрено сохранение добычи медистых руд на уровне 3 млн т/год [1]. Решение этой задачи достигается развитием камерной системы разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства с использованием дистанционно управляемого самоходного оборудования и увеличением доли камерно-целикового порядка отработки залежей в общем объеме добычи рудника [1–3].

Залежи медистых руд представляют собой многоярусную кулисообразную зону оруденения с некондиционными прослоями вмещающих пород — осадочных и интрузивных. Почва медистых руд удалена от кровли сплошных медно-никелевых руд на 60–100 м, а от кровли вкрапленных руд — на 15–40 м. Около 50 % пород рудного массива являются средненарушенными (II категория устойчивости), 20 % — слабонарушенными (I категория) и 30 % — сильнонарушенными (III категория) [4]. Средняя мощность залежи составляет 24 м [1], а среднее содержание никеля в запасах медистых руд равно 0.83 % [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта № 0321-2015-004 фундаментальных исследований Президиума РАН под руководством академика Н. С. Бортникова и академика В. А. Чантурия.

Отработка запасов медистых руд на западном фланге Октябрьского месторождения имеет особенности. Во-первых, медистые руды с абсолютной глубиной залегания менее 700 м относятся к склонным, а не к опасным по горным ударам, как на других флангах месторождения. Это позволяет при камерно-целиковой схеме ведения очистных работ заполнять вторичные камеры гидравлической закладкой или инертными материалами (например, пустыми породами из проходческих работ) [4–6]. Во-вторых, на западном фланге этого месторождения имеется объективная сложность организации закладочных работ из-за удаленности поверхностного закладочного комплекса (ПЗК). Решается вопрос о реконструкции старого ПЗК или строительстве нового [7, 8].

В настоящей работе поставлена задача сравнительной оценки качественных показателей извлечения медистых руд при варианте сплошной камерной системы разработки с камерно-целиковым порядком отработки с твердеющей закладкой и при варианте с твердеющей закладкой первичных камер и закладкой вторичных камер обрушенными породами (рис. 1).

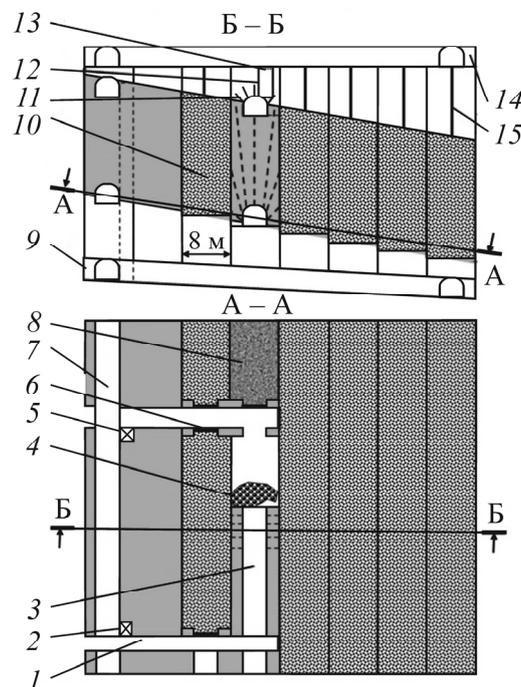


Рис. 1. Камерная система разработки медистых руд с камерно-целиковым порядком отработки и закладкой первичных камер твердеющим составом, а вторичных — породами от развития закладочного горизонта: 1 — буро-транспортный орт; 2 — вентиляционный восстающий; 3 — буро-транспортный штрек; 4 — отбитая руда; 5 — рудоспуск; 6 — перемычка; 7 — транспортный штрек; 8 — отбитая порода; 9 — транспортный уклон; 10 — твердеющая закладка; 11 — анкерная крепь; 12 — породоспуск; 13 — решетка; 14 — вентиляционно-закладочный орт; 15 — закладочная скважина; А–А — план буротранспортного горизонта; Б–Б — вертикальный разрез вкрест простирания залежи медистых руд

Используя качественные показатели извлечения медистых руд, можно провести технико-экономическое сравнение двух вариантов технологических решений в полном цикле добычи, переработки руды и извлечения основного металла (никеля) и попутных металлов (меди, платины и др.) в концентрат. На разрезе Б–Б (рис. 1) видно, что для обоих вариантов технологии при выемке руды из вторичных камер вертикальные обнажения их стенок представлены закладочным массивом первичных камер, а кровля камер и их плоское днище — вмещающими породами.

Для расчета принимали параметры камер в соответствии с рекомендациями [9]: ширина 8, длина 50, высота 20 м. Практика отработки медистых руд на руднике показывает [1–3], что для проходки нарезных выработок наиболее подходят буровые установки Boomer 282 (Atlas Copco), а на очистных работах рекомендуется применять установку для веерного бурения M7C Simba (Atlas Copco). Отгрузку и доставку отбитой руды, а также зачистку почвы камер рекомендуется производить погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) TORO 1400 (Tamrok) и R 1700G (Caterpillar). Технологическое оборудование, используемое в технологических процессах, приведено в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Оборудование для механизации горных работ при отработке медистых руд рудника “Октябрьский”

Технологический процесс	Тип и модель машин (производитель)
Проходка восстающих выработок	Установка для бурения вертикальных выработок 73RM-AC, 34RH-HT (Robbins, США)
Доставка ВВ и зарядание шпуров	Доставочно-зарядная машина Charmek B (Normet, Финляндия)
Оборка заколов, крепление кровли штангами	Кровлеоборочные каретки с телескопической стрелой, Robolt H395; U-807, 607 (Normet)
Крепление горных выработок набрызг-бетоном	Машина для торкретирования горных выработок Spraymek 6050DP (сухая смесь), Spraymek 6050WPC (раствор) (Normet)
Доставка и разгрузка материалов для возведения набрызг-бетонной крепи	Машины для перевозки материалов и торкретирования Siloruck 804 (сухая смесь), Spraymek mixer (раствор) (Normet)
Техническое обслуживание и ремонт	Ремонтная мастерская Multimek (Normet)

Для двух сравниваемых вариантов технологии — камерной системы разработки с твердеющей закладкой камер и камерно-целиковым порядком отработки (КЦЗЗ) и камерной системы разработки с камерно-целиковым порядком отработки с твердеющей закладкой камер первой очереди и породной закладкой камер второй очереди (КЦЗП) — отработка и закладка первичных камер и отработка вторичных камер проводятся аналогично. Для осуществления закладки вторичных камер породами с закладочного горизонта предлагается на стадии подготовки вместо 120 м закладочных скважин диаметром 200 мм пробурить 120 м породоспусков диаметром 2400 мм (рис. 1) и оборудовать их в верхней части решеткой. Объемы очистных работ панели для сравниваемых систем разработки КЦЗЗ и КЦЗП приведены в табл. 2.

Основными источниками потерь и разубоживания руды являются потери: неотбитого полезного ископаемого при образовании плоского днища; руды при доработке временных целиков в торцах камер после их закладки; отбитой руды в неровностях почвы камер и в плинтусах камер при зачистке дистанционным оборудованием; из-за налипания руды на закладочный массив; разубоживания: породой кровли из-за несовпадения контура рудного тела и контура отработки; отбитой руды закладкой с бортов камер; при образовании плоского днища.

Потери руды при образовании плоского днища камер для угла падения залежи $\alpha = 8^\circ$ рассчитаны по формуле

$$\Pi_1 = \frac{b^2 \operatorname{tg} \alpha L}{8} \gamma,$$

где $b = 8$ м — ширина камеры; $L = 120$ м — длина панели; $\gamma = 3.6$ т/м³ — объемный вес руды.

ТАБЛИЦА 2. Объемы очистных работ панели по системам разработки КЦЗЗ и КЦЗП

	КЦЗЗ (базовая)	КЦЗП
Мощность залежи, м	20	20
Длина панели, м	120	120
Ширина камеры, м	8	8
Объем отбойки руды, м ³	19200	19200
Объемный вес руды, т/м ³	3.6	3.6
Балансовые запасы руды, т	69120	69120
Содержание никеля в балансовых запасах руды α , %	0.83	0.83
Коэффициент весовых потерь P , %	3.0	3.7
Количество потерянной руды, т	2073.8	2531
Содержание никеля в добытой руде α_{Ni} , %	0.77	0.77
Коэффициент разубоживания R , %	6.7	6.8
Количество разубоживающей массы, т	4838.4	4838.4
Количество добытой руды, т	71884.6	71427.4
Весь объем закладки панели, м ³	21960	21960
Объем твердеющей закладки М100 панели, м ³	21960	—
Цена закладки М100, долл./м ³	26	—
Объем породной закладки, м ³	—	21960

Потери руды при доработке временных целиков в торцах камер после их закладки составили:

$$\Pi_2 = (bmh\gamma - 2S_{\text{бтш}}h\gamma)k_{\text{п}},$$

где $m = 20$ м — мощность рудной залежи; $h = 10$ м — ширина целика; $S_{\text{бтш}} = 16.5$ м² — площадь сечения буротранспортного штрека; $k_{\text{п}} = 0.3$ — коэффициент потерь.

Потери отбитой руды в плинтусах камеры:

$$\Pi_3 = a^2L\gamma_0,$$

$a = 0.4$ м — ширина плинтуса; $\gamma_0 = 2.4$ т/м³ — объемный вес отбитой руды.

Потери отбитой руды на почве камеры:

$$\Pi_4 = \xi bL,$$

ξ — удельные потери руды в неровностях почвы камеры ($\delta = 0.09$ т/м²).

Потери рудной мелочи из-за налипания на закладочный массив:

$$\Pi_5 = 2\delta_{\text{н}}mL,$$

$\delta_{\text{н}} = 0.02$ т/м² — удельное налипание руды на закладку.

Коэффициент весовых потерь (табл. 2) определен по формуле [10]:

$$P = \frac{\Pi}{B}100,$$

Π — общее количество потерянной руды, т; B — балансовые запасы, т.

Количество разубоживающей массы с бортов камер:

$$P_1 = ymL\gamma_3,$$

$y = 0.7$ м — средний прихват закладки с бортов камеры; $\gamma_3 = 2.3$ т/м³ — объемный вес закладки.

Количество разубоживающей массы с кровли камер:

$$P_2 = z(b - B)L\gamma_n,$$

$z=0.4$ м — средний прихват пород; $B=4.35$ м — ширина буротранспортного штрека; $\gamma_n = 2.8$ т/м³ — объемный вес породы.

Количество разубоживающей массы с почвы камер при формировании плоского днища:

$$P_3 = \frac{b^2 \operatorname{tg} \alpha L}{8} \gamma.$$

Количество добытой руды: $D = B - \Pi + P$, коэффициент разубоживания $R = (P/D)100$ и содержание никеля в добытой руде $\alpha_{Ni} = \alpha(B - \Pi)/D$ определены по формулам [10], где B — балансовые запасы, т; Π — количество потерянной руды, т; P — количество разубоживающей массы, т.

Из приведенных данных (табл. 2) видно, что система разработки КЦЗП имеет более высокие показатели весовых потерь и разубоживания в сравнении с системой КЦЗЗ при сопоставимом качестве добываемой руды. В то же время дополнительные затраты на бурение породоспусков оправдываются снижением затрат на закладку. При этом порода с проходки закладочного горизонта не поднимается на поверхность, а складывается во вторичных камерах.

Расчетные стоимостные показатели добычи и переработки руды системами разработки КЦЗП и КЦЗЗ в условиях западного фланга рудника “Октябрьский” представлены в табл. 3. В себестоимость добычи руды входят транспортные расходы.

ТАБЛИЦА 3. Расчетные показатели добычи и переработки руды системами разработки КЦЗП и КЦЗЗ в условиях западного фланга рудника “Октябрьский”

Показатель	КЦЗП			КЦЗЗ (базовая)		
	Цена за единицу, долл./т	$D_{КЦЗП}$, т	Сумма затрат, тыс. долл.	Цена за единицу, долл./т	$D_{КЦЗЗ}$, т	Сумма затрат, тыс. долл.
Добыча руды C_d	18.2	71 427.4	1 300.0	20.9	71 884.6	1 502.4
Обогащение руды C_o	14.0	71 427.4	1 000.0	14.0	71 884.6	1 006.4
Металлургический передел $C_{мп}$	64.0	71 427.4	4 571.4	64.0	71 884.6	4 600.6

Для технико-экономического сравнения двух вариантов технологических решений в полном цикле добычи, переработки руды и извлечения основного металла (никеля) и попутных металлов (меди, платины и др.) в концентрат использована методика предложенная в [11–13]. Необходимо сравнить прибыль в полном цикле добычи и переработки руды при системах разработки КЦЗЗ и КЦЗП с учетом качественных показателей (табл. 4).

Доля прибыли на 1 т руды определяется для основного металла (никеля) по формуле [11, 12]:

$$\Pi_1 = Z_1 - C_m, \quad (1)$$

где Z_1 — извлекаемая ценность руды с учетом только никеля, долл./т; C_m — себестоимость добычи и переработки 1 т руды в металл.

Извлекаемая ценность 1 т руды определяется для никеля по формуле [11, 12]:

$$Z_1 = 0.01 \delta \varepsilon_d \varepsilon_o \varepsilon_m \sum_1^{j=m} \alpha_{Ni} \Pi_{Ni}. \quad (2)$$

Здесь $\delta = 0.85$ — среднее отклонение содержания металла в пробах; ε_d — извлечение никеля при добыче; ε_o — извлечение никеля при обогащении; ε_m — извлечение никеля при металлургическом переделе (табл. 4); α_{Ni} — содержание никеля в добытой руде (табл. 2); Π_{Ni} — цена никеля на Лондонской бирже цветных металлов (21.08.2017 г. составляла 10585 долл./т).

ТАБЛИЦА 4. Расчет удельной прибыли от добычи и переработки руды при системах разработки с КЦЗЗ на КЦЗП по руднику “Октябрьский”

Показатель	КЦЗП	КЦЗЗ (базовая)
Содержание никеля в добытой руде, %	0.9286	0.9291
Извлечение никеля при добыче	0.96	0.97
Извлечение никеля при обогащении	0.542	0.542
Извлечение никеля при металлургическом переделе	0.9	0.9
Извлекаемая ценность руды, долл./т	66.5	67.2
Себестоимость добычи и переработки 1 т руды, долл./т	35.1	37.8
Доля прибыли на 1 т руды по никелю, долл./т	31.4	29.4
Удельная прибыль от добычи и переработки руды с учетом сопутствующих металлов, долл./т	78.5	73.5

Извлечение никеля при обогащении для систем разработки КЦЗЗ и КЦЗП рассчитывается по формуле [11]:

$$\varepsilon_o = -2.8532(\alpha_{Ni})^2 + 21.401\alpha_{Ni} + 39.384.$$

Себестоимость добычи и переработки 1 т руды в металл вычисляется для основного металла по формуле [11, 12]:

$$C_m = C_d + C_o + \frac{\alpha_{Ni}\varepsilon_o C_{мп}}{\beta},$$

где C_d — себестоимость добычи руды (табл. 3); C_o — себестоимость обогащения руды (табл. 3); α_{Ni} — содержание никеля в добытой руде (табл. 2); ε_o — извлечение никеля при обогащении (табл. 3); $C_{мп}$ — себестоимость металлургического передела (табл. 3); $\beta = 9.3\%$ — содержание никеля в концентрате.

Долю прибыли на 1 т руды для никеля определяем по формуле (1), для попутных металлов — через коэффициент приведения ценности извлеченных сопутствующих металлов ($K_{пр} = 1.5$) к базовой доле прибыли по никелю Π_1 по формуле [11 – 14]:

$$\Pi_2 = K_{пр}\Pi_1.$$

Тогда удельная прибыль от добычи и переработки руды составит (табл. 4):

$$\Pi = \Pi_1(1 + K_{пр}).$$

Сравнение удельной прибыли от добычи и переработки руды в полном цикле при системах разработки КЦЗЗ и КЦЗП с учетом качественных показателей (табл. 4) показывает, что камерная система разработки медистых руд с камерно-целиковым порядком отработки и закладкой первичных камер твердеющим составом, а вторичных камер — породами от развития закладочного горизонта имеет более высокую удельную прибыль, чем традиционная камерная система разработки с твердеющей закладкой с использованием дистанционно управляемого самоходного оборудования и камерно-целиковым порядком отработки.

ВЫВОДЫ

Установлено, что предлагаемая система разработки медистых руд имеет более высокие показатели весовых потерь и разубоживания по сравнению с базовой при сопоставимом качестве добываемой руды. Дополнительные затраты на бурение породоспусков по этой системе разработки компенсируются снижением расходов на закладку. При этом порода с проходки закладочного горизонта не поднимается на поверхность, а складывается во вторичных камерах.

Показано, что камерная система разработки с камерно-целиковым порядком отработки и закладкой первичных камер твердеющим составом, а вторичных камер — породами от развития закладочного горизонта может быть рекомендована для промышленных испытаний при отработке запасов медистых руд на западном фланге Октябрьского месторождения, так как имеет более высокую удельную прибыль от добычи и переработки руды, чем традиционная этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин А. Г., Шляпцев В. Ф., Плиев Б. З., Богайчук А. В. Совершенствование камерной системы разработки медистых руд на руднике “Октябрьский” // Горн. журн. — 2010. — № 6. — С. 66–68.
2. Гулан Е. А., Шаталов А. А. Разработка сульфидных руд в сложных горно-геологических условиях (на примере Талнахского рудного узла) // Вестн. РУДН. Серия: Инженерные исследования. — 2009. — № 3. — С. 37–45.
3. Смирнов А. А., Чернецов В. А., Чернецов Д. В. Методика расчета производительности самоходного горного оборудования (на примере Норильских подземных рудников) // Горн. журн. — 2010. — № 6. — С. 88–90.
4. Уфатова З. Г., Тапсиев А. П., Усков В. А. Обоснование параметров камер при отработке рудных залежей на руднике “Октябрьский” с частичной закладкой и обрушением // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — № 2. — С. 279–283.
5. Фрейдин А. М., Неверов А. А., Неверов С. А. Геомеханическая оценка комбинированной системы разработки мощных пологих рудных залежей с закладкой и обрушением // ФТПРПИ. — 2016. — № 5. — С. 114–124.
6. Тапсиев А. П., Усков В. А. Резервы эффективной отработки Западного фланга рудника “Октябрьский” // Междунар. науч. конф. “Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология”: сб. материалов: в 4 т. — Новосибирск: СГУГиТ, 2016. — Т. 4. — С. 26–30.
7. Тапсиев А. П., Анушенков А. Н., Усков В. А., Артеменко Ю. В., Плиев Б. З. Повышение производительности поверхностных закладочных комплексов рудников ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель” // ФТПРПИ. — 2010. — № 3. — С. 57–62.
8. Ордин А. А., Васильев И. В. Оптимизация объема добычи медистых руд Октябрьского медно-никелевого месторождения с учетом лагового фактора // ФТПРПИ. — 2017. — № 3. — С. 79–85.
9. РТПП-051-2013. Регламент технологических производственных процессов по применению камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства и использованием дистанционно управляемого самоходного оборудования при выемке сульфидных руд на Талнахских рудниках ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2013. — 65 с.
10. Отраслевая инструкция по определению, нормированию, планированию и учету потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче на рудниках Министерства цветной металлургии СССР. — М., 1988. — 76 с.
11. Кожиев Х. Х. Влияние качества добытой руды на показатели обогащения // ГИАБ. — 2006. — № 8. — С. 27–28.
12. Кожиев Х. Х. Укрупненный расчет эффективности системы управления качеством руды // ГИАБ. — 2006. — № 8. — С. 29–30.
13. Кожиев Х. Х., Ломоносов Г. Г. Рудничные схемы управления качеством минерального сырья. — М.: Изд-во МГГУ, 2008. — 294 с.
14. Тапсиев А. П., Усков В. А. Сравнительная технико-экономическая оценка систем разработки с учетом обогатительного и металлургического переделов на рудниках ЗФ ПАО “ГМК “Норильский никель” // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — № 3. — Т. 1. — С. 201–205.

Поступила в редакцию 2/Х 2017