

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.271
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-2-23-30



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, ВЫДЕЛЯЕМОГО ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ РУД ПРИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИИ КОМБИНИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТОМ

Чебан А.Ю.

Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия

Аннотация. **Актуальность исследования.** Рост объемов горных работ и увеличение глубины карьеров определяют необходимость совершенствования технологических схем с переходом на комбинированные виды транспорта – автомобильно-конвейерный или автомобильно-железнодорожный. В процессе открытой разработки сложноструктурных месторождений вместе с кондиционными рудами извлекается большой объем некондиционной рудной массы, при этом в процессе взрывного рыхления руд некоторых формационных типов образуется рудная мелочь с повышенным содержанием полезного компонента, достаточным для ее рентабельной переработки. **Цель работы.** Обоснование адаптивной технологической схемы, предполагающей гибкое управление качеством минерального сырья в ходе выделения продуктивных мелких фракций из некондиционной рудной массы на усовершенствованном бункерно-экскаваторном перегрузочном пункте при ее перегрузке из автосамосвалов на железнодорожный транспорт. **Результаты.** Предлагаемая адаптивная схема с усовершенствованным перегрузочным пунктом, снабженным вибрационными грохотами-питателями и другим классификационным оборудованием, позволяет выделять продуктивные фракции рациональной крупности в зависимости от содержания металла в некондиционной рудной массе. Полученная рудная мелочь аккумулируется в накопительном бункере, а затем транспортируется на фабрику, где перерабатывается вместе с кондиционной рудой. **Выводы.** Регулирование размеров выделяемых мелких фракций позволит получать более качественное минеральное сырье в сравнении с известными технологическими решениями, а совмещение перевалки и классификации рудной массы обеспечит сравнительно небольшую себестоимость технологического процесса и быстрые сроки окупаемости затрат на модернизацию. Применение предлагаемой технологии даст возможность дополнительно направить на обогащение минеральное сырье, содержащее более 4% металла, извлекаемого из недр, и снизить отрицательную нагрузку на окружающую среду.

Ключевые слова: сложноструктурные месторождения, глубокие карьеры, некондиционная руда, автомобильно-железнодорожный транспорт, перегрузочный пункт, грохочение, продуктивные фракции

© Чебан А.Ю., 2026

Для цитирования

Чебан А.Ю. Обеспечение гибкого управления качеством минерального сырья, выделяемого из некондиционных руд при их перемещении комбинированным транспортом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №2. С. 23-30. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-23-30>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ENSURING FLEXIBLE QUALITY MANAGEMENT OF MINERAL RAW MATERIALS SEPARATED FROM SUBSTANDARD ORES DURING THEIR TRANSPORTATION BY COMBINED TRANSPORT SYSTEMS

Cheban A.Yu.

Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The growth in mining volumes and increasing pit depths necessitate the improvement of technological schemes with a transition to combined transportation systems, such as truck-conveyor and truck-rail haulage. During the open-pit mining of complex-structured deposits, a significant amount of substandard ore is extracted together with marketable ore. At the same time, blasting and fragmentation of ores of certain formation types generate fine ore fractions enriched with valuable components, the content of which is sufficient for economically viable processing. **Objectives.** The research is aimed at substantiation of an adaptive technological scheme providing flexible quality management of mineral raw materials through the separation of productive fine fractions from substandard ore mass at an upgraded hopper-excavator transfer station during its reloading from dump trucks to railway transport. **Result.** The proposed adaptive scheme, incorporating an improved transfer station equipped with vibrating grizzly feeders and other classification equipment, makes it possible to separate productive fractions of rational size depending on the metal content in the substandard ore mass. The recovered fine ore is accumulated in a storage bunker and subsequently transported to the processing plant, where it is treated together with marketable ore. **Conclusions.** Regulation of the size range of the separated fine fractions enables the production of higher-quality mineral raw materials compared with existing technological solutions. The integration of ore transfer and classification processes ensures relatively low operating costs and a short payback period for modernization investments. Application of the proposed technology makes it possible to additionally direct for beneficiation mineral raw materials containing more than 4% metal recovered from the subsurface, while also reducing the environmental impact of mining operations.

Keywords: complex-structured deposits, deep open pits, substandard ore, truck-rail transportation, transfer station, screening, productive fractions

For citation

Cheban A.Yu. Ensuring Flexible Quality Management of Mineral Raw Materials Separated from Substandard Ores During Their Transportation by Combined Transport Systems. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 21, pp. 23-30. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-23-30>

Введение

В связи увеличением потребности в металлах при одновременном снижении содержания полезного компонента в рудах масштабы ведения открытых горных работ непрерывно возрастают, увеличиваются площадь и глубина карьеров, растёт объём извлекаемой из недр горной массы, для перемещения которой используются различные виды карьерного транспорта [1-4]. Железнодорожный транспорт благодаря возможности обеспечения практически любой величины грузооборота при неограниченном расстоянии перевозок, сравнительно небольших удельных затратах на перемещение грузов, надёжности работы в различных климатических и горно-геологических условиях достаточно широко применяется на крупных горнодобывающих предприятиях. Перемещение грузов железнодорожным транспортом осуществляется на Лебединском, Соколовско-Сарбайском, Качканарском ГОКах, Алмалыкском ГМК, Коркинском разрезе и других крупных предприятиях.

Так, на руднике Кальмакыр, осуществляющем добычу медно-порфировых руд и входящем в промышленный комплекс Алмалыкского ГМК, общая протя-

женность железнодорожных путей составляет 55 км, из них 43 км – внутрикарьерные и 12 км – на отвалах, средняя дальность транспортировки вскрышных и вмещающих пород в отвалы составляет 8 км, а руды – 15 км [2]. По мере углубления карьеров эффективность применения железнодорожного транспорта снижается, поскольку попытка завести его на более глубокие горизонты требует больших затрат на ведение горнокапитальных работ для обеспечения относительно небольших уклонов пути, значительных радиусов поворота и большой протяженности фронта работ. В связи с чем, согласно концепции «переходных процессов», возникает необходимость использования на карьере комбинированного транспорта [5-8], при котором горная масса с нижних горизонтов карьера поднимается автосамосвалами к перегрузочным пунктам, а далее перемещается к месту назначения железнодорожным транспортом на значительное расстояние. Таким образом, перманентное снижение качества руд при одновременном увеличении затрат на их добычу и транспортировку требует совершенствования известных технико-технологических решений для обеспечения конкурентоспособности горного производства [9-12].

Состояние вопроса и постановка проблемы

Чаще всего на крупных глубоких карьерах используется комбинация автомобильного транспорта с конвейерным или железнодорожным [2, 13]. При использовании железнодорожного транспорта обычно создаются перегрузочные пункты, располагающиеся на уступе карьера, автосамосвал разгружается в штабель или с откоса уступа непосредственно на площадку, откуда горная масса экскаватором или погрузчиком загружается в вагоны. Данные перегрузочные пункты просты по устройству, но имеют относительно высокую себестоимость перегрузки, небольшую производительность и длительное время погрузки состава, на крупных карьерах в работе обычно находится 4-6 таких пунктов. Повысить эффективность перегрузочных работ позволяет внедрение на карьерах эстакадно-бункерных перегрузочных пунктов с применением вибропитателей, это позволяет в 2-3 раза увеличить производительность перегрузки [6, 14].

Эстакадно-бункерный перегрузочный пункт представляет собою металлоконструкцию, примыкающую к скальному уступу, на которой установлен бункер, отбойный щит, предохранительная заслонка и вибропитатели. Автосамосвалы разгружаются в бункер, откуда вибропитателями горная масса подается в думпкап, после загрузки которого подача приостанавливается, состав передвигается на требуемый шаг, и работа повторяется. Также известна схема бункерно-экскаваторного перегрузочного пункта с бункером большой емкости, загружаемым экскаватором-драглайном, зачерпывающим горную массу из приемной ямы, в которую разгружаются автосамосвалы [6], применение экскаватора-драглайна позволяет автосамосвалам вести разгрузку на более низком горизонте карьера, что сокращает дальность транспортировки груза автотранспортом и уменьшает себестоимость работ.

Необходимо отметить, что на ряде месторождений после взрывного рыхления мелкокусковая рудная масса имеет повышенное содержание металла [15-21]. Например, на медно-никелевом руднике «Заполлярный» с уменьшением размеров кусков руды с 300 до 5 мм содержание меди возрастает с 0,45 до 0,75%, а никеля – с 0,33 до 0,59% [16]. В рудном отсеке (-5 мм) Лермонтовского вольфрамового месторождения содержание металла примерно в два раза выше, чем в исходной руде – 0,45 и 0,24% соответственно [17]. На Яковлевском месторождении в классах -100+50 и -50+25 мм содержится соответственно 39,67 и 40,34% железа, а в классе -25+0 мм – 46,20%, подобное содержание металла позволяет направлять рудную мелочь в доменный передел без предварительного обогащения [18]. Эта особенность характерна как для товарных, так и для некондиционных руд, в частности, исследования, проведенные для некондиционной руды одного из дальневосточных медно-порфировых месторождений, выявили, что мелкая фракция (-15 мм) имеет кондиционное содержание по меди, а тонкая фракция (-2,5 мм) – кондиционное содержание по меди и золоту [19]. На основании полученных данных была предложена схема, предполагающая двухста-

дийное грохочение некондиционной руды с выделением фракций -15+2,5 и -2,5+0 мм, с последующим кучным выщелачиванием меди из фракции -15+2,5 мм и стадийным кюветным выщелачиванием золота и меди из фракции -2,5+0 мм [19].

Недостатком технологических схем, предполагающих выделение продуктивных мелких фракций на специальных грохотильных пунктах, являются дополнительные затраты на классификацию и перевалку некондиционной рудной массы, что значительно снижает их эффективность. Минимизировать подобные затраты позволяет применение технико-технологических решений, обеспечивающих выделение продуктивных мелких фракций в процессе перегрузки рудной массы. Так, в работе [7] обоснована технология, предполагающая выделение обогащенной рудной мелочи при перевалке некондиционной золотосодержащей руды на перегрузочном пункте в процессе ее транспортировки автомобильно-конвейерным транспортом. Конвейерный транспорт в сравнении с железнодорожным обеспечивает возможность перемещения грузов под более значительным углом подъема, однако для обеспечения транспортировки взорванной горной массы на конвейере необходимо ее предварительное крупное дробление до размеров -300–400 мм, что требует размещения на перегрузочном пункте дробильного оборудования и ведет к дополнительным затратам [7, 22]. При этом необходимо учесть, что при открытой разработке месторождений преимущественно извлекаются, транспортируются и складываются пустые породы [7], дробление которых не имеет последующего практического значения, в то же время применение железнодорожного транспорта позволяет перемещать горную массу забойной крупности.

Целью исследования является обоснование адаптивной технологической схемы, предполагающей гибкое управление качеством минерального сырья в ходе выделения продуктивных мелких фракций из некондиционной рудной массы на усовершенствованном бункерно-экскаваторном перегрузочном пункте при ее перегрузке из автосамосвалов на железнодорожный транспорт.

Результаты исследования

В Институте горного дела ДВО РАН с участием автора были проведены исследования проб некондиционной медной руды забойной крупности одного из дальневосточных месторождений, отличающихся по содержанию металла. Исследования показали значительную изменчивость содержания полезного компонента по фракциям рудной массы (рис. 1). Среднее содержание меди в пробе №1 составило 0,261 у.е., а в пробе №2 – 0,193 у.е., при этом содержание металла в мелких фракциях (-20 мм) в 1,18–1,61 раза превышает среднее содержание в пробах. Очевидно, что чем ниже среднее содержание металла в рудной массе, тем оно меньше и в отдельных фракциях, соответственно, если в пробе №1 кондиционное содержание меди (более 0,30 у.е.) имеет фракции -5+0, -10+5 и -20+10 мм, то в пробе №2 – только фракция -5+0 мм.

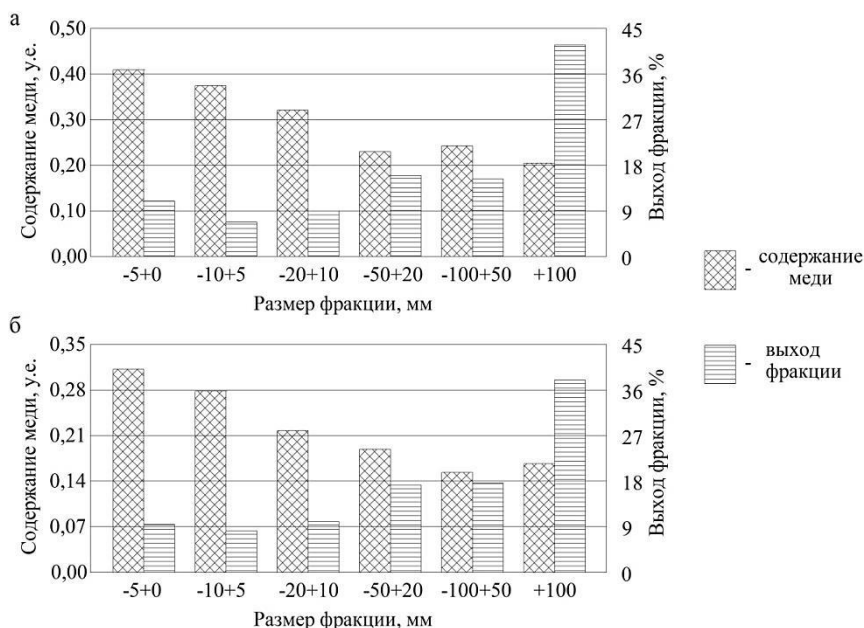


Рис. 1. Содержание меди по выделенным фракциям некондиционной руды: а – проба №1; б – проба №2
 Fig. 1. Copper content in the selected fractions of substandard ore: a is sample No. 1; б is sample No. 2

Исходя из данных эксплуатационной разведки рассматриваемого выемочного блока, среднее содержание меди в некондиционной руде составляет 0,224 у.е. С учетом данных распределения металла по фракциям для проб №1 и 2 для среднего содержания 0,224 у.е. можно пропорционально принять, что фракции -5+0 и -10+5 мм будут иметь кондиционное содержание меди. Однако необходимо учесть, что в случае выделения из всего объема некондиционных руд класса крупности -10+0 мм в качестве продуктивной фракции, при работе с рудой с содержанием менее 0,20 у.е. в продуктивную фракцию будут включены куски крупностью -10+5 мм, не имеющие кондиционного содержания полезного компонента, а при работе с рудой, имеющей содержание более 0,25 у.е., в продуктивную фракцию не попадет рудная масса крупностью -20+10 мм с кондиционным содержанием металла.

С учетом выявленной изменчивости содержания металла по фракциям некондиционной рудной массы автором предлагается адаптивная технологическая схема с гибким управлением качеством дополнительно получаемого минерального сырья в виде мелких фракций. Просеивание продуктивных мелких фракций осуществляется на усовершенствованном бункерно-экскаваторном перегрузочном пункте (рис. 2), который включает приемные ямы 1, 2, подпорную стенку 3 с бункером 4, а также экскаватор-драглайн 5. В нижней части бункера 5 размещены вибрационные грохоты-питатели 6, одновременно обеспечивающие крупное грохочение и подачу материала в транспортные средства и заменяя, таким образом, два агрегата – пластинчатый питатель и наклонный грохот, что уменьшает габариты и металлоемкость комплекса оборудования [23]. Под вибрационным грохотом-питателем 6 размещены вибрационные грохоты 7, 8 для выделения средних и мелких фракций, а также приемная емкость 9 и

сборочный конвейер 10. При этом вибрационный грохот 8 для выделения мелких фракций имеет функциональную возможность регулирования размера разгрузочных щелей [24, 25].

При разработке сложноструктурного рудного блока на глубоком карьере взорванная рудная масса селективно извлекается экскаватором. В автосамосвалы 11 ведется погрузка кондиционных руд с содержанием меди более 0,30 у.е., некондиционных руд – с содержанием 0,23-0,30 и 0,16-0,23 у.е., а также минерализованных вмещающих пород. Автосамосвалы 11 с глубоких горизонтов карьера перемещаются на соответствующие бункерно-экскаваторные перегрузочные пункты. При этом некондиционная руда с различным содержанием полезного компонента отсыпается в соответствующие приемные ямы 1, 2 усовершенствованного бункерно-экскаваторного перегрузочного пункта. Экскаватором-драглайном 5 ведется последовательное черпание некондиционной руды из приемных ям 1 или 2 с подачей в бункер 4, откуда вибрационными грохотами-питателями 6 (количество которых принимается исходя из возможности одновременного заполнения думпкара 12 по всей его длине) подается в железнодорожный транспорт. В процессе грохочения в думпкар 12 сыпается крупно- и среднекусовая рудная масса, мелкая продуктивная фракция в виде подрешетного продукта вибрационных грохотов 8 подается в приемные емкости 9 и далее сборочным конвейером 10 отправляется в накопительный бункер 13, из которого осуществляется загрузка колесного транспортного средства 14. При этом в случае загрузки в бункер 4 некондиционной руды с содержанием металла 0,23-0,30 у.е. разгрузочные щели вибрационных грохотов 8 настроены на получение подрешетного продукта размером -20 мм, а при работе с некондиционной рудой с содержанием металла 0,16-0,23 у.е. – на получение подрешетного продукта -5 мм.

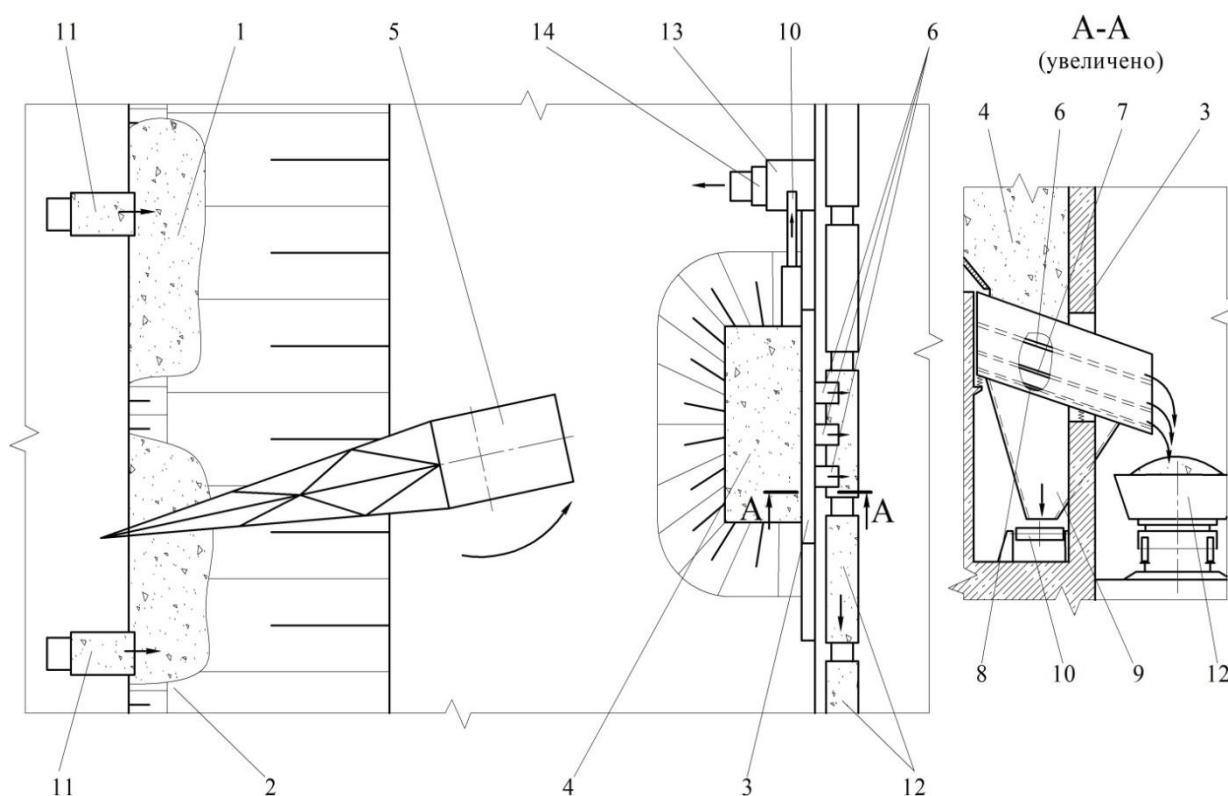


Рис. 2. Схема усовершенствованного бункерно-экскаваторного перегрузочного пункта для работы с некондиционной рудной массой

Fig. 2. Scheme of an improved hopper-excavator transfer station for handling substandard ore mass

Загруженная в колесное транспортное средство 14 продуктивная фракция может быть направлена напрямую к месту переработки кондиционной руды либо на перегрузочный пункт для кондиционной руды с последующей транспортировкой железнодорожным транспортом.

Количество металла, содержащегося в продуктивных мелких фракциях, выделяемых из некондиционной руды сложноструктурного выемочного блока, может быть определено по формуле

$$M_{\Pi} = V_{\text{н}} q_{\text{н}} c_{\text{н}} E_{\text{н}} + V_{\text{н}} q_{\text{н}} c_{\text{н}} E_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{н}}$, $V_{\text{н}}$ – объем некондиционной руды с содержанием меди соответственно 0,23-0,30 и 0,16-0,23 у.е.; $q_{\text{н}}$, $q_{\text{н}}$ – доля продуктивной фракции в объеме некондиционной руды с содержанием меди соответственно 0,23-0,30 и 0,16-0,23 у.е.; $c_{\text{н}}$, $c_{\text{н}}$ – среднее содержание меди в выделяемых продуктивных мелких фракциях соответственно -20+0 и -5+0 мм; $E_{\text{н}}$, $E_{\text{н}}$ – эффективность грохочения при выделении соответствующих мелких продуктивных фракций.

С учетом того, что для организации работ по выделению из некондиционных руд мелких продуктивных фракций требуются дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты, необходимо при

планировании производства обеспечить соблюдение условия

$$M_{\Pi} K_{\text{и}} C > 3 \cdot P, \quad (2)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент извлечения металла при переработке руды; C – цена металла; 3 – затраты на выделение, транспортировку и переработку продуктивных мелких фракций; P – уровень рентабельности производства.

Выполненные укрупненные технико-экономические расчеты показывают, что предлагаемая технология рентабельна, а дополнительные затраты, связанные с ее внедрением, окупятся менее чем за 1 год. Расчеты, выполненные с учетом результатов, полученных при исследовании проб некондиционной руды, и данных эксплуатационной разведки рассматриваемого выемочного блока, показывают, что применение предлагаемого технико-технологического решения позволит выделить продуктивные мелкие фракции, содержащие порядка 24% металла, находящегося в некондиционной рудной массе. С учетом того, что на некондиционную руду приходится 17,5% металла рассматриваемого сложноструктурного блока, то на обогащение будет дополнительно направлена рудная масса, в которой находится 4,2% металла.

Выводы

Рост глубины карьеров предопределяет необходимость использования комбинированного транспорта, когда с глубоких горизонтов горная масса перемещается автосамосвалами, а затем перегружается на более экономичные и производительные виды транспорта, например конвейерный или железнодорожный. При разработке сложноструктурных месторождений цветных металлов из недр извлекается и складирована большое количество некондиционных руд, которые содержат существенную долю запасов металла залежи.

В процессе взрывного рыхления руд некоторых формационных типов образуется рудная мелочь с повышенным содержанием полезного компонента, достаточным для ее рентабельной переработки. Так, проведенные исследования проб некондиционной медной руды одного из дальневосточных месторождений показали, что коэффициент концентрации полезного компонента для мелких классов -20+10, -10+5 и -5+0 мм составляет 1,18–1,61.

В статье предлагается технико-технологическое решение, обеспечивающее выделение продуктивных мелких фракций из некондиционной рудной массы при ее перевалке на усовершенствованном бункерно-экскаваторном перегрузочном пункте, снабженном вибрационными грохотами-питателями и другим классификационным оборудованием. При этом осуществляется гибкое управление качеством дополнительно получаемого минерального сырья за счет выделения продуктивных классов рациональной крупности в зависимости от содержания металла в некондиционной рудной массе.

Применение предлагаемой технологии даст возможность дополнительно направить на обогащение минеральное сырье, содержащее более 4% металла, извлекаемого из недр. Кроме того, обеспечивается уменьшение пыления штабелей и образования токсичных элементов при выпадении осадков в связи с удалением из складированной некондиционной руды основной части рудной мелочи.

Список источников

1. Совершенствование логистической схемы Светлинского рудника при переходе на циклично-поточную технологию / А.Г. Шадронов, С.А. Саблев, И.А. Пыгалев, О.В. Фридрихсон // Известия Тульского государственного университета. Науки и Земле. 2020. №4. С. 535-547.
2. Повышение эффективности и рациональное использование железнодорожного транспорта в глубоких карьерах / У.Ф. Насиров, Ш.В. Каримов, Х.А. Машарипов, Э.И. Туйчибоев // Уголь. 2024. №10. С. 85-90.
3. Depressurization of the north wall at the Escondida Copper Mine, Chile / McKelvey P., Beale G., Taylor A., Mansell S., Mira B., Valdivia C., Hitchcock W. // Geological Society, London, Special Publications. 2002, vol. 198, no. 1, pp. 107-119.
4. A transitional perspective of global and regional mineral material flows / Baninla Y., Zhang M., Lu Y., Liang R.,

- Zhang Q., Zhou Yu., Khan K. // Resources, Conservation and Recycling. 2019, vol. 140, pp. 91-101.
5. Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. Екатеринбург, УрО РАН, 2019. 284 с.
6. Левенсон С.Я., Гендлина Л.И., Морозов А.В. Использование вибротехники в технологических процессах при освоении глубоких карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №11. С. 249-256.
7. Чебан А.Ю. Повышение эффективности открытых горных работ за счет совершенствования грохотильно-дробильных перегрузочных пунктов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №2. С. 28-34.
8. Karimov Sh.V. The research of rock mass transportation in deep quarries // Technical science and innovation. 2020, no. 4, pp. 87-91.
9. Научное обоснование технологий комплексного ресурсосберегающего освоения месторождений стратегического минерального сырья / К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, С.Д. Викторов, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №12. С. 5-12.
10. Управление рудопотоками на карьерах с использованием ЭВМ / Б.П. Юматов, З.И. Валатка, А.Г. Секисов, Н.В. Зыков // Горный журнал. 1984. №12. С. 33-41.
11. Recent progress on smart mining in China / Yu Jiang, Zhixiong Li, Guang Yang, Yuele Zhang, Xiaogang Zhang // Unmanned electric locomotive. Advances in Mechanical Engineering. 2017, vol. 9, no. 3, pp. 1-10.
12. Lucio J.C., Senra C.T., Souza. A. Paving the future – A case study replacing truck-and-shovels by shovel-and-conveyor continuous mining at Carajas open pit mines // IronOre 2009 Conference. Perth, WA., 2009, July 27-29, pp. 269-276.
13. Grujic M., Erdeljan D. Advantages of High Angle Belt Conveyors (Hac) in Mining // Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 683, pp. 73-77.
14. Юдин А.В., Линев В.П. Перспективность применения типовых решений переносных перегрузочных пунктов в глубоких карьерах // Горный журнал. 1982. №5. С. 21-25.
15. Чебан А.Ю., Секисов А.Г. Карьерный экскаватор с рабочим оборудованием для отделения обогащенной рудной мелочи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. № 1. С. 16-22.
16. Ломоносов Г.Г., Туртыгина Н.А. Влияние класса крупности медно-никелевого рудного сырья и его изменчивости на показатели обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №3. С. 104-107.
17. Саматова Л.А., Шепета Е.Д. Комбинированные технологии переработки бедных, забалансовых вольфрамовых руд и отвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №4. С. 187-199.
18. Shibaeva D.N., Kompanchenko A.A. Preparability of iron ore from Yakovlevo deposit, Kursk Magnetic Anomaly, using coarse particle separation methods // Journal of Mining Science. 2023, vol. 59, no. 6, pp. 988-1000.

19. Чебан А.Ю. Обоснование возможности вовлечения в переработку продуктивных фракций некондиционных поликомпонентных руд // Горная промышленность. 2024. №6. С. 168-172.
 20. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
 21. Рассказов И.Ю., Секисов А.Г., Чебан А.Ю. Повышение эффективности разработки сложноструктурных месторождений при опережающей выемке особо богатых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 4. С. 5-19.
 22. Minkin A., Wolpers F.M., Hellmuth T. Overcoming a mines embankment: IPCG system with new belt conveying concept for steep opencast minewalls // Bulk Solids Handling. 2019, vol. 37, no. 2, pp. 18-23.
 23. Результаты промышленных испытаний вибрационно-го питателя-грохота / А.В. Юдин, В.А. Панов, В.С. Пекарский, А.Н. Косолапов, Л.К. Балабатько, А.А. Шарифиев, В.М. Захаров, Г.Д. Воронкин // Горный журнал. 1987. №10. С. 45-48.
 24. А.с. 910228 СССР. Колосниковый грохот с регулируемым размером щели / А.В. Юдин, Л.К. Балабатько, В.Е. Иванов. Оpubl. 07.03.1982. Бюл. №9.
 25. Исследование неравномерности промышленного оруденения жильных месторождений и его влияние на эффективность разработки / Назарчик А.Ф., Фрейдин А.М., Емельянов В.И., Бовин А.А., Латышев М.З., Попов Н.И. Магадан: Магаданское книжное издательство, 1976. 144 с.
- ### References
1. Shadrinov A.G., Sablev S.A., Pytalev I.A., Friedrichson O.V. Improvement of the Svetlinsky gold deposit logistics scheme with transition to cycle-flow technology. *Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Izvestiya Tula State University. Earth Science Series]. 2020;(4):535-547. (In Russ.)
 2. Nasirov U.F., Karimov Sh.V., Masharipov H.A., Tuychiboev E.I. Enhancing the efficiency and rational use of railway transport in deep open pit mines. *Ugol* [Coal]. 2024;(10):85-90. (In Russ.)
 3. McKelvey P., Beale G., Taylor A., Mansell S., Mira B., Valdivia C., Hitchcock W. Depressurization of the north wall at the Escondida Copper Mine, Chile. Geological Society, London, Special Publications. 2002;198(1):107-119.
 4. Baninla Y., Zhang M., Lu Y., Liang R., Zhang Q., Zhou Yu., Khan K. A transitional perspective of global and regional mineral material flows. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019;140:91-101.
 5. Yakovlev V.L. *Issledovanie perehodnykh protsessov – novoe napravlenie v razvitií metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov* [Study of transient processes - a new direction in the development of the methodology for the integrated development of georesources]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2019, 284 p. (In Russ.)
 6. Levenson S.Ya., Gendlina L.L., Morozov A.V. Use of vibration machines in deep open pit mining. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2016;(11):249-256. (In Russ.)
 7. Cheban A.Yu. Increasing the efficiency of open mining through improving screening and crushing transfer points. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025;23(2):28-34. (In Russ.)
 8. Karimov Sh.V. The research of rock mass transportation in deep quarries. *Technical science and innovation*. 2020;(4):87-91.
 9. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Viktorov S.D., Rynnikova M.V., Radchenko D.N. Scientific rationale of technologies for comprehensive resource-saving exploitation of strategic mineral resources. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2014;(12):5-12. (In Russ.)
 10. Yumatov B.P., Valatka Z.I., Sekisov A.G., Zыkov N.V. Ore flow management in quarries using computers. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal]. 1984;(12):33-41. (In Russ.)
 11. Yu Jiang, Zhixiong Li, Guang Yang, Yuelel Zhang, Xiaogang Zhang Recent progress on smart mining in China. *Unmanned electric locomotive. Advances in Mechanical Engineering*. 2017;9(3):1-10.
 12. Lucio J.C., Senra C.T., Souza. A. Paving the future – A case study replacing truck-and-shovels by shovel-and-conveyor continuous mining at Carajas open pit mines. *IronOre 2009 Conference*. Perth, WA. July 27-29, pp. 269-276.
 13. Grujic M., Erdeljan D. Advantages of High Angle Belt Conveyors (Hac) in Mining. *Applied Mechanics and Materials*. 2014;683:73-77.
 14. Yudin A.V., Linev V.P. Prospects of using standard solutions for portable transfer points in deep quarries. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal]. 1982;(5):21-25. (In Russ.)
 15. Cheban A.Yu., Sekisov A.G. Mining excavator with the capability to separate concentrated ore fines. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020;18(1):16-22. (In Russ.)
 16. Lomonosov G. G., Turtygina N. A. Influence of coarse-grained copper-nickel ore raw materials class and its changeability upon the beneficiation indication. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2015;(3):104-107. (In Russ.)
 17. Samatova L.A., Shepeta E.D. Combined technologies for processing lean and waste tungsten ores. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2013;(S4):187-199. (In Russ.)
 18. Shibaeva D.N., Kompanchenko A.A. Preparability of iron ore from Yakovlevo deposit, Kursk Magnetic Anomaly, using coarse particle separation methods. *Journal of Mining Science*. 2023;59(6):988-1000.
 19. Cheban A.Yu. Justification of the possibility to involve productive fractions of the off-grade polycomponent ores in processing. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry]. 2024;(6):168-172. (In Russ.)
 20. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016, 980 p.
 21. Rasskazov I.Yu., Sekisov A.G., Cheban A.Yu. Enhancement of mining efficiency at structurally complex deposits with advanced extraction of very high-grade ore. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2023;(4):5-19. (In Russ.)
 22. Minkin A., Wolpers F.M., Hellmuth T. Overcoming a mines embankment: IPCG system with new belt conveying concept for steep opencast minewalls. *Bulk Solids Handling*. 2019;37(2);18-23.

23. Yudin A.V., Panov V.A., Pekarsky V.S., Kosolapov A.N., Balabatko L.K., Sharafiev A.A., Zakharov V.M., Voronkin G.D. Results of industrial tests of a vibrating feeder-screen. *Gorniy zhurnal [Mining Journal]*. 1987;(10):45-48. (In Russ.)
24. Yudin A.V., Balabatko L.K., Ivanov V.E. Kolosnikoviy grokhot s reguliruemym razmerom shheli [Grate screen with adjustable gap size]. Patent USSR, no. 910228, 1982.
25. Nazarchik A.F., Frejdin A.M., Emel'janov V.I., Bovin A.A., Latyshev M.Z., Popov N.I. Issledovanie neravnomernosti promyshlennogo orudneniya zhilnykh mestorozhdeniy i ego vliyanie na effektivnost razrabotki [Study of unevenness of industrial mineralization of vein deposits and its influence on development efficiency]. Magadan: Magadan book publishing house, 1976, 144 p. (In Russ.)

Поступила 28.08.2025; принята к публикации 10.12.2025; опубликована 30.06.2026
Submitted 28/08/2025; revised 10/12/2025; published 30/06/2026

Чебан Антон Юрьевич – ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного
отделения Российской академии наук
(ИГД ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия.
Email: chebanay@mail.ru.

Anton Yu. Cheban – Leading Researcher,
Federal State Budgetary Institution of Science Mining Institute of the Khabarovsk Federal Research Center
of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (MI KhFRC FEB RAS), Khabarovsk, Russia.
Email: chebanay@mail.ru.