

## **СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ОЦЕНОЧНЫЙ КРИТЕРИЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКОВ**

© V. Azarian, S. Zhukov

### **SYSTEM PRINCIPLES AND EVALUATIVE CRITERION FOR THE GENERALIZATION OF ORE FLOWS QUALITY CONTROL**

Рассмотрены системные принципы генерализации управления качеством рудопотоков и влияние сырьевого качества интегрированного финального рудопотока на процесс обогащения и показатели прибыли железорудного горно-обогатительного комбината, исходя из установленных зависимостей себестоимости процесса обогащения от соответствия содержания полезного компонента в потоке руды задаваемому значению.

Розглянуто системні принципи генералізації управління якістю рудопотоків та вплив сировинного якості інтегрованого фінального рудопотоку на процес збагачення і показники прибутку залізорудного гірничо-збагачувального комбінату, виходячи з установлених залежностей собівартості процесу збагачення від відповідності вмісту корисного компонента в потоці руди заданому значенню.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Нестабильность процесса добычи руды и пространственная неравномерность природного распределения ее характеристик, определяющих качество сырья, выходящего из разных рудных забоев, являются одними из главных причин значительных колебаний содержания полезного компонента (с.п.к.) рудопотоков. Вместе с тем структурно-функциональный анализ ГОКов Украины дает веские основания прогнозировать их существенную эволюцию в направлении возрастания взаимной диспропорции и частичного группирования производств, при котором неизбежно возникновение интегрированных общекомбинатовских рудопотоков.

Максимально возможная стабилизация качественных показателей, как локальных, так и интегрированных финальных рудопотоков позволит существенно повысить эффективность процесса обогащения и окажет значительное влияние на основные технико-экономические показатели горно-обогатительных комбинатов, в частности – на прибыль.

**Анализ исследований.** На рис. 1 приведены фактические показатели содержания полезного компонента ( $Fe_{\text{магн.}}$ ) в сформированном рудопотоке железорудного карьера № 2 Горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

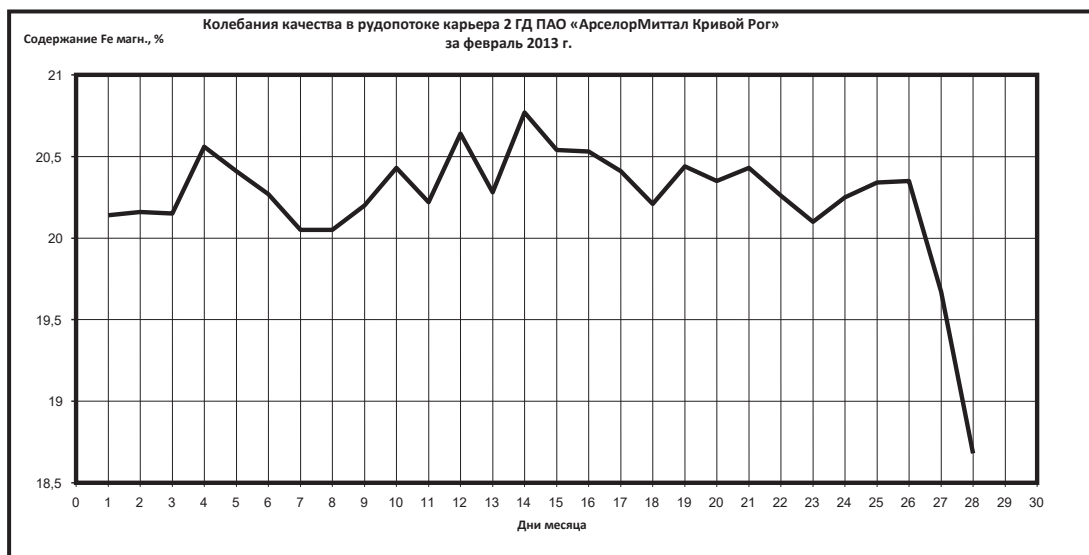


Рис. 1. Колебания качества в рудопотоке карьера № 2 Горного Департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» за февраль 2013 г.

Анализ данных, приведенных на графике (рис. 1), позволяет сделать вывод о значительных колебаниях сырьевого качества рудопотока, при этом приведены среднесуточные значения содержания полезного компонента. Фактические же значения амплитуды внутрисменных колебаний практически всегда выходят за заданные граничные значения.

Большое разнообразие по типам и количеству взаимосвязанного оборудования, разное содержание полезного компонента в сырье, поступающем из добычных забоев, значительные расстояния транспортировки полезных ископаемых, высокий уровень износа технологического оборудования, частый выход его из строя обуславливают аритмичность технологических процессов даже в единичном (отдельном) карьере, что приводит к значительным отклонениям фактических качественных и объемных показателей от заданных. Ситуация еще более усложняется и приобретает проблемный характер в масштабах ГОКа, когда финальный рудопоток включает в себя сырье, идущее из отдельных карьеров, резервных складов и внешних внекомбинатовских источников. А такая ситуация нам представляется неизбежной, учитывая четко проявляющиеся уже сейчас устойчивые тенденции в эволюции как отдельных ГОКов Кривбасса, так и всего ГМК страны.

Вследствие амплитудных и временных колебаний качества руды в финальных рудопотоках ГОКи Криворожского железорудного бассейна ежегодно теряют около 1 млн. т концентрата. Финансовые потери от этого составляют 644 млн. долл. США в ценах апреля 2016 г. или 1,650 млрд. грн. Поэтому решение в таких масштабах и условиях обозначенной проблемы формирования финального рудопотока с заданными значениями с.п.к. позволит не только снизить финансовые потери и увеличить прибыль предприятий, но также решить целый ряд перспективных ресурсных, экологических и социальных задач.

**Постановка задачи.** Оптимальные показатели режима обогащения по величине извлечения и потерям в хвостах зависят не только от самого качества

рудного сырья, но и от его стабильности в финальном общекомбинатовском потоке [3, 4].

Оптимизация процесса обогащения, основанная на стабилизации содержания полезного компонента во входящем потоке микшированной руды, даст безусловный эффект, выражающийся, прежде всего, в постоянных показателях выхода концентрата из руды  $\gamma$ , извлечения полезного компонента в концентрат  $\epsilon$  и содержания полезного компонента в концентрате  $\beta$  [1]. Требование к стабильности качественных показателей обусловлено главным образом тем, что современные обогатительные фабрики представляют собой высокоинерционные системы, работа которых становится наиболее эффективной только при стабильных показателях перерабатываемого сырья по содержанию полезного компонента.

Таким образом, именно и только финальный рудопоток железорудного карьера или группы карьеров в масштабе ГОКа фактически является исходной рудой обогатительного процесса, поэтому задачи оптимизации обогатительного производства основываются на решении проблемы стабилизации сырьевого качества конкретно этого финального рудопотока, что обеспечит снижение себестоимости обогащения, ресурсных и финансовых потерь, позволит не только увеличить прибыль предприятия, но и повысить эффективность его функционирования в целом.

**Изложение материала и результатов.** Анализ распределения затрат по основным технологическим процессам железорудных ГОКов Украины свидетельствует о том, что основная часть себестоимости их продукции приходится на процесс обогащения (от 57 % ПАО «Полтавский ГОК» – до 61 % ЧАО «Северный ГОК») [2].

Величина содержания полезного компонента и допустимый диапазон его колебаний, обусловленный среднеквадратическим отклонением, задается требованиями обогатительного производства. Вероятность формирования рудопотока, соответствующего расчетным значениям, зависит от нескольких основных факторов:

- соотношение минимального и максимального значений содержаний полезного компонента в подготовленных рудных забоях;
- общее количество рудных забоев с содержанием полезного компонента, соответствующим расчетному содержанию рудопотока;
- заданная величиной среднеквадратического отклонения, т.е. фактически граничная величина амплитуды допустимых колебаний качества рудопотока
- наличие или отсутствие в технологической цепи формирования финального рудопотока усреднительных складов;
- наличие или отсутствие внешних источников сырья.

Вероятность формирования рудопотока с показателями содержания полезного компонента, соответствующими расчетным значениям, – обратно пропорциональна заданной величине среднеквадратического отклонения.

Режимы обогащения, при которых обеспечивается оптимальный выход концентрата с заданным качеством, реально достижимы только при определен-

ных показателей содержания полезного компонента в исходной руде и стабильности их во времени. Работа в таких режимах обогащения позволяет получать концентрат с максимально возможными значениями по качеству, минимизировать потери полезного компонента в хвостах, экономить электроэнергию, воду, футеровку и шары мельниц, что также положительно сказывается на общих технико-экономических показателях производства.

Процесс усреднения и стабилизации качественных показателей финальных рудопотоков невозможен без применения опробования сырья по содержанию полезного компонента на всех этапах горного производства. Но недостаточное количество средств и систем контроля на железорудных ГОКах Украины, или же наличие их устаревших аналогов, не позволяет получать своевременную и достоверную информацию о качестве горной массы и продуктов обогащения, что существенно снижает эффективность процесса управления качеством в условиях горно-обогатительного производства и формирования рудопотоков с заданными качественными характеристиками [4]. Это в свою очередь снижает качественные характеристики исходной руды, приводя к значительным неритмичным трудно прогнозируемым или вообще непрогнозируемым амплитудным колебаниям содержания в ней полезного компонента, что в дальнейшем оказывает негативное влияние на основные показатели процесса обогащения, приводит к общему росту себестоимости производства железорудного концентрата и снижению прибыли ГОКа.

Формирование интегрированного финального рудопотока с заданными качественными характеристиками требует более информативной доразведки продуктивных залежей (каротажа), генерализованного оперативного контроля качества сырья по всей цепи горного производства, применения различных схем предварительного обогащения для отсека некондиционной горной массы, повышения качества БВР и эффективности горнотранспортной диспетчеризации, усреднительных систем и схем, как внутрикарьерных, так и внешних.

Известно, что для оценки эффективности управления рудопотоком карьера применяется комплексный критерий  $F$ :

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_\phi) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  – соответственно себестоимости при добыче, транспортировке и дроблении 1 т руды, грн./т;  $Q_n$  – потери руды вследствие колебаний качества, т;  $\gamma_p, \gamma_\phi$  – расчетный и фактический показатель выхода концентрата на обогатительной фабрике;  $Q_p$  – фактический объем руды, поступающей на обогащение;  $C_4$  – себестоимость обогащения, грн./т [3].

Качественные показатели финального рудопотока оказывают влияние на процесс обогащения, общие показатели затрат которого описывает правая часть выражения (1):

$$(\gamma_p - \gamma_\phi) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (2)$$

Согласно балансной формуле, величина выхода концентрата при обогащении – прямо пропорциональна величине содержания полезного компонента в исходной руде:

$$\gamma = \varepsilon \frac{\alpha}{\beta}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – извлечение, доли ед.;  $\alpha$  – с.п.к. в руде;  $\beta$  – с.п.к. в концентрате.

Исходя из выражения (3), если принять за условно-постоянные величины извлечение  $\varepsilon$  и с.п.к. в концентрате  $\beta$ , и обозначить соответственно:  $\alpha_{\text{факт.}}$  – фактическое содержание полезного компонента в финальном рудопотоке;  $\alpha_{\text{план.}}$  – плановое содержание полезного компонента в исходной руде на обогатительной фабрике, то тогда на основе выражения (2) можно записать:

$$\left( \varepsilon \frac{\alpha_{\text{факт.}}}{\beta} - \varepsilon \frac{\alpha_{\text{план.}}}{\beta} \right) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (4)$$

или

$$(\alpha_{\text{факт.}} - \alpha_{\text{план.}}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (5)$$

Из выражения (5) очевидно, что, чем меньшей будет разница между фактическим показателем содержания полезного компонента в финальном рудопотоке и запланированным его значением в исходной руде обогатительной фабрики, тем ближе к минимальному значению будет показатель затрат на обогащение. Таким образом, достижение соответствия качественных показателей сформированного рудопотока требуемым окажет непосредственное влияние на себестоимость обогащения в сторону его снижения. А даже незначительное снижение себестоимости наиболее затратного процесса горнорудного производства – обогащения сырья – позволит в итоге существенно повысить прибыль всего горно-обогатительного комбината.

**Выводы.** Исключительно актуальная для Украины проблема существенно повышения эффективности ГОКов в условиях их прогнозируемого в ближайшем будущем асимметричного развития и интегрирования в организационно и производственно иерархизированные структуры с едиными рудопотоками и обогатительными мощностями реально может быть решена только за счет формирования интегрированных финальных рудопотоков с максимально соответствующими заданным показателями сырьевого качества, обеспечивающими действительно оптимальные режимы обогатительного производства. А это, в свою очередь, становится возможным при комплексном, а главное — системном подходе, предусматривающем генерализацию управления сырьевым качеством отмеченных интегрированных финальных рудопотоков, включающем в себя взаимоувязанный и углубленный оперативный контроль качества на всех этапах горного производства с формированием единого банка данных; повышение качества подготовки сырья к выемке за счет внедрения самых современных технологий БВР, взрывчатых материалов и средств взрывания; совершенствование селективной выемки и прогрессивных схем предварительного обогащения руд; повышение эффективности согласованной работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования; микширование сырья при формировании финального рудопотока с использованием, как собственных сырьевых ресурсов (карьеры, усреднительные склады, техногенные месторождения), так и внешних источников сырья.

### Перечень ссылок

1. Федосеев В.А. Экономика обогащения железных руд. / В.А. Федосеев Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., 1974 – 112 с.
2. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений: сб. научн. трудов – Кривой Рог, 2010 – вып. 93. – С. 33 – 36.
3. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров: учеб. для вузов по спец. "Открытые горные работы" / В. Ф. Бызов. – М.: Недра, 1991. – 239 с.
4. Азарян В.А. Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць, – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 41. – С. 170 – 174

### ABSTRACT

**Purpose.** The main objective of the study is to determine the influence of the quality of the final ore-flow of the iron ore mining and processing plant on enrichment indicators and profit.

**The methods** of investigation are analysis and determination of the relationship between the amplitude of fluctuations in the quality of the final ore flow and the indexes of the cost price of enrichment by converting the basic formulas

**Findings.** The problem of lowering the total cost of production and increasing the profit of iron ore mining and processing enterprises of Ukraine can be solved by forming final ore flows with given raw material quality indicators that ensure optimal operating conditions of the beneficiation production.

**Originality** is a systematic approach to solving the formulated problem, determining the factors that influence the formation of the final ore-flow and the improvement of previously known formulas.

**Practical implications.** Further development and introduction into production of the research results will ensure a reduction in the cost price of the enrichment process due to its optimization and an increase in the profits of the mining and processing plant.

**Keywords:** *the final ore flow, the quality of raw materials, the cost of the enrichment process, the profits of the ore mining and processing enterprise*