

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Исследование условий современного состояния производственно-экономической деятельности горнодобывающих предприятий показывает, что выбор оптимального варианта развития горных работ необходимо обосновывать исходя из наилучшего распределения во времени использования объемов пород и руды и, кроме того, нужен объективный критерий оценки рассматриваемых вариантов.

При этом необходимо отметить, что в процессе анализа технико-экономических показателей работы железорудных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) наблюдается определенное несоответствие прогнозируемых и фактических значений результатов их производственно-экономической деятельности, что в свою очередь сказывается на качественных характеристиках концентрата (основного вида продукции ГОК), уровень стабилизации которых непосредственно влияет на оценку величины значения неопределенности возможных незапланированных расходов и потерь производственного процесса предприятия [1, с. 2].

Методом коллективной экспертной оценки причин возникновения указанной проблемы было установлено, что рекомендованные оптимальные пределы обогащения железных руд не были достигнуты из-за несовершенства методов экономической оценки управленческих решений менеджмента горнорудного предприятия (ГРП) [6, с. 73]. Последнее усугублялось определенными проблемами относительно обеспечения соответствующего уровня техники и технологии переработки руд в результате резко менявшихся условий горных работ, снижения качества добываемых железистых кварцитов с ростом глубины и наличия на месторождениях нескольких технологических сортов руд и их валовой переработки на обогатительных фабриках [3-6].

Таким образом, на сегодня для достижения желаемых положительных технико-экономических показателей ГРП, что должно обеспечить их рациональное функционирование, актуальными являются задачи, решения которых будут направлены на строгое выполнение заданных нормативных технико-экономических показателей (в частности, коэффициентов ритмичности, пропорциональности, непрерывности, параллельности, прямооточности и др.). Обобщая, можно сказать, что именно эти показатели являются ключевыми характеристиками технико-экономических результатов функционирования технологических процессов ГРП [6, с. 31].

В этой связи главной задачей статьи можно поставить рациональное использование теории вероятностей и закона больших чисел. В теории вероятностей закон больших чисел основывается на доведении ряда теорем для различных условий сходимости по вероятности средних значений результатов (на основании большого количества наблюдений) к некоторым величинам [7, с. 78-80].

Под законом больших чисел понимают несколько теорем. В частности, одна из теорем Чебышева формулируется следующим образом: при неограниченном увеличении независимых испытаний (n) среднее арифметическое значение переменных свободных от систематических ошибок эксперимента можно считать в качестве элементов участвующих в эксперименте и имеет определенное значение точечных результатов наблюдений x_i случайной величины X , имеющей конечную дисперсию $D(X)$, что совпадает по вероятности с математическим ожиданием $m_x = M(X)$ этой случайной величины.

Это можно записать

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - m_x \right| < \tau \right\} = 1, \quad (1)$$

где τ – как угодно малое положительное число.

Вместе с тем теорема Бернулли трактует: при неограниченном увеличении числа независимых проб (n) при одних и тех же условиях относительная частота $\frac{m}{n}$ наступления случайного события совпадает с вероятностью p , то есть

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{m_i}{n} - p \right| < \tau \right\} = 1. \quad (2)$$

Согласно этой теореме для получения вероятности определенного события $p_i, i = 1, \dots, k$ вычисляют относительные частоты $p_i = \frac{m_i}{n}$ для числа реализаций, равного n . Результаты усредняют и с некоторым приближением получают искомые вероятности состояний системы. Чем больше будет n , тем точнее будет результат вычисления этих вероятностей. Это в нашем случае объясняет обоснованность использования метода статистического моделирования для решения задачи оценки выхода товарного концентрата γ из руды, заказанной потребителем качества β_j , и других экономических показателей процесса доразведки запасов железорудного сырья на основе больших выборок натурной информации о значении выхода концентрата, обусловленных i -м качеством запасов ресурсов железорудного сырья в блоках карьера ГРП.

При этом отклонения от установленного режима распределения запасов ресурсов железорудного сырья в первую очередь отражаются на ритмичности работы предприятия в целом и вместе с тем вызывают нарушение других основных принципов рациональной организации производства, что в итоге негативно сказывается на эффективности использования как основных, так и оборотных фондов предприятия.

Актуальность обозначенных выше задач ГРП позволяет сформировать *цель* науч-

ного исследования этой статьи, а именно: теоретическое обоснование и разработка инструментария процесса управления рациональным использованием производственных мощностей ГРП в процессе переработки железорудного сырья в концентрат, используя объективные критерии оценки эффективности управления распределением имеющихся запасов ресурсов железной руды.

В соответствии с рекомендациями специалистов горного дела решение указанной проблемы осуществлялось в основном посредством совершенствования техники (увеличение единичной мощности, создание новых машин и механизмов), технологии (многостадийные схемы, классификация и дешламация) и геолого-технологического картирования месторождений (для обеспечения необходимого соотношения технологических разновидностей руд в общем потоке). Вместе с тем не всегда учитывается экономический аспект процесса производства концентрата.

Проведенные исследования, которые касаются как усовершенствования управления запасами ГРП, так и повышения эффективности использования их производственных фондов за счет рационализации управления самим процессом производства путем синхронизации входа и выхода производственной системы предприятия, показывают, что учету взаимосвязи между горно-геологическими, технико-экономическими и другими условиями, которые влияют на разработку месторождений, оценке качества полезных ископаемых, которая осуществляется в соответствии с требованиями действующих государственных, отраслевых стандартов, технических условий, должно уделяться больше внимания. При этом важно учитывать технологические аспекты добычи полезного ископаемого и его переработки, что в конечном итоге обеспечивает высокоэффективное комплексное использование добытого железорудного сырья.

На основании изложенного выше можно утверждать, что для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей производства концентрата в настоящее время не теряет своей актуальности необходимость в организации решения задач оптимизации плана развития ГРП с позиций оценки объемов и структуры его минерально-сырьевой базы и кондиций промышленных запасов

железородного месторождения с учетом процессов их разведки и эксплуатации для уточнения по показателям выхода концентрата из руды, что обусловлено необходимостью отслеживания одновременного функционирования в современных условиях разработки карьеров большого количества технологических линий, которые могут формировать, усреднять и перемещать несколько разделенных рудопотоков с заданными характеристиками для переработки руд на концентрат по индивидуальным режимам обогащения.

Установлено, что вероятностная природа геологических показателей по количеству, качеству и пространственному положению залежей железной руды в недрах порождает дополнительную неопределенность при оценке экономических показателей освоения месторождений и усложняет задачу оценки запасов железородного сырья по его добыче и переработке на конечную продукцию. Вместе с тем исследование выборок технико-экономических показателей производства железородного концентрата, в частности ОАО "Ингулецкий ГОК", показывает, что допущение об их нормальном законе распределения, на основе которого осуществляется моделирование экономических показателей проектов разведочных и эксплуатационных кондиций запасов железородного сырья ГРП с учетом риска, является несколько грубым.

Анализ сопоставления динамики плановых (смоделированных предприятием) и фактических значений выхода концентрата из руды помесечно за 2008-2010 гг. (на примере обогатительной фабрики № 2 Ингулецкого ГОКа) показывает, что в подавляющем большинстве периодов планирования прогнозные значения выхода концентрата существенно отличаются от фактических значений соответствующих периодов. При этом определенный коэффициент детерминированности (уровень надежности) показывает низкую корреляцию между динамикой плановых и фактических значений выхода концентрата, что соответствует в 2008 г. – 0,52; в 2009 г. – 0,14 и в 2010 г. – 0,34.

Следовательно, указанное обуславливает актуальность совершенствования моделирования экономических показателей процессов дооценки запасов железородного сы-

рья, в частности как результата выхода концентрата из руды в контексте снижения его себестоимости и достижения максимально возможных уровней производительности оборудования в цикле измельчения и обогащения руды соответственно индивидуальных режимов технологических линий с ограниченными производственными мощностями.

Проведенные исследования результатов деятельности предприятия относительно прогнозов и анализа качества исходного сырья приведены в таблице.

За критерии оценки прежде всего была выбрана абсолютная ошибка прогноза

$$\Delta_{np} = \sigma_t - \sigma_{ii}^* \quad (3)$$

где σ_t – фактическое значение среднего квадратического отклонения качественных показателей железной руды ретроспективного периода, полученное в результате экспресс-анализа проб, отобранных от конкретных объемов руды в контрольные смены за каждый час; σ_{ii}^* – прогнозное значение среднего квадратического отклонения качественных показателей железной руды i -го варианта моделирования ($i = 1; 2$).

Кроме этого, необходимо было учитывать и другие статистические показатели качества процесса, в том числе абсолютное значение ошибки

$$\bar{\Delta}_{np} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\sigma_t - \sigma_{ii}^*| \quad (4)$$

Недостатком приведенных показателей есть то, что значения этих характеристик зависят от масштаба измерения уровней данных эксперимента.

Потому абсолютную ошибку прогноза Δ_{np} важно определять в процентах относительно фактических значений показателя

$$\varepsilon_{np} = \frac{\sigma_t - \sigma_{ii}^*}{\sigma_t} 100, \quad (5)$$

а средняя относительная ошибка вычисляется по формуле

$$\bar{\varepsilon}_{np} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{\sigma_t - \sigma_{ii}^*}{\sigma_t} \right| 100. \quad (6)$$

В качестве сравнительных показателей точности прогнозов выбраны коэффициенты несоответствия.

Коэффициент несоответствия KH

$$KH = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\sigma_t - \sigma_{ii}^*)^2}{\sum_{t=1}^T \sigma_t^2}} \quad (7)$$

Таблица

Анализ качества прогнозов числовых характеристик
относительных качественных показателей железной руды

Год	Месяц	Факт	Модель 1	Модель 2	Показатели точности прогноза			
					Модель 1		Модель 2	
					Δ_{np}	$\bar{\Delta}_{np}$	Δ_{np}	$\bar{\Delta}_{np}$
2008	I	3,09	2,93	3,02	0,16	5,18	0,07	2,27
	II	2,57	2,28	2,48	0,29	11,28	0,09	3,50
	III	2,64	3,04	2,65	-0,40	-15,15	-0,01	-0,38
	IV	3,08	2,85	2,94	0,23	7,47	0,14	4,55
	V	2,79	2,8	2,93	-0,01	-0,36	-0,14	-5,02
	VI	2,64	2,64	2,72	0,00	0,00	-0,08	-3,03
	VII	2,24	2,85	2,36	-0,61	-27,23	-0,12	-5,36
	VIII	2,93	2,75	2,91	0,18	6,14	0,02	0,68
	IX	2,52	2,64	2,70	-0,12	-4,76	-0,18	-7,14
	X	3,18	3,18	3,14	0,00	0,00	0,04	1,26
	XI	2,96	2,80	2,89	0,16	5,41	0,07	2,36
	XII	2,57	2,59	2,69	-0,02	-0,78	-0,12	-4,67
2009	I	2,83	2,71	2,93	0,12	4,24	-0,10	-3,53
	II	2,6	2,94	2,54	-0,34	-13,08	0,06	2,31
	III	2,87	2,82	2,89	0,05	1,74	-0,02	-0,70
	IV	2,57	2,43	2,53	0,14	5,45	0,04	1,56
	V	2,28	2,65	2,42	-0,37	-16,23	-0,14	-6,14
	VI	3,11	2,84	2,97	0,27	8,68	0,14	4,50
	VII	2,77	2,64	2,73	0,13	4,69	0,04	1,44
	VIII	2,44	2,67	2,51	-0,23	-9,43	-0,07	-2,87
	IX	2,11	2,47	2,15	-0,36	-17,06	-0,04	-1,90
	X	2,82	2,85	2,88	-0,03	-1,06	-0,06	-2,13
	XI	2,47	2,26	2,36	0,21	8,50	0,11	4,45
	XII	3,2	3,27	3,12	-0,07	-2,19	0,08	2,50
2010	I	3,34	3,00	3,27	0,34	10,18	0,07	2,10
	II	2,7	2,70	2,73	0,00	0,00	-0,03	-1,11
	III	2,25	2,29	2,31	-0,04	-1,78	-0,06	-2,67
	IV	1,69	2,74	1,76	-1,05	-62,13	-0,07	-4,14
	V	3,02	2,93	3,06	0,09	2,98	-0,04	-1,32
	VI	2,72	2,57	2,74	0,15	5,51	-0,02	-0,74
	VII	3,23	3,13	3,23	0,10	3,10	0,00	0,00
	VIII	2,85	2,71	2,76	0,14	4,91	0,09	3,16
	IX	2,83	2,72	2,91	0,11	3,89	-0,08	-2,83
	X	2,89	2,74	2,78	0,15	5,19	0,11	3,81
	XI	2,98	3,14	2,97	-0,16	-5,37	0,01	0,34
	XII	2,98	2,83	2,81	0,15	5,03	0,17	5,70
$\bar{\sigma}$		2,74	2,76	2,74	-	-	-	-

В случае идеального прогноза $KH = 0$ и $KH = 1$, когда прогноз имеет такую же ошибку, что и экстраполяции неизменности, KH не имеет верхней границы.

Модифицированный коэффициент несоответствия KH_1 вычисляется как отношение средней квадратической ошибки к той же ошибке, что имела бы место, если в каче-

стве прогноза принять среднее значение переменной за весь период

$$KH_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T (\sigma_i - \sigma_{ii}^*)^2}{\sum_{i=1}^T (\bar{\sigma} - \sigma_i)^2}}, \quad (8)$$

где

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \sigma_i. \quad (9)$$

Если $KH_1 > 1$, то прогноз на уровне среднего значения дал бы лучший результат, чем существующий прогноз.

Таким образом, в практике управления процессами производства горнодобывающих предприятий на этапе их экономико-математического моделирования важно отражать динамику развития горных работ в пространстве и времени. Несомненно, что процедура построения достаточно адекватных для таких задач аналитических моделей является довольно громоздкой, а то и вообще невозможной, например, вследствие сложности производственно-экономических операций и ситуаций, содержащих множество случайных и неопределенных неконтролируемых факторов. Несмотря на сложности, в некоторых случаях удается получить аналитические зависимости [9]. Но такие зависимости при наличии случайных факторов, а особенно неопределенных, в отдельных ситуациях удается получить в том случае, если случайный процесс является марковским или близок к нему. Такая ситуация имеет место, например, в различных системах массового обслуживания с пуассоновским входным потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания. В теории произвольных потоков событий, переводящих производственно-экономическую систему ГОК из одного состояния в другое, аналитические решения получены только для частных случаев, что еще раз говорит о наличии определенных трудностей при формализации факторов такого класса систем и целесообразности применения для их исследования посредством теории статистического моделирования.

Теоретической основой метода статистического моделирования является закон больших чисел. В теории вероятностей закон больших чисел основывается на доказательстве ряда теорем для различных условий сходимости по вероятности средних значе-

ний результатов (на основании большого количества наблюдений) до некоторых величин [9, с. 116-117].

Обобщая исследования, которые представлены в этой научной публикации, можно придерживаться гипотезы, что геолого-технологические параметры и технико-экономические показатели, используемые в процессе эксплуатации запасов железорудного сырья, и определенные экономические показатели производственно-хозяйственной деятельности ГРП являются производными от них и их можно рассматривать как случайные величины. Это позволяет использовать имеющиеся эмпирические данные деятельности предприятия и определять их теоретико-вероятностные распределения, используя в имитационном моделировании экономических результатов проектов разведывательных кондиций запасов железорудного сырья, которые поступают на подсистему производственной деятельности ГРП "аккумулирующий склад – обогатительная фабрика".

За исходный объект имитационного моделирования принимается совокупность отдельных блоков карьера, где u – количество блоков; $k = 1 \div u$; δ – порядковый номер значения выхода концентрата (γ) заявленного качества (β_j , $j = 1 \div n$) из руды с качеством (α_δ), полученного в результате исследования совокупности δ -х интервалов скважин блоков, $\delta = 1 \div m_k$, из которых формируются определенные комбинации рудопотоков $C_u^d = u! / (u-d)! d!$; d – количество блоков, задействованных для формирования одного рудопотока.

Общая постановка задачи операционно-ориентированного распределения запасов ресурсов железорудного сырья на стыке перерабатывающей подсистемы ГРП "аккумулирующий склад – обогатительная фабрика" в детерминированной постановке имеет следующую математическую формулировку:

$$F(Q, S) = \sum_{j=1}^n s_j q_j \rightarrow \min, \text{ при ограничениях}$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} q_j \geq w_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad q_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad \text{где}$$

$Q = (q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_n)$ – план выпуска товарного концентрата, $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m)$ – запасы ресурсов i -го вида железорудного сырья; $S = (s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n)$ – вектор себестоимости единицы j -го вида товарного концентрата; $A = (1/\gamma_{ij})_{mn}$ – матрица затрат выпуска товарного концентрата.

На основе формализации операционно-ориентированного распределения запасов ресурсов i -го вида железорудного сырья на стыке перерабатывающей подсистемы ГРП "аккумулирующий склад – обогатительная фабрика" с учетом гибкого корректирования матрицы затрат выпуска товарного концентрата (по результатам розыгрыша γ_δ) разработан комплекс моделей оценки экономических результатов проектов разведывательных кондиций запасов железорудного сырья с учетом риска.

Математическая концептуальная модель управления выпуском концентрата основана на минимизации погрешности вариации относительно параметров распределения выхода концентрата заказанного качества в соответствии с наличием технологических разновидностей сортов руд

$$\gamma_{ij} = \gamma_{cfz_{ij}} \left[1 - k_{np} \frac{\pm \Delta \alpha_{cfz_{ij}}}{a_{cfz_{ij}}} \right], \quad (10)$$

где γ_{ij} – смоделированный выход концентрата условно измененного качества, приведенный по ценности к концентрату желаемого качества ($\beta_{cfz_{ij}}$), доли единицы; $\gamma_{cfz_{ij}}$ – среднее фактическое значение выхода концентрата из руд данной разновидности, доли единицы; $\alpha_{cfz_{ij}}$ – расходы запаса i -го вида железорудного сырья определенного качества α_i , необходимые для производства 1 т товарного концентрата качества $\beta_{cfz_{ij}}$, доли единицы; $\Delta \alpha_{cfz_{ij}}$ – изменение затрат запаса i -го вида железорудного сырья, необходимых для производства 1 т товарного концентрата на каждый процент отклонения его от качества $\beta_{cfz_{ij}}$, доли единицы; k_{np} – коэффициент прироста выхода концентрата относительно уменьшения расходов запаса i -го вида

железорудного сырья, необходимого для его производства, который определяется как функция

$$k_{np} = f(k_{CV}^2), \quad (11)$$

где k_{CV} – коэффициент погрешности вариации относительно параметров распределения выхода концентрата γ необходимого качества β_j ($j=1, 2, \dots, n$) из руды с качеством α_δ , полученной в результате исследования δ -х интервалов скважин блоков карьера, доли единицы

$$k_{CV} = \begin{cases} 1, & \text{если } \log \frac{\chi_p^2}{aK^b + e} \leq 0 \\ CV_{dov} / CV_{norm}, & \text{если } \log \frac{\chi_p^2}{aK^b + e} > 0, \end{cases} \quad (12)$$

где a, b – коэффициенты взаимосвязи степенной функции и табличного критерия согласия χ^2 (критерия Пирсона); CV_{dov} ,

CV_{norm} – коэффициенты вариации, рассчитанные относительно показателей, сгенерированных в соответствии с произвольным и нормальным законом распределения; K – степень свободы для распределения χ^2 ;

$\log \frac{\chi_p^2}{aK^b + e}$ – оценка отклонения от нормального закона распределения выборок технико-экономических характеристик запасов ресурсов i -го вида ресурса железорудного сырья, доли единицы; e – вектор случайных величин (ошибок), доли единицы.

Выводы

Основные производственно-экономические факторы, которые в первую очередь определяют возможность раздельного формирования и обогащения рудопотоков, можно разделить на три группы:

1. Исходная информация о породах месторождения.
2. Влияние производительности карьера на экономические показатели разработки месторождения.
3. Организационно-технический уровень производственных процессов предприятия.

Последнее обуславливает необходимость дальнейшего развития одного из прогрессивных научных направлений в горном

деле – диагностики, мониторинга, прогнозирования и планирования технико-экономических показателей производства концентрата. Это позволит при соответствующем уровне организации работ в каждый конкретный момент времени определять, какая порода поступает из карьера на обогащательный передел и какой концентрат можно из нее получить.

Технико-экономический анализ работы ГОКов Украины в последние годы позволяет утверждать, что на карьерах имеются все необходимые производственные возможности для осуществления раздельного формирования рудопотоков с индивидуальными качественными характеристиками.

Литература

1. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // Качество минерального сырья: сб. науч. трудов. – Кривой Рог: Оксан-принт, 2011. – С. 60-63.
2. Азарян А.А. Качество минерального сырья / А.А. Азарян, В.А. Колосов, Л.А. Ломовцев, А.Д. Учитель. – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 203 с.
3. Бабец Е.К. Ситуационное управление технологическими процессами добычи и переработки руд (Производственный менеджмент): моногр. / Е.К. Бабец, Н.И. Горлов, С.А. Жуков. – Днепропетровск: Наука и образование, 2001. – 289 с.
4. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд / П.П. Бастан, Н.К. Костина. – М.: Недра, 1990. – 176 с.
5. Жуков С.О. Ресурсозбережения в рудных карьерах / С.О. Жуков. – Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 234 с.
6. Ситуационное регламентирование геотехнологий с разделенными рудопотоками: моногр. / С. Жуков, Н. Горлов, Ш. Фарси, Н. Буауджа. – Кривой Рог: Минерал, 2004. – 210 с.
7. Лук'яненко І.Г. Економетрика: підручник / І.Г. Лук'яненко, Л.І. Краснікова. – К.: Товариство "Знання", КОО, 1998. – 301 с.
8. Статистическое моделирование и прогнозирование / Г.М. Гамбаров, Н.М. Журавель, Ю.Г. Королев и др.; под ред. А.Г. Ганберга. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 383 с.
9. Афанасьев І.Є. Концептуальні положення та інструментарій імітаційного моделювання щодо підвищення ефективності управління собівартістю залізородної продукції // Моделювання та інформаційні системи в економіці: зб. наук. праць. – К.: ДВНЗ "Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана", 2011. – Вип. 83. – С. 106-119.

Представлена в редакцію 11.09.2012 г.