ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(8):82-92
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.646: 622.795.2 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_82

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ВНУТРИРУДНИЧНОЙ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ РУДЫ БУНКЕРА ЩЕЛЕВОГО ТИПА

Н.А. Туртыгина

Норильский государственный индустриальный институт, Норильск, Россия,
e-mail: natyrtigina@mail.ru

Аннотация: Актуальность работы определяется ухудшением рудо-сырьевой базы горнодобывающих предприятий Норильска, что приводит к снижению качества добытых руд и требует решения этой проблемы на перспективу. Один из перспективных методов решения проблемы – повышение стабильности вещественного состава добытой рудной массы путем применения в технологической схеме рудника специальных горнотехнических средств, обеспечивающих снижение изменчивости качества продукции рудника. Идея работы заключается в том, что подземный рудник рассматривается как горнотехническая система, способная преобразовать рудную массу с низкими и неустойчивыми характеристиками в руду повышенного качества и стабильного состава. Отражены характерные достоинства и недостатки современных горнотехнических средств для стабилизации качества руд при их добыче. Представлена конструкция бункера щелевого типа, который рассматривается как главный рудничный смеситель предконцентрата при реконструкции сортировочно-перегрузочного комплекса в процессе рентгенорадиометрической сепарации в сортировочно-смесительный комплекс. В связи с вероятностью гранулометрической сегрегации руд высотные параметры бункера уменьшены и рассмотрены два наиболее эффективных режима функционирования специального горнотехнического средства. Показано, что подземное горнодобывающее производство имеет значительные резервы для существенного повышения качества своей продукции. При формировании качества руды в технологической схеме подземных рудников наряду с повышением концентрации металлов может результативно решаться вопрос стабилизация ее качества. Уменьшение среднеквадратичного отклонения содержания контролируемого компонента в рудной массе снижает изменчивость содержания полезных компонентов в рудопотоке и улучшает уровень извлечения металлов в концентрат, увеличивая тем самым выход концентрата. Возможность включения в технологическую схему внутрирудничной предконцентрации бункера щелевого типа позволит повысить показатели стабильности состава добытых медно-никелевых руд на выходе из рудника, а соответственно и показатели эффективности перерабатывающих производств в 2 раза и более.

Ключевые слова: рудник, рудничный смеситель, способы стабилизации, гранулометрическая сегрегация, бункер, повышение качества, сепаратор, внутрирудничная предконцентрация, технологическая схема.

Для цитирования: *Туртыгина Н. А.* Возможность применения в технологической схеме внутрирудничной предконцентрации руды бункера щелевого типа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 8. – С. 82–92. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_82.

© Н.А. Туртыгина. 2021.

Adaptability of slot bin to in-situ ore pre-concentration flow chart

N.A. Turtygina

Norilsk State Industrial Institute, Norilsk, Russia, e-mail: natyrtigina@mail.ru

Abstract: The relevance of this study is governed by degradation of mineral resources and reserves in Norilsk mines. This leads to deterioration of quality of the ore products, which calls for the problem solution for the future. A promising method is to improve stability of produced ore material constitution by adding the process flow chart of the mine with special engineering facilities capable to reduce the product quality variability. The idea is that an underground mine is assumed as a geotechnical system able to convert ore of low and unstable grade into higher quality products with stable composition. The article describes advantages and disadvantages of modern geotechnical facilities meant for ore quality stabilization during mining. A slot bin is considered as a main mine mixer of ore pre-concentrate when a sorting-and-handling system is modified into a sorting-and-mixing system in the process of X-ray radiometric separation. Because of potential granulometric segregation of ore, the bin height is decreased, and two most efficient modes of the bin functioning are discussed. An underground mine has a huge potential to improve the product quality. An in-situ process flow chart can effectively generate and stabilize ore product quality at increased concentration of metals. For instance, reduction in standard deviation of reference component content reduces variability of contents of useful components in ore flow and improves recovery of metals in concentrate, which finally increases the concentrate yield. Addition of the in-situ ore pre-concentration flow chart with a slot bin can improve stability of the copper–nickel ore composition at the mine outlet and, consequently, can enhance processing efficiency by 2 times and more.

Key words: mine, mine mixer, stabilization methods, granulometric segregation, bin, quality improvement, separator, in-situ ore pre-concentration, process flow chart.

For citation: Turtygina N. A. Adaptability of slot bin to in-situ ore pre-concentration flow chart. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(8):82-92. [InRuss]. DOI:10.25018/0236_1493_2021_8_0_82.

Введение

Актуальность работы определяется необходимостью стабилизации состава добытых руд для улучшения технологических и экономических показателей их переработки и повышения полноты извлечения запасов из недр. В настоящее время произошло общее значительное снижение качества запасов руд во всех норильских месторождениях, что требует принятия кардинальных мер по их эксплуатации с созданием условий для более рациональной разработки.

В условиях обеднения запасов рудосырьевой базы горнодобывающих предприятий Норильска естественным образом происходит снижение качественных показателей в процессе добычи, что впоследствии приводит к формированию значительных колебаний содержания полезных компонентов в рудопотоке «рудник — обогатительная фабрика». В настоящее время проблему дестабилизации качества добытого минерального сырья решают через модернизацию рудников, целью которой является повысить стабилизационную способность горнорудных предприятий за счет применения различных методов управления [1, 2]. Все эти методы

делятся на три группы: разделительные (сепарационные), смесительные (усреднительно-стабилизационные) и прочие [3, с. 37]. При этом выделяются основные способы воздействий на процесс стабилизации: организационные и производственно-технологические, которые направлены в основном на усреднение руды, а технические и технологические действия в основном связаны с механическим смешиванием разнокачественных объемов рудной массы. Например, планирование горных работ направлено на формирование заданного среднего уровня показателя качества рудной массы в объемах добычи. В свою очередь горнотехнические смесители, представляющие собой рудоспуски, штабели, од-

Достоинства и недостатки поверхностных и подземных специальных горнотехнических средств (рудничных смесителей)
Advantages and disadvantages of special-purpose surface and underground geotechnical facilities (mixers)

Наименование поверхностных и подземных специальных горно-технических средств	
подземные бункеры	**штабель**
Достоинства	
– широкие возможности использования сил гравитации впоследствии позволят значительно уменьшить энергоемкость процесса, а также использовать (вместо экскаваторов и бульдозеров) относительно недорогое вибропогрузочное оборудование; – нет необходимости в земельных участках и территории для проведения строительных работ на земной поверхности, и поэтому сокращаются затраты на землепользование; – отсутствует необходимость в борьбе с промерзанием добытой руды; – существенно меньшее воздействие на природную среду.	– простота конструкции горнотехнического средства позволяет обеспечить невысокие капитальные затраты; – ресурсы изменения параметров штабеля, а именно увеличения площади и уменьшения высоты насыпи для повышения степени смешения рудной массы. Например, в случае проявления гранулометрической сегрегации рудной массы; – возможность применения усреднительных машин, позволяющих повысить степень смешивания мелкокусковатой добытой руды.
Недостатки	
относительно высокие затраты на строительство рудничного смесителя; – в результате постоянства параметров бункеров усложняются условия нейтрализации гранулометрической сегрегации. В этом случае необходимо изначально создавать соответствующую конструкцию.	возникает потребность в мощном штабелеобразующем и погрузочном оборудовании (экскаваторы, отвалообразователи, бульдозеры, грейдеры, усреднительные машины), а также вспомогательных сооружениях (эстакады, перекрытия, системы орошения от промерзания и др.); – необходимость иметь большие земельные участки, что с повышением платежей за землепользование становится все более значимым фактором; – существенное негативное воздействие на природную среду; – необходимость борьбы с промерзанием добытой руды, которое приводит к снижению смесительной способности штабелей.

нобункерные или многобункерные подземные и поверхностные сооружения, имеющие специальные конструкции и оснащенные дополнительным оборудованием с применением программного управления, обеспечивают смешивание единичных объемов рудной массы для достижения равномерного распределения в рудопотоке. Горнотехнические смесители делятся на бункерные и штабельные, и для каждого из них характерны свои достоинства и недостатки (таблица).

Результаты и их обсуждение

При анализе представленных достоинств и недостатков формируется понимание, что для подземных рудников бункерный способ по большей части предпочтительнее, а сам процесс стабилизации состава рудной массы для рудника достаточно технологичен. С другой точки зрения, при наличии соответствующих условий штабельный способ, который имеет ряд немаловажных достоинств, также может рассматриваться как альтернативный или дополнительный к подземному бункерному способу. В определенных условиях процессу смешения рудной массы противодействует явление гранулометрической сегрегации, при которой происходит разделение рудной массы в навале по крупности кусков и концентрации полезных компонентов. В случае, когда руда бункеруется после механического дробления, проявление явления сегрегации существенно нейтрализуется, т.к. разница в размерах кусков рудной массы нивелируется. В результате действия этого явления традиционные процессы стабилизации состава рудной массы при ее штабелевании и бункеризации существенно усложняются, что требует разработки иных технологических решений. Вместе с тем наличие явления гранулометрической сегрегации рудной массы способствует сепарационным технологиям и повышению результативности управления качеством руд.

«Одним из современных способов стабилизации качества руды при подземной добыче является предконцентрация, которая представляет собой производственный процесс отделения от исходной рудной массы части пустых пород или некондиционного ископаемого, в результате чего в получаемом продукте повышается содержание полезных компонентов» [4, с. 3]. По сути, технология внутрирудничной предконцентрации, как и процесс обогащения рудной массы, позволяет повысить концентрацию полезных компонентов в добытых рудах за счет применения дробильно-сортировочных операций в ходе переработки полезных ископаемых на обогатительной фабрике. При внутрирудничной предконцентрации горная масса проходит процессы дробления, грохочения и сортировки. При выборе и включении сепаратора в технологическую схему внутрирудничной предконцентрации рудной массы необходимо учитывать, что только рентгенорадиометрическая сепарация узких классов добытых руд может обеспечить эффективную предконцентрацию.

Один из вариантов технологической схемы внутрирудничной предконцентрации с использованием рентгенорадиометрических сепараторов представлен на рис. 1. В состав схемы, кроме сепараторов, входит приемный бункер руды и дробилка, а также питатель, который подает рудную массу на конвейер для транспортировки и выгрузки руды с целью ее грохочения и сортировки по классу крупности. В этой связи в зависимости от выбранного типа сепаратора (СРФ-4-50, СРФ-4-150, СРФ-2-300) надрешетный продукт определенного класса крупности с грохота поступает в бункер сепаратора (предконцентрата),

конструкция которого традиционно имеет высотную (силосную) форму (узел А). В свою очередь подрешетный, т.е. не сортируемый класс руды, и отходы (хвосты) предконцентрации выводятся из технологического процесса рентгенорадиометрической сепарации [5, 6]. Исходя из установленных кондиций на содержание металлов в добытых рудах отсеянный подрешетный класс руды, может быть отправлен на обогатительную фабрику или подмешан в другой рудопоток для контрастности с целью включения его в следующую стадию рентгенорадиометрической сепарации и т.п.

В мировой практике известны примеры размещения мини обогатительных фабрик в условиях подземного рудника. Однако в процессе эксплуатации обогатительного производства в горных выработках действующего рудника проявляются как преимущества, так и недостатки по сравнению с традиционными технологиями переработки. Прежде всего, стоит отметить, что размещение сепарационных комплексов на промплощадке подземного рудника неизбежно ведет к снижению сквозного извлечения металлов из рудной массы в предконцетрат. В этой связи пункты рентгенорадиометрической сепарации следует размещать внутри горнодобывающего предприятия. При адаптации технологии предконцентрации добытых руд к условиям подземного рудника отходы предконцентрации, например, можно складировать в выработанном пространстве, использовать как дополнительный материал в качестве закладки или подмешивать с целью подбора шихты и т.д. [7, 8].

В целом бункер — это емкость для хранения и самотечной разгрузки сыпучих материалов, характеризующиеся меньшими размерами вертикальной части по отношению к их максимальному размеру в плане. По форме бункеры делятся на три типа: прямоугольные, круглые и корытообразные. К прямоугольному типу относятся пирамидальные и обелисковые. Следующая группа бункеров, которая относится к типу круглых, — это конические и цилиндроконические (в том числе силосы). Односкатные треугольные, односкатные трачные, параболические, комбинированные трапецеидальные и У-образные представляют тип корытообразных бункеров [9—11].

В бункере процесс смешения происходит с максимальным использованием сил гравитации, что делает его наименее энергозатратным средством стабилизации [12]. В результате физического и компьютерного моделирования процесса выпуска рудной массы были установлены корреляционные зависимости, которые позволяют утверждать, что механизм сегрегации рудной массы зависит не только от ее гранулометрического состава, но и от параметров руднично смесителя [13]. Установлено, что с уменьшением значения сопротивления истечению руды увеличивается диаметр эллипсоиды выпуска рудной массы. Следовательно, для максимального равномерного распределения среднего содержания полезного компонента в рудопотоке на руднике необходимо иметь бункер с наличием нескольких выпускных отверстий, обеспечивающий широкий «площадной» выпуск рудной массы [14]. Согласно установленной зависимости для весьма уплотненных руд характерны высокие значения коэффициента сопротивления истечению при выпуске рудной массы. В свою очередь, незначительно уплотненным рудам соответствуют невысокие значения сопротивления истечению и более широкий «площадной» объем эллипсоида выпуска рудной массы [15, с. 155].

Основные факторы, от которых зависит продуктивность смешивания разнокачественных сыпучих масс, следующие: площадь контакта слоев разнокачест-

венных руд; толщина слоев разнокачественных руд; высота падения кусков рудной массы в смесительную емкость; крупность кусков рудной массы; взаимный порядок заполнения и выгрузки из смесительной емкости. Площадь контакта слоев связана обратной зависимостью с толщиной слоев — чем больше площадь, тем может быть тоньше каждый слой разнокачественной рудной массы, и большее количество этих слоев можно будет разместить в бункере. Для обеспечения первых двух требований необходимо изменить традиционную конструкцию бункеров, обычно имеющих высотную (силосную) форму, на относительно вытянутую в плане.

Предложения по практическому применению

В результате возникнет необходимость в разработке конструкции рудничного горнотехнического смесительного средства, бункера щелевого типа (рис. 2). Конструкция представленного смесителя создает возможность для более эффективного смешения рудной массы, чем бункеры силосного типа, поскольку в нем значительно выше площадь соприкосновения разнокачественных слоев за счет увеличенной поверхности горизонтального сечения. В связи с вероятностью гранулометрической сегрегации высотные параметры бункера уменьшены до 5...7 м, а ширина — до 3...

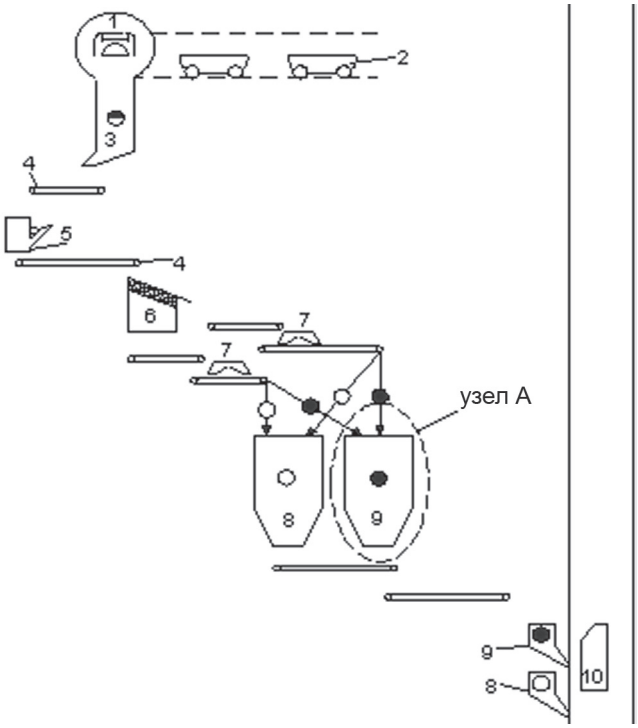

Рис. 1. Схема технологического процесса внутрирудничной предконцентрации рудной массы с применением сортировочно-перегрузочного комплекса (узел А) в околоствольном дворе: 1 — опрокидыватель; 2 — вагон; 3 — бункер рудной массы; 4 — питатель; 5 — дробилка; 6 — виброгрохот с бункером; 7 — сепаратор; 8 — бункер отходов предконцентрата; 9 — бункер (силос) для предконцентрата; 10 — скип

Fig. 1. Process flow chart of in-situ ore pre-concentration with sorting-and-handling system (assembly A) at shaft station: 1 — tilter; 2 — car; 3 — ore bin; 4 — feeder; 5 — crusher; 6 — vibro-screen with bin; 7 — separator; 8 — pre-concentration waste bin; 9 — pre-concentrate bin; 10 — skip

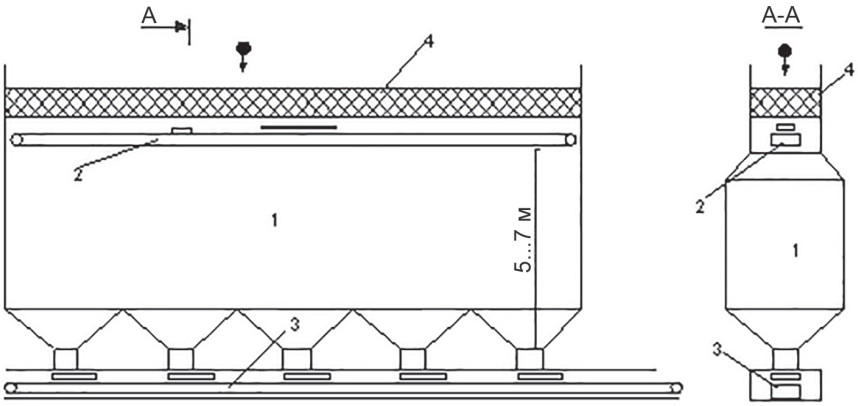

Рис. 2. Бункер щелевого типа для смешивания предконцетрата: 1 — емкостное пространство бункера; 2 — загрузочный конвейер; 3 — разгрузочный конвейер; 4 — виброгрохот

Fig. 2. Slot bin for pre-concentrate mixing: 1 — internal capacity of bin; 2 — loading conveyor; 3 — unloading conveyor; 4 — vibro-screen

...4 м. Длина бункера составляет 30 м. Для выпуска рудной массы из бункера, в его днище создаются выпускные окна, оборудуемые ленточными питателями.

Режим работы смесителя определяется порядком заполнения бункера рудной массой и выгрузки из него сыпучей рудной массы. Рассмотрены два наиболее эффективных способа работы бункера-смесителя (рис. 3): с загрузкой наклонными слоями руды и последовательным односторонним ее выпуском и

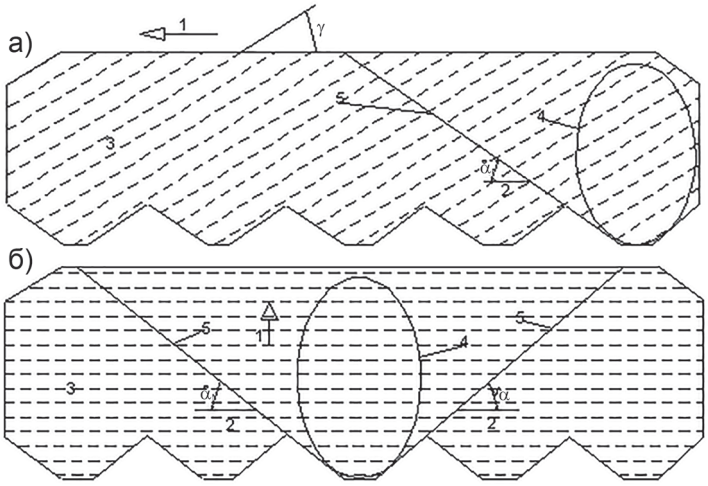

Рис. 3. Режим работы смесителя — бункера щелевого типа: с наклонной загрузкой слоев руды (а); с отсыпкой горизонтальными слоями (б): 1 — слои, образуемые при загрузке руды в бункер; 2 — слои, образуемые при выпуске руды из бункера; 3 — слои разнокачественной руды; 4 — форма выпуска разнокачественных слоев руды; 5 — линия направления выпуска разнокачественных слоев руды; α — углы наклона разнокачественных слоев рудной массы; γ — угол откоса воронки выпуска

Fig. 3. Slot bin operation: slant loading of ore (a); horizontal spreading (b): 1 — layers formed in ore loading in bin; 2 — layers formed in ore unloading from bin; 3 — layers of different-quality ore; 4–forms of discharge of different-quality ore layers; 5 — direction line of discharge of different-quality ore layers; α — tilt angle of discharge of different-quality ore layers; γ — angle of discharge cone

с отсыпкой горизонтальными слоями и двухсторонним выпуском руды. При этом необходимо, чтобы направления угла наклона разнокачественных слоев рудной массы максимально различались с углом откоса воронки выпуска, приближаясь к 90°.

С учетом выполненных выше исследований и технических проработок в целях повышения стабильности состава рудного сырья предлагается выполнить реконструкцию сортировочно-перегрузочного комплекса (рис. 1) в технологической линии внутрирудничной предконцентрации руд в сортировочно-смесительный комплекс (рис. 4).

В сортировочно-смесительный комплекс технологической схемы внутрирудничной предконцентрации включен бункер — смеситель щелевого типа (узел Б).

Заключение

Предлагаемое системное решение актуальной задачи стабилизации состава добытых руд включает комплекс технических, технологических и организационных мероприятий, направленных на повышение полноты извлечения запасов недр. Результаты численного моделирования процесса предконцентрации в условиях подземного рудника «Запо-

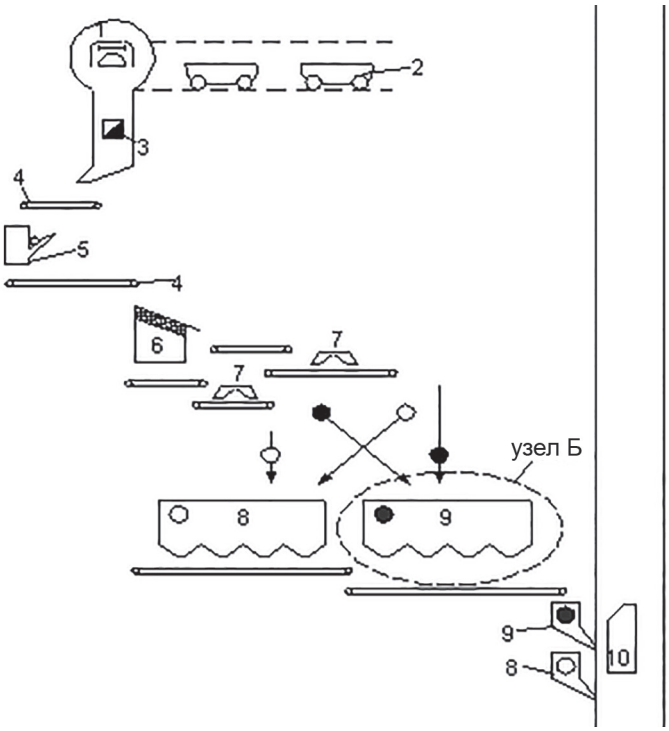

Рис. 4. Предлагаемая реконструкция сортировочно-перегрузочного комплекса в технологической линии внутрирудничной предконцентрации рудной массы в сортировочно-смесительный комплекс (узел Б): 1 — опрокидыватель; 2 — вагон; 3 — бункер рудной массы; 4 — питатель; 5 — дробилка; 6 — виброгрохот с бункером; 7 — сепаратор; 8 — бункер отходов предконцентрата; 9 — бункер-смеситель щелевого типа для предконцентрата рудной массы; 10 — скип

Fig. 4. Proposed redesign of sorting-and-handling system into sorting-and-mixing system (assembly B) in process flow chart of in-situ ore pre-concentration: 1 — tilter; 2 — car; 3 — ore bin; 4 — feeder; 5–crusher; 6 — vibro-screen with bin; 7 — separator; 8 — pre-concentration waste bin; 9 — pre-concentrate slot bin; 10 — skip

лярный» позволяют утверждать, что реализация покусковой сепарации обеспечивает повышение качества полезного продукта (предконцентрата) относительно исходного более чем на 30%, тем самым снижая изменчивость содержания металлов с 0,1 до 0,01% в рудной массе крупностью до 300 мм. Изменение качественной однородности добытой руды улучшает степень извлечения никеля в концентрат с 65 до 78% и увеличивает выход концентрата с 5 до 10%, т.е. в 2 раза. В целом по данному участку технологической схемы ожидаемое значение коэффициента усреднения $K_у$ в соответствии со шкалой укрупненной оценки смесительной способности производственных процессов, горнотехнических сооружений и технических средств для многобункерного смесительного сооружения составляет от 2,2 до 2,5, а при мелкодробленой рудной массы — от 2,5 до 5.

В результате реконструкции подземный рудник можно рассматривать как эффективную горнотехническую систему для стабилизации качества вещественного состава рудо-минерального сырья и повышения показателей эффективности перерабатывающих производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Matthews T.* Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations / Mining: Navigating the Global Waters: 2015 SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference. Denver, United States, 15–18 February 2015. Pp. 529–532.

2. *Fowler A. C.*, *Scheu B. A.* Theoretical explanation of grain size distributions in explosive rock fragmentation // Proceedings of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2016, vol. 472, no. 2190. DOI: 10.1098/rspa.2015.0843.

3. *Ломоносов Г. Г.*, *Туртыгина Н. А.* Явление сегрегации рудной массы и его влияние на формирование качества продукции горнорудного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 6. — С. 37–40.

4. *Туртыгина Н. А.*, *Охрименко А. В.* Показатели численного моделирования технологии внутрирудничной предконцентрации рудной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — СВ 15. — С. 3–12. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-15-3-12.

5. *Кожиев Х. Х.*, Научное и технологическое обоснование системы управления качеством руд при подземной добыче: Автореферат дис. доктора технических наук. — М.: МГИ, 2006. — 46 с.

6. *Терещенко С. В.*, *Павлишина Д. Н.* Рентгенолюминесцентная сепарация бедных апатитсодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 11. — С. 130 — 137. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-130-137.

7. *Качуренко В. В.*, *Банников Д. О.* Конструктивные решения стальных емкостей для сыпучих материалов. Монография. — Днепропетровск: Новая идеология, 2016. — 168 с.

8. *Cleary P. W.*, *Sawley M. L.* DEM modelling of industrial granular flows: 3D case studies and the effect of particle shape on hopper discharge // Applied Mathematical Modelling. 2002, vol. 26, no. 2, pp. 89–111. DOI: 10.1016/S0307-904X(01)00050-6.

9. *Oggeri C.*, *Oreste P.* Underground Quarrying for Marble: Stability Assessment through Modelling and Monitoring // International Journal of Mining Science. 2015, vol. 1, no. 1, pp. 35–42.

10. *Calas G.* Mineral Resources and Sustainability Development // Elements. 2017, vol. 13, no. 5, pp. 301–306.

11. *Лаптев В. В.* Численное моделирование потока раздробленной горной массы в процессе выпуска руды с использованием программы ROCKY DEM // Вестник МГТУ. — 2019. — Т. 22. — № 1. — С. 149–157. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-149-157.

12. *Ломоносов Г. Г.* Улучшение качества продукции горнодобывающего производства как фактор повышения эффективности российского горноперерабатывающего комплекса // Рациональное освоение недр. — 2015. — № 2. — С. 51–61.

13. *Кабелко С. С.*, *Дунаев В. А.*, *Герасимов А. В.* Компьютерная технология прогнозной оценки показателей выпуска руды при разработке месторождений системами с обрушением руды и породы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2018. — № 8. — С. 54—61.

14. *Юн Ю. А.*, *Есина Е. Н.*, *Рыльников А. Г.*, *Гаджиева Л. А.* Обоснование параметров рудничной сепарации рудничной массы при разработке медных месторождений Жезказганского региона // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2019. — № 3. — С. 203—212.

15. *Туртыгина Н. А.* Моделирование процесса смешивания при выпуске рудной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 146—159. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-146-159. ГИАБ

REFERENCES

1. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations. *Mining: Navigating the Global Waters: 2015 SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference*. Denver, United States, 15–18 February 2015. Pp. 529–532.

2. Fowler A. C., Scheu B. A. Theoretical explanation of grain size distributions in explosive rock fragmentation. *Proceedings of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2016, vol. 472, no. 2190. DOI: 10.1098/rspa.2015.0843.

3. Lomonosov G. G., Turtygina N. A. The phenomenon of ore mass segregation and its influence on the formation of the quality of mining products. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 6, pp. 37–40. [In Russ].

4. Turtygina N. A., Okhrimenko A. V. Indicators of numerical modeling of the technology of intra-ore preconcentration of ore mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. Special edition 15, pp. 3–12. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-15-3-12.

5. Kozhiev Kh. Kh., *Nauchnoe i tekhnologicheskoe obosnovanie sistemy upravleniya kachestvom rud pri podzemnoy dobyche* [Scientific and technological substantiation of the ore quality management system for underground mining], Doctor's thesis, Moscow, MGI, 2006, 46 p.

6. Tereshchenko S. V., Pavlishina D. N. X-ray luminescence separation of poor apatite-containing ores. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 11, pp. 130—137. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-130-137.

7. Kachurenko V. V., Bannikov D. O. Konstruktivnye resheniya stal'nykh emkostey dlya sypuchikh materialov. Monografiya [Constructive solutions of steel containers for bulk materials. Monograph], Dnepropetrovsk, Novaya ideologiya, 2016, 168 p.

8. Cleary P. W., Sawley M. L. DEM modelling of industrial granular flows: 3D case studies and the effect of particle shape on hopper discharge. *Applied Mathematical Modelling*. 2002, vol. 26, no. 2, pp. 89–111. DOI: 10.1016/S0307-904X(01)00050-6.

9. Oggeri C., Oreste P. Underground Quarrying for Marble: Stability Assessment through Modelling and Monitoring. *International Journal of Mining Science*. 2015, vol. 1, no. 1, pp. 35–42.

10. Calas G. Mineral Resources and Sustainability Development. *Elements*. 2017, vol. 13, no. 5, pp. 301–306.

11. Laptev V. V. Numerical modeling of the flow of crushed rock mass in the process of ore extraction using the ROCKY DEM program. *Vestnik Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2019, vol. 22, no. 1, pp. 149–157. [In Russ]. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-149-157.

12. Lomonosov G. G. Improving the quality of mining production as a factor in increasing the efficiency of the Russian mining complex. *Ratsionalnoe osvoenie nedr*. 2015, no. 2, pp. 51–61. [In Russ].

13. Kabelko S. S., Dunaev V. A., Gerasimov A. V. Computer technology for predictive assessment of ore output indicators during the development of deposits by systems with ore and rock caving. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2018, no. 8, pp. 54—61. [In Russ].

14. Yun Yu.A., Esina E. N., Rilnikov A. G., Gadzhieva L. A. Substantiation of the parameters of the mine separation of the mine mass in the development of copper

deposits of the Zhezkazgan region. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2019, no. 3, pp. 203—212. [In Russ].

15. Turtygina N.A. Simulation of intermixing in ore drawing process. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 146—159. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-146-159.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Туртыгина Наталья Александровна — канд. техн. наук, доцент,
Норильский государственный индустриальный институт,
e-mail: natyrtigina@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

N.A. Turtygina, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Norilsk State Industrial Institute, 663310, Norilsk, Russia, e-mail: natyrtigina@mail.ru.

Получена редакцией 28.01.2020 получена после рецензии 03.06.2021. принята к печати 10.07.2021.
Received by the editors 28.01.2020. received after the review 03.06.2021. accepted for printing 10.07.2021.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ГОСУДАРСТВЕННОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ «ПРЕДПРИЯТИЕ ЭРДЭНЭТ»

(2021, № 3, СВ 6, 16 с.)

Уурийнтуяа Доржсрэн — заместитель Генерального директора ПГС «Предприятие Эрдэнэт» по вопросам финансов и экономики, e-mail: uuriintuya_d@erdenetmc.mn,
Пурэв Б. — доктор, профессор, Институт экономики и бизнеса Университета сельского хозяйства, e-mail: prv03@yahoo.com.

Проведено изучение взаимосвязи между производительностью и эффективностью ПГС «Эрдэнэт», определены перспективы производства. Изучено текущее состояние предприятия «Эрдэнэт», производительность предприятия была измерена по показателям и индексу, рассчитаны рентабельность, технологическая и экономическая эффективность предприятия, определены пути повышения эффективности. Выдвинута гипотеза о том, что индексы Мальмквиста и Торнквиста способны выразить параметры производительности и эффективности, а модель Хабберта может быть использована для определения срока эксплуатации добывающего предприятия и срока использования запасов.

Ключевые слова: состав, выход, производительность, эффективность.

PRODUCTIVITY STUDY AT «ERDENET MINING CORPORATION» SOE

D. Uuriintuya, Deputy General Director for Finance and Economy, PGS «Enterprise Aerdenet»,
B. Purev, Doctor, Professor, School of Economics and Business, University of Agriculture.

The study of the relationship between the productivity and efficiency of the «Erdenet» PGS was carried out, the production prospects were determined. The current state of the enterprise «Erdenet» was studied, the productivity of the enterprise was measured by indicators and an index, profitability, technological and economic efficiency of the enterprise were calculated, ways to improve efficiency were determined. The hypothesis is put forward that the Malmquist and Tornquist indices are able to express the parameters of productivity and efficiency, and the Hubbert model can be used to determine the life of a mining enterprise and the use of reserves.

Key words: Input, output, productivity, efficiency.