

УДК 622.273.013.364

А. Г. АНОХИН, Н. В. ПОДКУЙКО (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
С. А. ВОХМИН, Ю. П. ТРЕБУШ (Сибирский федеральный университет)

НОРМИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ ТАЛНАХСКОГО И ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ*



А. Г. АНОХИН,
директор Центра
геодинамической безопасности,
канд. техн. наук



Н. В. ПОДКУЙКО,
главный маркшейдер –
директор Центра
маркшейдерских работ



С. А. ВОХМИН,
зав. кафедрой шахтного
и подземного строительства,
проф., канд. техн. наук



Ю. П. ТРЕБУШ,
доцент кафедры
шахтного и подземного
строительства

Основу сырьевой базы ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» составляют Талнахское и Октябрьское месторождения различных по качеству сплошных сульфидных (богатых), медистых и вкрапленных руд, залегающих совместно или разделенных прослоями вмещающих пород. Месторождения характеризуются сложной тектоникой, высокой трещиноватостью рудных и породных массивов, что определило применение различных вариантов камерных и слоевых систем разработки с полной закладкой выработанных пространств твердеющими смесями и самоходного оборудования на добычных работах [1–3].

Сплошную слоевую систему разработки применяют в нескольких конструктивных вариантах, различающихся очередностью выемки слоев — с восходящим порядком выемки (ССС-В), с комбинированным (ССС-К) и с нисходящим (ССС-Н). В камерной

Представлены исследования и разработанная по их результатам методика нормирования потерь и разубоживания медно-никелевых руд при их добыче с применением слоевых и камерных систем разработки, самоходного оборудования и закладки выработанных пространств твердеющими смесями.

По результатам исследований разработано и введено в действие более 30 регламентирующих документов для нормирования потерь и разубоживания всех типов руд, применяемых систем и технологий разработки на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

Ключевые слова: медно-никелевые руды, системы разработки с закладкой, слоевая и камерная выемка, морфология контактов, технология и оборудование, места и источники потерь и разубоживания, методика и алгоритм нормирования, оптимизация.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.11>

системе разработки применяют варианты сплошной (без оставления целиков) выемки камер, а также камерно-целиковый с оставлением временных целиков. Подготовка к очистной выемке включает проведение подготовительных и нарезных выработок (доставочных и буровых) и формирование отрезных щелей. Отбойку руды осуществляют зарядами восходящих или нисходящих параллельных или веерных скважин.

Слоевые системы разработки с закладкой обеспечивают высокие показатели извлечения руды из недр. При этом существенно различаются технологические схемы выемки основных и приконтактных слоев, а также условия формирования потерь и разубоживания руды. В приконтактных слоях происходит разубоживание руды вмещающими породами и образуются потери в массиве при отбойке руды из-за несовпадения контура отбойки и геологического контакта, а также потери отбитой рудной мелочи на почве нижнего слоя из-за неполноты отгрузки. Для СССР-В и СССР-К характерно также формирование потерь отбитой руды в результате «вдавливания» ее в массив закладки и разубоживание материалом закладки при подработке искусственной почвы слоя в процессе отгрузки руды погрузочно-доставочными машинами.

* В работе принимали участие В. В. Цацкин, заместитель директора Центра маркшейдерских работ и М. С. Филиппов, главный специалист отдела маркшейдерского обеспечения горных работ ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», а также Г. С. Курчин, доцент кафедры шахтного и подземного строительства СФУ, канд. техн. наук.



Алгоритм методики нормирования потерь и разубоживания руды на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

Следует отметить, что суммарные величины потерь и разубоживания руды при выемке приконтактных слоев в 2–3 раза выше их значений при выемке основных слоев.

По результатам исследований для камерных систем разработки с закладкой, установлены основные места локализации потерь и разубоживания руды. Установлено, что фактическая доля вмещающих пород в общем объеме разубоживания незначительна, и основным его источником является бетон, что обусловлено значительной высотой обнажения бетонного борта в сравнении со слоевой выемкой и оформлением бортов камер скважинной отбойкой. Определение мест и источников потерь и разубоживания руды с оценкой условий их образования позволило сформулировать общий методический подход к нормированию показателей извлечения и разработать алгоритм, определяющий виды работ и последовательность выполнения задачи (см. **рисунок**) [4–7]:

- изучение процессов очистной выемки и технологического потока движения руды от ее отделения (отбойки) от массива до выпуска из блока и транспортирования к месту назначения;
- выделение конструктивных элементов (КЭ) системы разработки и технологических процессов, в которых формируются потери и разубоживание руды с расчетами значений потерь и разубоживания в каждом из них (например, для слоевой выемки такими КЭ являются параметры и контакты слоев; для камерных систем разработки — выработки днища (плоское или траншейное), параметры и контакты камер);
- формирование для каждого выделенного КЭ системы разработки классификации эксплуатационных потерь и разубоживания по местам и источникам их образования, исходя из условий

проектного (паспортного) исполнения системы и технологии разработки в целом и отдельных КЭ (см. **таблицу**);

- анализ технологических процессов, влияющих на формирование потерь и разубоживания руды, с определением требований и условий обеспечения их проектного (паспортного) исполнения и установлением причинно-следственных связей процессов очистной выемки и формирующихся потерь и разубоживания (например, в слоевых и камерных системах разработки на величину подработки закладки в бортах влияет качество буровзрывных работ: прямое влияние сейсмического воздействия взрыва при отбойке руды на закладочный массив и опосредованное влияние извилистости контуров бортов слоев и камер по длине и высоте на формирование закладочного массива);
- определение исходных данных для нормирования потерь и разубоживания полезных ископаемых на основе их классификации, а также принятого критерия оценки эффективности ведения горных работ; при этом конструктивные параметры элементов системы разработки принимают по проектным данным, конфигурацию рудных тел — по геологической документации, а значения потерь и разубоживания, зависящие от исполнения технологических процессов добычи руды — по результатам экспериментальных работ (например, на уровень разубоживания руды, теряемой в отбитом виде на почве и в плинтусах выработок, влияют объем вовлекаемой в разработку разубоживающей массы (вмещающей породы и закладки) и параметры извилистости контуров бортов слоев и камер);
- установление значений потерь и разубоживания с использованием принятых в соответствии с условиями их формирования и показанных ниже расчетных методов.

Классификация эксплуатационных потерь и разубоживания

Название потерь (П) и разубоживания (Р)	Условное обозначение	Системы разработки		Причины и условия образования потерь и разубоживания
		Слоевые	Камерные	
Потери полезного ископаемого в массиве				
<i>Технологический процесс — отбойка; КЭ — выработки днища, слои</i>				
В целиках днища	П1	–	+	Оставление полезного ископаемого в откосах траншейного днища, обусловленное конструктивным исполнением системы разработки и технологией отбойки руды
<i>Технологический процесс — отбойка; КЭ — выработки днища, камера, слои</i>				
На контактах с вмещающей породой	П2	+	+	Оставление полезного ископаемого на контактах с вмещающей породой вследствие несовпадения контура отбойки с поверхностью залежи, обусловленное морфологией контакта и технологическим исполнением отбойки руды
Потери полезного ископаемого в отбитом виде				
<i>Технологический процесс — доставка и зачистка; КЭ — выработки днища, камера, слои</i>				
На почве выработок	П3	+	+	Оставление отбитой руды на почве выработок и в выработанном пространстве вследствие неполноты зачистки и обусловленное возможностями технологического оборудования на доставке руды и зачистке выработок
Разубоживание полезного ископаемого вмещающей породой				
<i>Технологический процесс — отбойка; КЭ — выработки днища, камера, слои</i>				
При подработке контактов на границах выработанного пространства	Р1	+	+	Подработка контактов с вмещающей породой, обусловленная морфологией контакта, а также технологическим исполнением отбойки полезного ископаемого
Разубоживание закладочным материалом				
<i>Технологический процесс — отбойка; КЭ — выработки днища, камера, слои</i>				
При подработке контактов на границах выработанного пространства	Р2	+	+	Подработка контактов с закладкой, обусловленная морфологией контакта, а также технологическим исполнением отбойки полезного ископаемого
<i>Технологический процесс — доставка и зачистка; КЭ — выработки днища, слои</i>				
При подработке контактов на границах выработанного пространства	Р3	+	–	Подработка контактов с закладкой, обусловленная морфологией контакта, а также технологическим исполнением процесса доставки полезного ископаемого

Вариантно-аналитическим методом, по критерию максимальной прибыли с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, устанавливают уровни взаимосвязанных потерь и разубоживания, когда при увеличении потерь уменьшается разубоживание руды, и наоборот:

$$P_p = C_6 K_n I_c - C_{\text{тов}} K_n / K_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

где P_p — прибыль с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, руб.; C_6 — валовая ценность 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, руб.; K_n, K_k — коэффициенты, соответственно, извлечения из недр и изменения качества добытого полезного ископаемого, доли ед.; I_c — сквозной коэффициент извлечения полезного компонента при переработке, ед.; $C_{\text{тов}}$ — суммарные затраты на добычу C_d и переработку 1 т руды (обогащение — C_o , металлургический передел $C_{m,n}$), руб.

Условие (1) присуще выемке запасов на контактах руда–порода или руда–закладка, например, взаимосвязанным потерям

П1 и П2 руды в массиве и разубоживанию Р1 и Р2 на геологических и техногенных контактах (см. **таблицу**).

По результатам исследований авторами установлены соответствующие условию (1) аналитические зависимости между величинами потерь и разубоживания. Нормативные значения потерь руды в массиве на контактах с вмещающей породой:

$$P2 = \frac{\mu_s t}{2(1 + \mu_s)^2} H_{n.6} L_{n.6} \gamma_p, \tau; \quad (2)$$

разубоживания — при подработке геологических контактов на границах выработанного пространства:

$$P1 = \frac{t}{2(1 + \mu_s)^2} H_{n.6} L_{n.6} \gamma_p, \tau, \quad (3)$$

где $H_{n.6}$ — высота породного борта камеры, м; $L_{n.6}$ — длина породного борта камеры, м; t — ширина зоны стохастичности [4, 5], м; γ_p — плотность пород в массиве, т/м³; γ_p — плотность балансовой руды в массиве, т/м³; μ_s — показатель соотношения

потерь и разубоживания руды на оптимальном контуре выемки, обеспечивающий выполнение условия [4, 5]:

$$\mu_s = \frac{C_d + C_o + C_{m.p}(\frac{C_{v.m}}{C_o}) - C_{v.m}M_c}{C_oM_c - C_{тов}} \times \frac{Y_n}{Y_p}. \quad (4)$$

Статистический метод применим для «обособленных» потерь и разубоживания руды, зависящих от исполнения технологических процессов добычи. Расчет в этом случае выполняют по результатам экспериментальных работ и статистической обработки данных в зависимости от технически достижимых уровней потерь и разубоживания руды при ведении соответствующих процессов очистной выемки. Возможен также прямой расчет уровней потерь руды в соответствии с техническими характеристиками оборудования.

Например, установлена зависимость величины потерь полезного ископаемого в отбитом виде на почве очистных выработок и выработанного пространства (ПЗ, т) от габаритов оборудования, применяемого на отгрузке отбитого полезного ископаемого:

$$ПЗ = \frac{0,017b_{пк}(0,5L_{пдм} - 0,5)^{0,05}L_{уч}Y_p}{(1 + \rho)K_p}, \quad (5)$$

где $b_{пк}$ — ширина почвы выработки, м; $L_{уч}$ — длина выработки, м; K_p — коэффициент разрыхления отбитой руды; ρ — коэффициент разубоживания руды в отбитом виде.

По результатам проведенных исследований разработано и введено в действие на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» более 30 документов для нормирования показателей извлечения всех типов руд и применяемых систем разработки, в том числе при перспективном планировании горных работ. Разработаны компьютерные программы для расчетов показателей извлечения, в том числе по экономико-математическому моделированию систем разработки для условий Талнахского и Октябрьского месторождений, что позволяет автоматизировать расчетную часть сложного, многофакторного процесса нормирования показателей извлечения руды из недр, при котором необходимо учитывать многообразие горно-геологических факторов, систем и технологий разработки, их конструктивных параметров.

Библиографический список

1. РТПП-054-2010. Регламент технологических производственных процессов контроля и приведения горных выработок в безопасное

состояние от отделения кусков горной массы (заколов) в подразделениях ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». — Норильск, 2010. — 19 с.

2. *Опарин В. Н.* и др. Современное состояние, проблемы и стратегия развития горного производства на рудниках Норильска. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. — 372 с.
3. РТПП-009-2004. Регламент технологических производственных процессов по применению слоевой системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими материалами и расположением очистных выработок в защищенных зонах при выемке сульфидных руд на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». — Норильск, 2005. — 107 с.
4. *Подкуйко Н. В., Вохмин С. А., Требуш Ю. П., Курчин Г. С., Майоров Е. С.* Особенности нормирования потерь и разубоживания при отработке богатых руд второй южной линзы шахты «Маяк» рудника «Комсомольский» // *Маркшейдерский вестник*. 2014. № 5. С. 34–40.
5. *Вохмин С. А., Загиров Н. Х., Требуш Ю. П., Курчин Г. С.* Методические основы нормирования показателей извлечения из недр при отработке рудных и нерудных месторождений подземным способом // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2010. № 2. С. 10–15.
6. *Вохмин С. А., Требуш Ю. П., Курчин Г. С., Майоров Е. С.* Научно-практическое обеспечение полноты извлечения из недр медистых и вкрапленных руд камерными системами при разработке месторождений Талнахского рудного узла // *Науч.-практич. конф. «Геодинамика и современные технологии отработки удароопасных месторождений»* : сб. тр. — Норильск, 2012. С. 70–76.
7. *Вохмин С. А., Требуш Ю. П., Курчин Г. С., Майоров Е. С.* Нормирование показателей извлечения из недр при одновременной отработке запасов // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 2. URL : <http://www.science-education.ru/102-5992> (дата обращения: 17.04.2015). **ГЖ**

*Анохин Александр Геннадьевич,
тел.: +7 (3919) 45-21-57
Подкуйко Николай Владимирович,
тел.: +7 (3919) 24-60-68
Вохмин Сергей Антонович,
Требуш Юрий Прокопьевич:
тел.: +7 (391) 206-36-11*

«GORNII ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 6, pp. 55–59	
Title	Rating of copper–nickel ore loss and dilution in cut-and-fill stoping at the Talnakh and Oktyabrsky deposits
DOI	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.11
Author 1	Name & Surname: Anokhin A. G.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Director, Center for Geodynamic Safety
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: phone: + 7 (3919) 45-21-57
Author 2	Name & Surname: Podkuiko N. V.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Principal Surveyor, Director, Surveying Center
Author 3	Name & Surname: Vokhmin S. A.
	Company: Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
	Work Position: Head of Mine and Underground Construction Department
	Scientific Degree: Professor, Candidate of Engineering Sciences
Author 4	Name & Surname: Trebush Yu. P.
	Company: Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
	Work Position: Assistant Professor, Mine and Underground Construction Department
Abstract	<p>The authors highly appreciate contribution of V. V. Tsatskin, Deputy Director, M. S. Filippov, Chief Expert, Surveying Center, Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”, and G. S. Kurchin, Assistant Professor, Mine and Underground Construction Department, Candidate of Engineering Sciences.</p> <p>The authors discuss investigation and the related procedure for rating of copper–nickel ore loss and dilution in ore mining by slicing and room-and-pillar methods with self-propelled equipment and solidifying backfill.</p> <p>The analysis of the structural elements of the mining methods and technologies, morphology of interfaces of ore bodies, enclosing rocks and filling masses allowed elaborating and setting forward: classification of sources, places and types of operational loss and ore dilution; methodical approach to estimation and rating of ore loss and dilution; identification algorithm for types of activity and sequence of performance. Considering interconnection of ore loss and dilution, the article describes the method of what-if analysis and the statistical approach to optimization of ore loss/dilution ratio based on the criterion of maximum profit per 1 t of mined and processed ore.</p> <p>Based on the research results, more than 30 guiding documents have been prepared and put in force for rating of any type ore loss and dilution, and the employed mining methods and technologies in the mines of the Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”.</p>
Keywords	Copper–nickel ore, methods of mining with backfilling, slicing and room-and-pillar mining, morphology of interfaces, technology and equipment, places and sources of loss and dilution, rating procedure and algorithm, optimization.
References	<ol style="list-style-type: none"> 1. RTPP-054-2010. <i>Reglament tekhnologicheskikh proizvodstvennykh protsessov kontrolya i privedeniya gornykh vyrabotok v bezopasnoe sostoyanie ot otdeleniya kuskov gornoy massy (zakolov) v podrazdeleniyakh Zapolyarnogo Filiala Otkrytogo Aktsionernogo Obshchestva «Gorno-Metallurgicheskii Kombinat «Norilskiy nikel»</i> (RTPP-054-2010. Regulations of technological industrial processes of control and bringing of mine workings to the safe state from mine run lumps (fishweirs) separation in subdivisions of Polar Division of MMC «Norilsk Nickel»). Norilsk, 2010. 19 p. (in Russian) 2. Oparin V. N. et al. <i>Sovremennoe sostoyanie, problemy i strategiya razvitiya gornogo proizvodstva na rudnikakh Norilsk</i> (Modern state, issues and development strategy of mining on Norilsk mines). Novosibirsk : Publishing House of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2008. 372 p. 3. RTPP-009-2004. <i>Reglament tekhnologicheskikh proizvodstvennykh protsessov po primeneniyu sloevoy sistemy razrabotki s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva tverdeyushchimi materialami i raspolozheniem ochistnykh vyrabotok v zashchishchennykh zonakh pri vyemke sulfidnykh rud na rudnikakh Zapolyarnogo Filiala Otkrytogo Aktsionernogo Obshchestva «Gorno-Metallurgicheskii Kombinat «Norilskiy nikel»</i> (RTPP-009-2004. Regulations of technological industrial processes for application of layer mining method with hardening material stowing and stope location in protected areas during sulfide ore excavation on mines of Polar Division of MMC «Norilsk Nickel»). Norilsk, 2005. 107 p. (in Russian) 4. Podkuiko N. V., Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S. Osobennosti normirovaniya poter i razubozhivaniya pri otrabotke bogatykh rud vtoroy yuzhnoy linzy shakhty «Mayak» rudnika «Komsomolskiy» (Peculiarities of losses' regulation and impoverishment during rich ore mining on Mayak mine second southern lens (Komsomolskiy mine)). <i>Marksheyderskiy vestnik = Mine surveyor bulletin</i>. 2014. No. 5. pp. 34–40. 5. Vokhmin S. A., Zagirov N. Kh., Trebush Yu. P., Kurchin G. S. Metodicheskie osnovy normirovaniya pokazateley izvlecheniya iz nedr pri otrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom (Methodical basis of regulation of indicators of extraction from subsoils during underground mining of ore and non-metallic deposits). <i>Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University</i>. 2010. No. 2. pp. 10–15. 6. Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S. Nauchno-prakticheskoe obespechenie polnoty izvlecheniya iz nedr medistykh i vkraplennykh rud kamernymi sistemami pri razrabotke mestorozhdeniy Talnakhskogo rudnogo uzla (Scientific-practical provision of completeness of extraction from subsoils of cupriferous and inclined ores by chamber systems during Talnakh ore cluster deposit mining). <i>Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Geodinamika i sovremennye tekhnologii otrabotki udaroopasnykh mestorozhdeniy» : sbornik trudov</i> (Scientific-practical conference «Geodynamics and modern technologies of bump-hazard deposit mining» : collection of proceedings). Norilsk, 2012. pp. 70–76. 7. Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S. Normirovanie pokazateley izvlecheniya iz nedr pri raznovremennoy otrabotke zapasov (Regulation of indicators of extraction from subsoils during regular mining of reserves). <i>Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education</i>. 2012. No. 2. Available at : http://www.science-education.ru/102-5992 (accessed: April 17, 2015).