

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕГО СТАБИЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

MORE ON THE EFFICIENCY OF AN ORE PROCESSING COMPLEX OF A MINING COMPANY IN ORDER TO ENSURE ITS STABLE OPERATION MODE

*A. Gal'yanov,
doctor of engineering sciences,
professor,
Ural State Mining University,
Ekaterinburg.*

The article discusses the theoretical aspects of ensuring a stable regime of mining operations in the «mine – processing plant» system; summarizes the experience of mining enterprises and theoretical studies of Soviet and Russian scientists to improve the ore preparation complex of operating mining enterprises.

Keywords: mining enterprises, stability, work, ore preparation, efficiency, technology, structure, flow principle, reserve, resource, technical requirements, ore quality.

Производство горных работ многогранно, многофункционально и одновременно детерминировано в своем этапном развитии и структурном построении. Это позволяет рассматривать его как сложную динамическую систему, преобразующую природные качественные свойства минерального сырья в общественно необходимые, обладающие потребительской стоимостью, продукты. Совокупность способов, средств и знаний такого преобразования и составляет основу технологии формирования качества руды при добыче и первичной переработке минерального сырья. Эта проблема оживленно и продуктивно в горной науке рассматривалась в период 1960–2000 гг. Следует констатировать, что в последние 25 лет интерес к вопросу угас, в том числе и по объективным обстоятельствам. Но как всякое незавершенное дело в конце концов даёт о себе знать, сегодня оценка эффективности горного производства вновь становится востребованной недоропользователями. Это обстоятельство и побудило нас обратить внимание горной общественности на то, что проблема не «умерла», а проявляется в новых условиях отечественного горного производства.

При подготовке руд к металлургическому или химическому переделам применяют схемы рудоподготовки, включающие дробление, усреднение, окускование и обогащение. Если рассматривать рудоподготовку как систему, т.е. как совокупность согласованно выполняемых технологических операций, то по своим функциям она является частью комплексной системы управления качеством руды (КС УКР). Из этого следует, что рудоподготовка, как процесс подготов-

*А. В. Гальянов,
доктор технических наук,
профессор,
Уральский Государственный Горный Университет,
г. Екатеринбург.*

Ключевые слова: горные предприятия, стабильность, работа, рудоподготовка, эффективность, технология, структура, принцип поточности, резерв, ресурс, технические требования, качество руды.

ки минерального сырья начинается на руднике и заканчивается на складах товарной продукции обогащательного цикла или шихтового отделения металлургического производства. Таким образом, целевая функция горного производства состоит в решении задачи обеспечения промышленности необходимым количеством сырья строго заданного качества. Стабильность химсостава рудной массы и ее физико-технических показателей приобрели сегодня статус важнейших характеристик качества, имеющих определенную стоимость. Многолетняя практика горных предприятий убедительно показывает, что основные затраты на достижение заданного уровня стабильности качества сырья приходятся на подготовительные операции (взрывание, дробление, транспортировка, складирование), а основной технологический эффект и снижение материальных затрат происходят в процессе переработки этого сырья.

Для технологии рудоподготовки характерна индивидуальность, которая в полной мере определяется видом полезного ископаемого, способом ведения горных работ, производительностью предприятия, технологией обогащения, видом товарной продукции и т.д. Однако общими во всех случаях остаются принципы поточности производства, динамика во времени, многоступенчатая структура системы, многофакторность воздействия рудного потока на систему и ее реакции, т.е. все то, что определяет процесс рудоподготовки как сложную динамическую систему. Развитие принципа поточности производственных структур, рассмотрение этих структур с позиции теории динамических систем позволяет установить определенную общность законов формирования и управления качеством сырья и оптимизировать затраты технологических решений по рудоподготовке.

Три исходные предпосылки составляют основу современных теоретических построений при рассмотрении обозначенного в статье вопроса.

1. Современное горное производство поточно, и формализация этого классического принципа допустима только на базе классических математических представлений о потоке: структура, динамика, геометрия. Реальные физические потоки обладают тем свойством, что допускают производство определенных физических действий над собой. Потоки можно объединять, дробить, изменять направления. Это по-

звolyет производить определенные математические операции с характеристиками потоков: их можно складывать, делить на скаляр, интегрировать, дифференцировать. Лишено физического содержания перемножение и деление потоков друг на друга.

2. Современное горное производство (горно-обога- тельный комбинат) есть сложная динамическая система, реализующая принципы многофункциональности, последо- вательности, автономности, технико-экономической целе- образности.

3. Горное предприятие как система функционирует со- гласно закону материального баланса входного (воздейству- ющего) и выходного (реакция) потоков.

Понятие «качество» в широком смысловом аспекте есть совокупность химических, минералогических и физико-тех- нических оценок минерального сырья, что и определяет спектр возможных способов и средств воздействия на руду для достижения требований технических условий. В пробле- ме «качества» товарной продукции концентрируются инте- ресы потребителя и поставщика, здесь находят компромис- сные решения между требованиями рынка и возможностями их выполнения, между законами интенсивного ведения гор- ных работ и рациональной отработкой месторождений, со- циальными и экологическими последствиями.

В общем структурном формировании технологии рудо- подготовки на горном предприятии планирование горных работ следует рассматривать как первый этап подготовки минерального сырья. Круг решаемых задач при этом охваты- вает вопросы перспективного развития горных работ и теку- щего планирования. Информационной основой этой струк- туры служат материалы подсчета запасов, технологического и текущего оперативного контроля качества сырья в процес- се его добычи и обогащения. В условиях рыночных отноше- ний на передний план выступают задачи дифференцирован- ного нормирования запасов по степени их подготовленности и разведанности, оценка точности геометрического представ- ления качественных показателей руды на геолого-маркшей- дерской документации, обоснование кондиций и критериев разделения руды на типы и сорта, разработка математических моделей месторождения.

Буровзрывные работы — первый технологический про- цесс целенаправленного воздействия на природную структу- ру горного массива, занимающий связующее положение между массивом и горно-транспортным оборудованием. Преобразуя скальные породы в принципиально иную физи- ческую среду (ограниченное, практически бесконечное, дис- кретное множество частиц, размеры которых варьируют в широких пределах), БВР есть первый этап рудоподготовки, от качества которого зависит работа горно-транспортного оборудования и внутризавойная селективная выемка. Осо- бенности и свойства горного массива раскрываются через исследование таких вопросов, как деформация внутренней структуры массива при БВР, связь геометрических параме- тров развала с технологическими показателями и физико-техническими характеристикам пород, свойств ВВ и гомо- генность взрывчатых смесей, селективные схемы отбойки и экскавации взорванных пород и связь с качественными показателями руды.

На горных предприятиях с комбинированным техно- логическим транспортом в систему рудоподготовительно-

го комплекса включаются перегрузочные пункты, которые выполняют несколько технологических функций: связу- ющее звено между различными видами транспорта, акку- муляция объемов руды, смешивание, обеспечивающее определенный уровень стабильности качественных пока- зателей руды. Формирование рудных потоков в системе «завой-склад» в комплексе с разгрузочно-погрузочными работами завершает цикл рудоподготовительных опера- ций в карьере.

Существуют две принципиально различающиеся между собой схемы формирования рудных потоков. *Первая* осу- ществляется по принципу «организаций очереди» — событие следует за событием в порядке, который определен условия- ми формирования единого потока событий (рис. 1). При объ- единении потоков дискретных событий происходит «вреза- ние» их друг в друга.

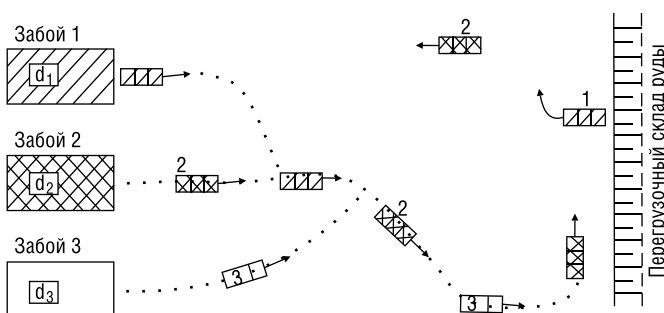


Рис. 1. Принципиальная схема формирования рудного потока «завой-склад».

Вторая схема формирования рудных потоков осуществ- ляется по принципу «объединения ручьев» в единое русло. Эта схема наиболее полно реализуется на обога- тительных фабриках (рис. 2). Таким образом, отличительной особен- ностью этой схемы является объединение непрерывных потоков.

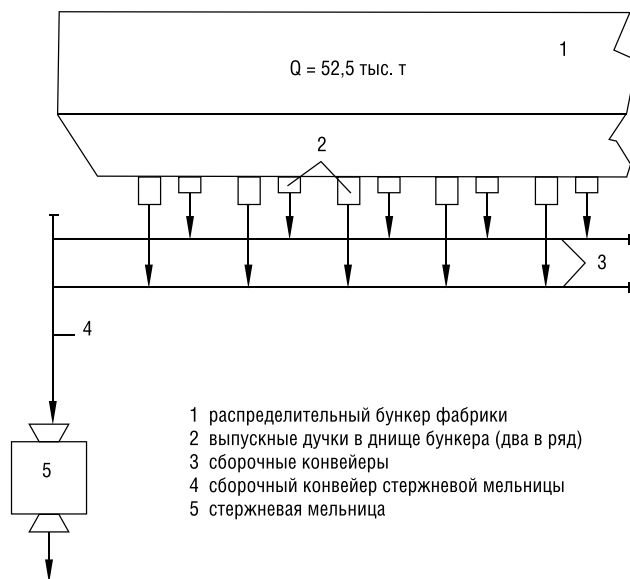


Рис. 2. Принципиальная схема подачи руды на стержневые мельницы из распределительного бункера.

Схема цепи аппаратов раскрывает структуру технологи- ческих процессов и может рассматриваться как естественная

стабилизирующая подсистема. Она является основой анализа технологических процессов, его отдельных конструктивных элементов.

Процессы, которые протекают во времени очень быстро или очень медленно и которые невозможно наблюдать простым созерцанием, а также невозпроизводимые процессы, лучше и глубже познаются, когда на помощь исследователю приходит кинокамера. Возможность воспроизвести процесс в замедленном или ускоренном темпе ставит эту форму познания процессов в горном деле в ряд перспективных.

К управляющим операциям на руднике следует отнести диспетчерское обслуживание в системе «рудный забой-склад-приемный бункер фабрики» и внутризабойную селекцию.

Наконец, процесс обогащения путем удаления убогих фракций горных пород, поэтапно повышая концентрацию полезного компонента в промпродукте, достигает кондиций, регламентируемых техническими требованиями потребителя к качеству товарной продукции.

Технологические функции перегрузочных складов

Перегрузочные склады на глубоких карьерах являются промежуточным технологическим звеном в схеме рудных потоков между карьером и фабрикой. Такие склады могут размещаться как в карьере, так и на верхней промплощадке карьера или фабрики. По способу образования такие склады относятся к автомобильному и железнодорожному типам. Конструктивные параметры карьерных складов определяются технологией разгрузочно-погрузочных работ и имеют вытянутую форму вдоль железнодорожных тупиков. По способу формирования их относят к отвально-бульдозерному типу. Они относятся к классу открытых, напольного типа и выполняют следующие технологические функции:

- ✦ являются связующим звеном между видами технологического транспорта;
- ✦ аккумулируют определенные объемы рудной массы с целью создания условий для ритмичной работы автомобильного и железнодорожного транспорта;
- ✦ обеспечивают условия независимой работы карьера по добыче руды от приема фабрики и работы железнодорожного транспорта;
- ✦ формируют качество руды в геометрических объемах складов.

Пропускная способность склада должна гарантированно погашать влияние простоев транспорта и, следовательно, карьера и фабрики.

Выполнение этого условия относится к категории необходимого и достаточного резерва сменных мощностей в карьере, что позволяет исключить взаимообусловленные простои карьера и фабрики, которые приводят к потере производительности всей системы. Эти потери оцениваются величиной

$$\Delta Q = \frac{2\sigma}{\pi} \sqrt{1 - r_{xy}},$$

где σ — стандарт сменной производительности карьера, тыс. т.

Формирование планового качества рудной массы на складе является главной производственной задачей, от успешного решения которой зависит весь технологический цикл пер-

вичной переработки сырья и глубокого обогащения. При всем многообразии горно-технических условий добычи сырья все же просматриваются некоторые общие принципы и закономерности формирования рудных штабелей на перегрузочных складах.

Количество перегрузочных складов в карьере определяется нагрузкой на автотранспорт и оптимальным расстоянием перевозок горной массы. На больших карьерах, как правило, организуют 5 и более внутрикарьерных перегрузок. Естественно, что в фиксированный момент времени на некоторые из них не производится подача руды. За каждым складом закрепляется несколько рудных забоев таким образом, чтобы сформировать в штабеле плановое содержание контролируемого показателя в объемах сменной добычи. Количество рудных забоев колеблется от 1 до 7-9. Однако, в силу различных причин, в одновременной работе находится от 1 до 3-4 забойных экскаваторов. Количество рудных забоев, участвующих в формировании склада, определяет уровень усредненности руды и ее соответствие плановым значениям качественных характеристик в объемах склада.

Эффективность усреднения руды на карьерных складах

Усреднительный эффект на складах полностью определяется технологией формирования его внутренней структуры. Для этого необходимо иметь $n \geq 2$ «питающих» рудных забоев и длину фронта разгрузки не менее $L \geq 10Ш_K$, где $Ш_K$ — ширина кузова автосамосвала.

Отсыпка рудного штабеля ведется под откос последовательно по всему фронту формируемой секции склада, так что в одну точку последовательно разгружается от 3 до 5 автосамосвалов в зависимости от высоты штабеля и грузоподъемности автотранспорта и ширины экскаваторной заходки. В результате в поперечном сечении склада образуется сложная (пятнисто-полосчатая) структура, обеспечивающая перемешивание рудной массы, поступившей из разных забоев, при экскавации.

Коэффициент усреднения руды на складах (η) рассчитывается через отношение амплитуды колебаний содержания контролируемого показателя выходного $\sigma_{вых}$ и входного $\sigma_{вх}$ рудных потоков.

$$\eta = 1 - \frac{\sigma_{вых}}{\sigma_{вх}}.$$

Опыт горных предприятий показывает, что:

- ✦ карьерные перегрузочные склады обладают невысоким усреднительным эффектом в силу двух основных факторов: крупность куска и малая зона эффективно-го смешивания, которая оценивается толщиной стружки черпания ($\eta=10-40\%$);
- ✦ специальные усреднительные склады предусматривают специальную технологию формирования внутренней структуры, что обеспечивает лучшую степень смешивания рудного материала ($\eta=40-60\%$).

Связь качественных характеристик минерального сырья с гранулометрическими характеристиками

Не столь многочисленные, но вполне достоверные данные опробования рудного материала различной крупности, выполненные на ряде горных предприятий, показали, что содержание компонентов в рудной мелочи и кусковом ма-

териале отличаются друг от друга на величину, превышающую на несколько порядков погрешность химанализа. Эти отклонения для каждого генетического типа месторождений имеют вполне определенный знак. Так, оценка качества магнетитового сырья производится по содержанию вредных примесей (CaO , SiO_2). Отмечается, что мелочь (фракция менее 15 мм — песок) во всех случаях относится к некондиционному сырью и исключается из рудного потока, направляемого на переработку. При опробовании нефелиновых руд глинозема отмечается, что фракция -100 мм относится к некондиционной из-за пониженного содержания Al_2O_3 . Поэтому практикуют послойную отработку усреднительных складов.

Аналогичная закономерность отмечается для вкрапленных хромитовых и железных руд, где связь содержания с крупностью просматривается не только в рудной массе, но и в продуктах обогащения — мелкие фракции горных пород более богаты, чем крупные.

На ряде горных предприятий это явление использовано как этап рудоподготовки на карьерах.

Так, на Михайловском ГОКе, добывающем железные руды с содержанием 46-65%, отмечается, что мелкая фракция 0-100 мм на 10-15 % богаче крупной (фракция +100 мм) и одновременно характеризуется повышением прочности пород.

На Ачинском глиноземном комбинате учитывается эффект сегрегации рудного материала при отсыпке складов забалансовых руд. Здесь отмечено, что мелкие фракции (-100 мм) содержат Al_2O_3 ниже промышленных кондиций. Поскольку в верхней части штабеля выход мелких фракций составляет более 70%, опробован способ разделения штабеля на два подступа. В результате достигнуто извлечение кондиционных руд из состава забалансовых, снижены потери руды и ее разубоживание.

Схемы рудоподготовки с включением процесса грохочения и использованием эффекта сегрегации при формировании рудных штабелей испытаны на Киргитейском магнетитовом карьере и Кия-Шалтырском нефелиновом руднике.

Технология сухой дезинтеграции и классификации фосфоритных руд испытана на Чилиссийском фосфоритном руднике. Испытания показали, что пески с содержанием P_2O_5 3,5-4,9% извлекаются из исходной руды в количестве 46-55%, что приводит к повышению качества исходной руды для обогащения.

Опыт Тырнаузского комбината показывает целесообразность применения схем рудоподготовки в карьере при отработке некондиционных руд как в карьере, так и в отвалах. Дробление с последующим грохочением позволяет выделить мелочь размером 13 мм с содержанием молибдена в 2,3 раза выше, чем в исходной руде.

Технологический резерв как основное условие устойчивого функционирования горного предприятия

Один из вопросов в практике проектирования горных предприятий сводится к обоснованию и расчету резерва производственных мощностей, как отдельных элементов, так и системы в целом. Этот резерв предназначен для обеспечения проектной пропускной способности обогатительного комплекса, что функционально связывается с пропускной способностью транспортных магистралей от рудного забоя

до приемных бункеров обогатительного комплекса; наличием дополнительных единиц горно-транспортного оборудования, развитием фронта горных работ, обеспеченностью готовыми к выемке запасами горной массы и потенциальными ресурсами системы технологического управления всем процессом извлечения полезных ископаемых из недр.

Устойчивая ритмичная работа системы «поставщик-потребитель» обеспечивается необходимым и достаточным резервом мощности потребителя Δg_y по отношению к мощности поставщика. Это положение относится к категории «закон» и потому наравне с законом материального баланса может быть принято в качестве второго основного закона организации горного производства.

Содержание резерва требует значительных средств, с одной стороны, а с другой — наличие резерва до минимума снижает долю риска производителя в возможном невыполнении договорных обязательств. Следовательно, затраты связываются с резервом мощностей системы некоторой зависимостью $3 = f(\Delta g_y)$, такой, что

$$\frac{d3}{d\Delta g_y} = f'(\Delta g_y) = 0,$$

что означает наличие оптимума у этой функции. Основным следствием невыполнения этого условия является снижение производительности не только потребителя продукции, но и всей системы «рудник-фабрика». Потеря производительности системы некоторым образом связывается с амплитудой колебаний объемов подачи руды на фабрику. Выполненные нами исследования показывают также то, что геометрические особенности динамического ряда $g_x(t)$ должны рассматриваться как второй фактор, определяющий уровень потерь производительности системы.

Третий фактор, определяющий уровень потерь производительности системы, связывается с характером распределения показателя g_x (объем поставок руды на фабрику). Динамический график $g_x(t)$ на значительном временном интервале хорошо согласуется с условием стационарности и эргодичности, что позволяет его геометrizовать в форме простейшего потока или потока Пуассона. Для такого потока амплитудная характеристика распределяется по нормальному закону, а частотная характеристика (τ) — по экспоненциальному:

$$P(\tau) = \lambda_{exp} (-\lambda \tau), \\ \lambda = 1/\tau,$$

где λ параметр распределения. Опуская вычислительные операции, в окончательном виде имеем:

$$\Delta g_y = -0,4\sigma = -0,133A,$$

где A — максимальная амплитуда изменения Q .

Следовательно, на потерю производительности системы «рудник-фабрика» прямое влияние оказывает только амплитудная характеристика динамического ряда, а частотная характеристика не относится к влияющим факторам. Таким образом, как теореме можно сформулировать следующее утверждение: если в динамической системе «поставщик — потребитель» потенциальная мощность $g_0(y)$ элемента «потре-

битель» меньше потенциальной мощности элемента «поставщик», то фактическая производительность системы будет ниже ее номинального значения $g_0(y)$ на величину Δg_y , определяемую максимальной амплитудой колебаний:

$$\begin{aligned} \Delta g_y &= -0,54 && \text{для «телеграфной волны»;} \\ \Delta g_y &= -0,318A && \text{для синусоиды} \\ \Delta g_y &= -0,133A && \text{для простейшего потока.} \end{aligned}$$

Наличие резерва производственной мощности фабрики (δg_y) снижает уровень потерь производительности фабрики по приему руды, а значит и всей системы по ее переработке. Равенство $\bar{g}_x = \bar{g}_y$ достигается при выполнении условия $\delta g_y = A$. Таким образом, можно постулировать, что необходимым и достаточным условием устойчивого функционирования системы «рудник-фабрика» является равенство потенциальных мощностей $g_0(x) = g_0(y)$ при том, что средняя производительность системы $\bar{g}$ будет ниже g_0 :

$$\bar{g}_x = \bar{g}_y, g_0(x) = g_0(y), \text{ при } \bar{g} < g_0.$$

В связи с изложенным, следует рассмотреть пути снижения степени зависимости производительности фабрики от рудника. Теоретически существуют три альтернативных пути инженерного решения задачи. *Первый путь* связывается с созданием жестких, детерминированных технологических связей между всеми элементами системы (в нашем рассмотрении – между элементами $X \rightarrow Y$). Это стимулирует развитие и внедрение систем АСУТП на всех этапах рудоподготовки, доставки и приема руды, с одной стороны, а с другой – доведение степени надежности работы всех элементов системы до единицы. Поскольку КПД механических систем никогда не достигает единицы, такое направление может реализоваться только в комплексе с другими инженерными решениями. В результате, могут быть созданы условия для стабильного во времени питания фабрики рудой.

Второй путь – создание избыточного резерва производственных мощностей по отношению к фактическому технологическому режиму. Этот путь затратный и требует оптимизации указанных резервов.

Третий путь связывается с конструированием трехзвеновой параллельной структурной схемы, у которой элемент Z выполняет функцию стабилизатора. Такие структуры широко используются в сложных технологических схемах.

По итогам представленного анализа можно констатировать:

- ✧ производительность системы определяется последним элементом (звеном) этой системы. Потенциальные возможности этого элемента определяют регламент всей технологической схемы добычных работ;
- ✧ сбалансированность элементов системы между собой достигается резервом мощности в каждом из них. Это снижает степень зависимости между смежными элементами системы, что обеспечивает стабильность технологического ритма работы всей системы;
- ✧ конструирование параллельных структурных схем – наиболее рациональный путь совершенствования технологических схем, повышения производительности, снижения степени риска;

✧ резерв мощности системы, сконструированной по схеме последовательного расположения технологических операций, определяется резервом мощности слабого звена (элемента) этой системы. Параллельные технологические схемы (линии) снижают до минимума степень риска в сбое системы. Рассмотренный методический подход позволяет выполнять инженерные расчеты по оптимизации резервов, степени риска и связанных с этим затрат.

Критерии сбалансированности технологической системы

К числу важнейших факторов обеспечения эффективной работы горного предприятия, как совокупности отдельных элементов технологической системы, следует отнести сбалансированность их производственных мощностей. На горном предприятии технологическая система формирует грузовой поток или поток горной массы, вывозимой из карьера или шахты. Этот поток начинает формироваться в экскаваторном забое на карьере и рудном блоке в шахте и заканчивается на приемном бункере ДОФ, либо на складе товарной продукции, если речь идет о руде, и отвале вскрышных пород и некондиционного сырья, если речь идет о второй составляющей потока горной массы.

Естественно, что достаточным условием функционирования карьера является выполнение равенства производительности карьера (Q_k) и фабрики (Q_f).

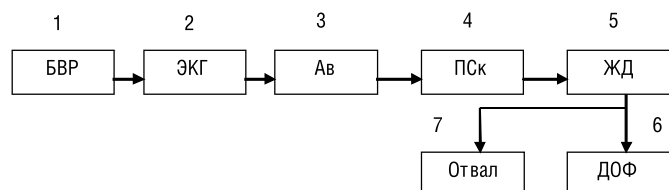
При этом необходимым условием служит равенство

$$\bar{Q}_k + \Delta Q_k = \bar{Q}_f + \Delta Q_f, \quad (9)$$

где $\bar{Q}_k, \bar{Q}_f$ – соответственно, средняя производительность карьера и фабрики, тыс.т.; $\Delta Q_k, \Delta Q_f$ – соответственно, технологический резерв производственной мощности карьера и фабрики, тыс.т.

Представим поток горной массы в общем виде в форме структурных элементов технологической системы для условий карьера.

Система включает в себя 7 элементов (m), расположенных в строгом соответствии с последовательностью трансформации состояния горных пород от массива до первичного передела. Эта система считается технологически сбалансированной в режиме реального времени, если соблюдается условие:



$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_7.$$

Естественно, что каждое техническое средство (буровой станок, экскаватор, автосамосвал, локомотивосостав) характеризуется степенью технической готовности к выполнению механической работы (K_j). Степень готовности технологической цепочки 1-2 к работе может быть оценена через вероятность совместных событий (коэффициент готовности оборудования к работе имеет вероятностный смысл).

$$K_{\Gamma}(c) = \prod_{i=1}^N K_{\Gamma}(i),$$

но $K_{\Gamma}(1) = 1 - (1 - K_{\text{бс}})^{n_1}$; $K_{\Gamma}(2) = 1 - (1 - K_{\text{э}})^{n_2}$;

$$K_{\Gamma}(3) = 1 - (1 - K_a)^{n_3}; K_{\Gamma}(4) = 1 - (1 - K_{\text{ск}})^{n_4},$$

где $K_{\text{бс}}$, $K_{\text{э}}$, K_a , $K_{\text{ск}}$ — соответственно, коэффициенты готовности к работе бурового станка, экскаватора, автосамосвала и перегрузочного склада; n_1 , n_2 , n_3 , n_4 — соответственно, количество буровых станков и автосамосвалов, закрепленных за экскаваторным забоем. Тогда (11) примет вид:

$$K_{\text{э}}(c) = K_{\text{э}}(1)K_{\text{э}}(2)K_{\text{э}}(3)K_{\text{э}}(4).$$

Так, если коэффициент готовности ($K_{\text{э}}$) единицы оборудования принять равным 0,98, количество буровых станков $n_1 = 2$, количество автосамосвалов $n_3 = 5$, готовность склада по приему руды равной 1, то готовность всей системы из четырех элементов оценится величиной $K_{\text{э}}(c) = 0,9796$.

$$K_{\text{э}}(c) = (1 - 0,02^2) 0,98(1 - 0,02^5)1 = 0,9796.$$

Можно принять, что отношение коэффициентов готовности единиц оборудования к работе характеризует потенциальное состояние системы (α). Тогда:

$$\alpha_{2-1} = \frac{K_{\Gamma}(1)}{K_{\Gamma}(2)}, \quad \alpha_{2-3} = \frac{K_{\Gamma}(3)}{K_{\Gamma}(2)}.$$

Значение $\alpha > 1$ означает, что в смежном элементе по отношению к центральному, имеется резерв; $\alpha < 1$ фактически означает, что смежный элемент не сбалансирован с основным элементом системы и является потенциально сдерживающим.

$$\alpha_{2-1} = \frac{(1 - 0,02^2)}{0,98} = 1,02; \quad \alpha_{3-2} = \frac{(1 - 0,02^5)}{0,98} = 1,02.$$

В нашем примере ни процесс подготовки фронта работы для экскаватора, ни процесс транспортирования горной массы не являются потенциально сдерживающими факторами по отношению к работе экскаватора.

В условиях действующей системы сбалансированность может оцениваться через коэффициент использования рабочего времени K_u и календарного времени $K_{\text{к}}$.

$$K_u = \frac{t}{T_{\text{п}}}, \quad K_{\text{к}} = \frac{t}{T},$$

где t — чистое время работы оборудования; T , $T_{\text{п}}$ — соответственно, календарное время и плановое время работы.

$$T_{\text{п}} = T - \Delta T_{\text{п}}, \\ t = T_{\text{п}} - \Delta T_{\text{пп}},$$

где $\Delta T_{\text{п}}$, $\Delta T_{\text{пп}}$ — соответственно, плановые и не плановые простои оборудования.

Плановые простои оборудования корреспондируются с коэффициентом готовности, не плановые простои определяют фактическую производительность этого оборудования. Эти простои подразделяются на технические, организационные и технологические и подлежат индивидуальному изучению причин. Коэффициент использования рабочего времени (K_u) относится к динамическим характеристикам процесса и потому может исследоваться с использованием вероятностных методов.

Анализ динамических графиков работ позволяет произвести оценку использования производственных мощностей всей системы, если в качестве критерия воспользоваться отношением текущей производительности к максимально достигнутой в исследуемый временной интервал.

$$K_u(Q) = \frac{Q_{\phi}}{Q_{\text{max}}}.$$

Этот прием позволяет перейти от исследования распределения абсолютных значений производительности системы к трансформированному показателю, который изменяется в интервале $0 \leq K_u(Q) \leq 1$. Важным преимуществом $K_u(Q)$ следует признать то обстоятельство, что он поддается сравнению с аналогичными показателями независимо от самого производства, приобретая, тем самым, некую универсальность, а, следовательно, подлежит научному обоснованию и всестороннему изучению.

Практически тезисное рассмотрение проблемы всё же позволило оконтурить область теоретических вопросов, которые связаны с решением задачи оценки эффективности рудоподготовительного комплекса горного предприятия как на стадии разработки технического проекта горных работ, так и в процессе активного их ведения. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В. Рудоподготовка на карьерах. - Екатеринбург: ИГД УРАН, 1999, 426 с.
2. Молчанов О.Н., Климов В.В., Колесник В.Л. Автоматический контроль качества железорудного сырья в технологических потоках горного производства // Горный журнал. - 1988. - № 2. - С. 31-36.
3. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. - М.: Недра, 1980. - 248 с.
4. Бастан П.П., Гальянов А.В., Костина Н.К. К методике расчёта складов - аккумуляторов в системе горного производства // Труды / ИГД МЧМ СССР. - Свердловск, 1975. - вып. 47. - С. 22-27.