ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ 1969 том V, вып. 6

НЕКОТОРЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Х. Н. ГИЗАТУЛЛИН

(Свердловск)

Многочисленные взаимосвязи между технико-экономическими показателями отдельных подразделений горно-металлургического комплекса усложняют планирование его развития. Современная технология металлургического процесса требует более совершенного учета технико-экономических показателей планирования развития отдельных звеньев производства.

В принципе можно построить единую модель оптимального развития горно-металлургического комплекса, учитывающую основные требования, предъявляемые к планированию отдельных подразделений. Однако с точки зрения вычислительной техники вряд ли оправдано решение задачи по таким моделям. Они могут служить скорее для выявления тенденции развития всего горно-металлургического комплекса на далекую перспективу. Представляется целесообразным проводить планирование развития его по следующим двум этапам:

а) определение плана-прогноза на основе исследования развития комплекса по производству различного уровня конечного продукта, при этом предполагается оценка сырьевой базы по укрупненным показателям;

б) определение планов развития отдельных звеньев комплекса по детализированным моделям с учетом основных параметров, связывающих отдельные подразделения.

МОДЕЛЬ ПЕРВОГО ЭТАПА ПЛАНИРОВАНИЯ

Будем считать, что конечным продуктом предприятия является чугун, и металлургический завод выплавляет только передельный чугун (в противном случае различные виды чугуна можно привести к передельному с помощью коэффициентов приведения). Далее, пусть железорудная база металлургического завода представлена n месторождениями, каждое из которых характеризуется рудами только одного типа. Требуется определить план-прогноз развития отдельных месторождений на различные уровни производства чугуна при условии достижения наименьших затрат к концу планируемого периода.

Введем следующие обозначения: x_{it} — объем добычи i-го вида руды (i-го месторождения) в t-м планируемом году, $i = 1, \ldots, n$, $t = 1, \ldots, T$, $a_{it}(x_{i,\, t-1})$, $A_{it}(x_{i,\, t-1})$ — соответственно нижняя и верхняя возможные границы добычи руды i-го вида в t-м году как функция от объема добычи в t — 1-м году; w_{it} — коэффициент выхода чугуна из единицы объема руды i-го вида в t-м году; b_{it} — выход шлака при плавке чугуна из единицы объема i-го вида руды в t-м году.

Затраты на чугун, полученный из единицы объема руды i-го вида, складываются из следующих слагаемых; затрат на добычу, переработку (обогащение и агломерирование) и транспортировку руды, затрат на топливо и флюсы, затрат по переделу в доменном цехе.

Таким образом, затраты на чугун, выплавленный из руды i-го месторождения в t-м планируемом году, можно представить в виде функции

$$g_{it}(x_{i,\,t-1}, x_{it}) = [\varphi_{it}(x_{i,\,t-1}x_{it}) + T_{it} + \alpha_{it} + \beta_{it} + c_{it} - \bar{c}_{it}]x_{it},$$

где $\varphi_{it}(x_{i,\,t-1}, x_{it})$ — удельные затраты на добычу и подготовку единицы объема руды i-го месторождения в t-м году, т. е. функции от объема ее добычи в двух смежных годах планируемого периода, причем если $x_{i,\,t-1} = x_{it}$, то функция выражает себестоимость добычи, при $x_{i,\,t-1} \neq x_{it}$ функция, помимо себестоимости, учитывает затраты, вызванные изменением объема добычи из года в год; T_{it} — транспортные затраты на единицу объема руды; α_{it}, β_{it} — соответственно затраты на топливо и флюс для чугуна, полученного из единицы объема i-го вида руды в t-м году; c_{it} — затраты по переделу на чугун, полученный из единицы объема i-го вида руды в t-м году; $\bar{c}_{it}$ — стоимость используемых отходов производства (доменный газ, колошниковая пыль, скрап и т. д.).

Математическая динамическая модель развития горно-металлургического комплекса (модель первого этапа планирования) может быть сформулирована следующим образом. Найти

$$\min \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} g_{it}(x_{i,\,t-1}, x_{it}) \tag{1}$$

при условиях

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} w_{it}x_{it} = X, \tag{2}$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} b_{it}x_{it} \leqslant Y, \tag{3}$$

$$a_{it}(x_{i,\,t-1}) \leqslant x_{it} \leqslant A_{it}(x_{i,\,t-1}), \quad i = 1, \ldots, n; \; t = 1, \ldots, T. \tag{4}$$

Здесь целевая функция (1) означает суммарные затраты на производство чугуна за весь планируемый период, причем если выделены контрольные годы (через 5 лет), то целевая функция выражает затраты по этим годам. Следует отметить, что все затраты по отдельным годам приведены к начальному или последнему году планирования. Условие (2) представляет баланс по производству чугуна за весь период планирования. Величина X, означающая суммарный объем производства чугуна по контрольным годам, может принимать значения от начального уровня производства чугуна до сколь угодно большого числа. Условие (3) выражает ограничение по выходу шлака на заданный объем чугуна. С помощью этого условия удается исследовать значение коэффициента использования полезного объема доменных печей в зависимости от качества шихтовых материалов. Выражение (4) указывает на ограниченные возможности добычи руды i-го месторождения с учетом достигнутого уровня добычи ее в предыдущем году планирования.

Смысл и значение задачи, представленной моделью (1) — (4), раскрываются в процессе решения ее методом динамического программирования [1]. Действительно, вычислительная процедура метода динамического программирования позволяет найти оптимальное решение задачи (1) — (4) как функцию от величин X, Y, т. е. найти семейство оптимальных решений для различных уровней производства чугуна и соответственно выхода шлака. Оптимальные значения целевой функции являются количественными показателями экономической оценки железорудной базы металлургического завода.

Поскольку величины X, Y в процессе решения изменяются в широких пределах и подготовка информации для модели (1)—(4) крайне трудоемка, решение (1)—(4) целесообразно проводить в два шага: на первом шаге решить задачу для каждого фиксированного t-го года, а на втором проводить динамическую взаимоувязку оптимальных решений между фиксированными годами. Задача для отдельного t-го года планирования заключается в том, чтобы найти

$$\min \sum_{t=1}^{n} g_{it}(x_{i,\,t-1}, x_{it}) \tag{5}$$

при условиях

$$\sum_{i=1} w_{it} x_{it} = X_t, \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} b_{it} x_{it} \leqslant Y_t, \tag{7}$$

$$a_{it}(x_{i,\,t-1}) \leqslant x_{it} \leqslant A_{it}(x_{i,\,t-1}), \quad i = 1, \ldots, n. \tag{8}$$

Решение задачи (5)—(8) методом динамического программирования позволяет построить оптимальные значения функции затрат от n-шагового процесса $f_{nt}(X_t, Y_t)$ для $X_t \geqslant 0$, $Y_t \geqslant 0$, где

$$f_{nt}(X_t, Y_t) = \min_{\{x_{n,\,t-1} x_{nt}\}} [g_{nt}(x_{n,\,t-1}, x_{nt}) + f_{n-1,\,t}(X_t - w_{nt}x_{nt}, Y_t - b_{nt}x_{nt})],$$

$$f_{1t}(X_t, Y_t) = \min_{\{x_{1,\,t-1} x_{1t}\}} g_{1t}(x_{1,\,t-1}, x_{1t}).$$

Динамическая взаимоувязка оптимальных решений по контрольным годам осуществляется путем решения задачи: найти

$$\min \sum_{t=1}^{T} f_{nt}(X_t, Y_t), \qquad \sum_{t=1}^{T} X_t = X,$$

$$\sum_{t=1}^{T} Y_t \leqslant Y, \qquad X_t \geqslant 0, \qquad Y_t \geqslant 0, \qquad t = 1, \ldots, T.$$

Последнюю целесообразно решать методом динамического программирования.

Функциональное уравнение при этом для T-шагового процесса имеет вид

$$F_T(X, Y) = \min_{\{X_T, Y_T\}} [f_{nT},(X_T, Y_T) + F_{T-1}(X - X_T, Y - Y_T)],$$

$$F_1(X, Y) = \min_{\{X_1, Y_1\}} f_{n1}(X_1, Y_1).$$

Примечание. Значения функций $f_{it}(X_t, Y_t)$ также зависят от величин X_{t-1}, Y_{t-1}. Чтобы не усложнять математическую запись рассматриваемых функциональных уравнений, указанную зависимость учитывать не будем. Учет ее можно осуществить при исследовании задачи по контрольным годам.

МОДЕЛИ ВТОРОГО ЭТАПА ПЛАНИРОВАНИЯ

Модели второго этапа планирования представляют систему взаимосвязанных моделей отдельных подразделений горно-металлургического комплекса, предназначенных для планирования на определенный год перспективы с более точным учетом технико-экономических показателей и технологических особенностей производства.

Модель «Рудник — обогатительная фабрика». Технический прогресс в металлургии идет по пути глубокого обогащения руд с последующей агломерацией, или окомкованием. Железные руды, когда-то применяемые в доменной плавке непосредственно, в настоящее время подвергаются обогащению и агломерации.

Обозначим множество железных руд, подлежащих обогащению, через I_1, а железные руды, отходы производства и флюс, проходящие подготовку только через агломерацию (в том числе и для окатышей), через I_2.

Пусть в рассматриваемом комплексе m обогатительных фабрик с годовыми планами выпуска концентрата заданного качества, а также максимально возможным объемом перерабатываемой рудной массы для каждой из них. Требуется определить оптимальные (по критерию минимума затрат) объемы добычи отдельных видов руд из множества I_1 при условии полной загрузки обогатительных фабрик, выпускающих концентрат заданного качества.

Математическая формулировка этой задачи следующая. Найти

$$\min \sum_{i \in I_1} \left\{ \psi_i(x_i) + \sum_{i \in I_1} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \right\} \tag{9}$$

при условиях

$$\sum_{i \in I_1} \omega_{ij} x_{ij} = D_j, \quad t = 1, \ldots, m, \tag{10}$$

$$\sum_{i \in I_1} a_{ij} x_{ij} \geqslant \tilde{D}_j, \quad j \in 1, \ldots, m, \tag{11}$$

$$\sum_{i \in I_1} x_{ij} \leqslant Q_j, \quad j = 1, \ldots, m, \tag{12}$$

$$\sum_{j} x_{ij} = x_i, \quad i \in I_1, \tag{13}$$

$$a_i \leqslant x_i \leqslant A_i, \quad i \in I_1, \tag{14}$$

$$x_{ij} \geqslant 0, \quad i \in I_1, \quad j = 1, \ldots, m, \tag{15}$$

где $\psi_i(x_i)$ — затраты на добычу руды i-го вида как функция от объема ее добычи; c_{ij} — затраты на транспортировку единицы объема руды i-го вида до j-й фабрики и затраты по переделу на этой фабрике, приходящиеся на единицу объема i-го вида руды; ω_{ij} — коэффициент выхода концентрата из i-го вида руды в j-й фабрике; D_j — годовое производство (плановый объем) концентрата в j-й фабрике; a_{ij} — коэффициент выхода полезного компонента из i-го вида в концентрат на j-й обогатительной фабрике; $\tilde{D}_j$ — количество полезного компонента в годовом производстве концентрата на j-й фабрике; Q_j — максимально возможный объем рудной массы, перерабатываемой в течение года j-й фабрикой; a_i, A_i — соответственно верхняя и нижняя возможные границы добычи руды i-го вида; x_i — искомый объем добычи i-го вида руды; x_{ij} — искомый объем i-го вида руды, перерабатываемой j-й обогатительной фабрикой.

По содержанию задача (9)—(15) близка к смесевой задаче математического программирования. В основу построения модели (9)—(15) положена идея получения концентрата из каждого вида руды гипотетическим способом с последующим смешиванием их для получения заданного объема (10) концентрата планового качества по полезному компоненту (11). При решении задачи по этой модели вполне допустимо следующее. Плановый объем выпуска концентрата выполняется при строгих неравенствах (12), что указывает на наличие резервов увеличения выпуска концентрата, и анализ решения покажет, на какой фабрике следует увеличить план выпуска концентрата до полной загрузки ее по объему перерабатываемой руды. С помощью (13), (14) регулируется объем добычи отдельных видов руд.

Модель «Рудник — обогатительная — агломерационная фабрика». В качестве шихтовых материалов для аглофабрик используется весь производимый концентрат (всего m видов, $I_3 = \{1, 2, \ldots, m\}$) и руды из множества I_2. Объем руд из множества I_2, непосредственно поступающих на агломерацию, на Урале не превышает 25% от всего объема спекаемых шихтовых материалов.

Если аглофабрика выпускает несколько видов агломерата (офлюсованный, неофлюсованный, ванадиевый, мартеновский и т. д.), будем считать, что фабрика представлена несколькими малыми аглофабриками (число которых равно количеству выпускаемых видов агломерата). Итак, пусть в горно-металлургическом комплексе имеется N аглофабрик с известными годовыми планами выпуска агломерата заданного качества и мощностями по объему перерабатываемой руды. На этой стадии повышаются требования к планированию качества выпускаемого продукта (агломерата). В соответствии с требованием технологии доменного процесса предъявляются жесткие ограничения к химическому составу агломерата, в частности, содержанию полезного компонента Fe и шлакообразующих SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3 и др. Соотношение шлакообразующих в агломерате и поступающих в агломерацию шихтовых материалов можно учитывать по-разному: соотношением вида $(CaO + MgO) : (SiO_2 + Al_2O_3)$ и $SiO_2 : CaO$ или в весовых единицах указанных химических соединений как в агломерате, так и в отдельных шихтовых материалах.

В основу построения приводимой ниже модели положена также идея получения агломерата гипотетическим способом из каждого в отдельности шихтового материала с последующим смешиванием их до получения агломерата заданного качества. Модель этой ступени планирования представляет задачу нелинейного программирования вида. Найти

$$\min\left\{ \sum_{i\in I_2\cup I_3} \psi_i(x_i) + \sum_{i\in I_2\cup I_3} \sum_{s=1}^{N} \gamma_{is} z_{is} \right\} \tag{16}$$

при условиях

$$\sum_{i\in I_2\cup I_3} a_i^0 z_{is} = P_s \quad s = 1, \ldots, N, \tag{17}$$

$$\underline{P}_{sk} \leqslant \sum_{i\in I_2\cup I_3} a_{ik} z_{ik} \leqslant \bar{P}_{sk}, \quad s = 1, \ldots, k = 1, \ldots\ l, \tag{18}$$

$$\sum_{s=1}^{N} z_{is} = x_i, \quad i \in I_2 \cup I_3, \tag{19}$$

$$\sum_{i\in I_2\cup I_3} z_{is} \leqslant V_s, \quad s = 1, \ldots, N. \tag{20}$$

$$a_i \leqslant x_i \leqslant A_i, \qquad i \in I_2 \cup I_3, \tag{21}$$

$$z_{is} \geqslant 0, \quad i \in I_2 \cup I_3; \quad s = 1, \ldots, N, \tag{22}$$

где $\psi_i(x_i)$ для $i \in I_3$ — функция затрат от объема годового производства i-го концентрата (i-й обогатительной фабрики), а для $i \in I_2$ — функция затрат от объема добычи и первичной переработки i-го вида руды; γ_{is} — транспортные и дифференцированные затраты по переделу агломерации на единицу объема i-го вида шихтового материала на s-й аглофабрике; a_i^0 — коэффициент выхода агломерата из i-го шихтового материала; P_s — годовое (плановое) производство s-го агломерата; a_{ik} — количество k-го компонента, содержащегося в агломерате, полученном из единицы объема i-го вида шихтового материала ($k = 1, \ldots, l$; l — число химических компонентов, характеризующих агломерат); $\underline{P}_{sk}$, $\overline{P}_{sk}$ — соответственно нижняя и верхняя допустимые границы содержания k-го компонента в s-м алгомерате в годовом его производстве; V_s — максимально возможный объем спекаемой массы шихтовых материалов на s-й аглофабрике; x_i — объем производства i-го шихтового материала (для некторых $i \in I_2$ требуется определить, а для $i \in I_3$ — уточнить); z_{is} — объем поставок i-го шихтового материала на s-ю аглофабрику.

Отличие модели (16) — (22) от модели (9) — (15) состоит в расширении условия (11) до условия (18), где качество поступающего сырья и конечная продукция (агломерат) характеризуются l-мерным вектором. Отметим, что величины $\underline{P}_{sk}$, $\overline{P}_{sh}$ учитывают поступление в агломерат соответствующих компонентов с топливом. Принципиальных изменений в модели (16) — (22) не произойдет, если некоторые фабрики из рассматриваемых будут производить окатыши.

Решение задачи (16) — (22) позволяет определить не только оптимальные объемы добычи руд из множества I_2, объемы производства концентрата различными обогатительными фабриками и оптимальное распределение шихтовых материалов между агломерационными фабриками, но и исследовать степень загруженности имеющихся мощностей и сбалансированности плановых заданий по производству агломерата и обеспеченностью его сырьем.

Модель «Агломерационная фабрика — доменный цех». В основу построения модели этой ступени планирования положена идея Фабиана [2] об оптимальной загрузке доменной печи. В настоящей работе модель Фабиана дополняется введением ограничения на производительность доменных печей, которая зависит от многих факторов. Нас интересует зависимость производительности печей от качества исходного сырья. В последнем случае выход шлака на тонну выплавляемого чугуна — один из главных показателей производительности доменных печей. Далее, на одном металлургическом заводе обычно выплавляют несколько видов чугуна: передельный, ванадиевый, литейный и др. Выплавка каждого вида чугуна требует различия технологических параметров (температура плавки, температура и давление дутья и т. д.). Предъявляются различные требования к качеству шихтовых материалов для выплавки каждого вида чугуна. Поэтому печь или группа печей завода специализируются на выплавке отдельных видов чугуна и соответственно с различными удельными затратами.

В силу сказанного, не нарушая общности, будем считать, что в доменном цехе рассматриваемого горно-металлургического комплекса производится L видов чугуна. В качестве шихтовых материалов здесь выступают все виды агломерата, за исключением мартеновского, сварочный шлак, металлодобавки, топливо (кокс, газ, мазут) и флюс. При этом специальные (ванадиевый, хромистый) агломераты используются только в тех печах, где выплавляют соответствующие чугуны.

Следуя [2], ввод информации в приведенную ниже модель осуществляется путем расчета моношихты для доменной плавки. Под моношихтой следует понимать шихту, рассчитанную из одного железосодержащего шихтового материала, флюса и топлива при заданной основности шлака для рассматриваемой группы печей. Таким образом, топливо и флюс учитываются в модели через расчет моношихты, затраты на них включаются в себестоимость гипотетического чугуна. Математическая модель оптимальной загрузки доменных печей и рационального распределения шихтовых материалов описывается следующей задачей нелинейного программирования

$$\min\left\{\sum_{s=1}^{N_1}\Phi_s(y_s)+\sum_{\nu=1}^{L}\sum_{s=1}^{N_1}d_{\nu s}y_{\nu s}\right\} \tag{23}$$

при условиях

$$\sum_{b} w_{\nu s}y_{\nu s}=B_\nu, \quad \nu=1,\ldots,L, \tag{24}$$

$$\sum_{s} b_{\nu s}y_{\nu s}\leqslant K_\nu, \quad \nu=1,\ldots,L, \tag{25}$$

$$\underline{M}_\nu{}^\alpha\leqslant\sum_{s}\overset{\alpha}{a}_{\nu s}y_{\nu s}\leqslant\overline{M}_\nu{}^\alpha \quad \alpha=1,\ldots,r;\ \nu=1,\ldots,L, \tag{26}$$

$$\sum_{\nu} y_{\nu s}=y_s, \quad s=1,\ldots,N_1, \tag{27}$$

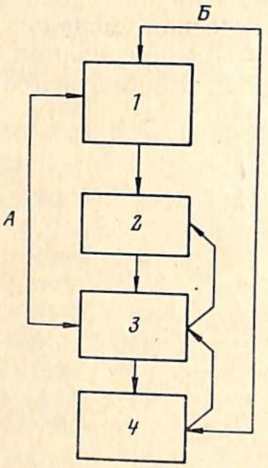
$$d_s\leqslant y_s\leqslant D_s, \quad s=1,\ldots,N_1, \tag{28}$$

$$y_{\nu s}\geqslant 0, \quad s=1,\ldots,N_1;\quad \nu=1,\ldots,\alpha, \tag{29}$$

где $\Phi_s(y_s)$ — функция производственных затрат от выпуска s-го шихтового материала; $d_{\nu s}$ — дифференцированные затраты на производство ν-го вида чугуна из единицы объема s-го шихтового материала (эта величина включает удельные затраты на топливо, флюс, затраты по переделу, а также транспортные расходы, если имеет место транспортировка агломерата, т. е. все затраты на гипотетический чугун без затрат на производство агломерата); $w_{\nu s}$, $b_{\nu s}$ — соответственно выход чугуна и шлака из единицы объема s-го шихтового материала при выплавке ν-го вида чугуна; B_ν — годовое производство чугуна ν-го вида; K_ν — максимально допустимый выход шлака из расчета годового производства ν-го вида чугуна; $a_{\nu s}{}^\alpha$ — количество α-го химического компонента в гипотетическом чугуне, рассчитанном из единицы объема s-го шихтового материала для ν-го вида чугуна; $\underline{M}_\nu{}^\alpha$, $\overline{M}_\nu{}^\alpha$ — соответственно нижняя и верхняя допустимые границы содержания α-го компонента в годовом производстве ν-го вида чугуна; y_s — годовое производство s-го шихтового материала; d_s, D_s — соответственно нижняя и верхняя возможные границы изменения объема выпуска s-го шихтового материала; $y_{\nu s}$ — объем s-го шихтового материала, используемого для производства ν-го вида чугуна; r — число химических компонентов, характеризующих чугун (Mn, S, P, U, Ni, C и др.).

Модель (23) — (29) напоминает смесевую задачу. Но здесь смешивание производится не механически, а через расчет гипотетических чугунов с последующим теоретическим смешиванием их в определенных пропорциях до получения чугуна заданного состава с учетом всех ограничивающих условий при минимальных затратах.

Описанные модели второго этапа планирования представляют статические задачи, предназначенные для годового планирования отдельных подразделений и взаимоувязки полученных решений в системе горно-металлургического комплекса с учетом плана-прогноза, определенного на первом этапе планирования. Все эти модели ввиду выпуклости вверх целевой функции (функции производственных затрат) относятся к классу многоэкстремальных задач математического программирования, эффективные методы решения которых пока отсутствуют. Автором разработан достаточно эффективный приближенный метод решения такого класса нелинейных задач применительно к горно-металлургической промышленности [3].



Функциональная зависимость оптимального планирования отдельных звеньев комплекса: *А* — объем и качественная характеристика агломерата, потребляемого мартеновским цехом; *Б* — оптимальный объем производства чугуна комплексом (из отраслевого плана); *1* — разработка плана-прогноза на различные уровни производства чугуна по динамической модели (1) — (4); *2* — годовое планирование по модели «Рудник — обогатительная фабрика»; *3* — годовое планирование по модели «Рудник — обогатительная — агломерационная фабрика»; *4* — годовое планирование по модели «Агломерационная фабрика — доменный цех»

Функциональную зависимость оптимального планирования отдельных звеньев всего комплекса, согласно предлагаемой методике, удобно представить схемой, изображенной на рисунке.

Из схемы видно, что основной показатель оптимального отраслевого плана используется как для планирования доменного цеха и разработки плана-прогноза, так и для планирования всего комплекса. Так, если доменному цеху на 1975 г., согласно оптимальному отраслевому плану, требуется выплавить 7 млн. *т* чугуна, то план-прогноз по сырьевой базе (первый этап планирования) исследуется в окрестности выпуска 7 млн. *т* чугуна и того количества чугуна (например, 1 млн. *т*), которое может быть получено из потребляемой руды мартеновским цехом. Таким образом, разработка плана-прогноза развития сырьевой базы комплекса по модели (1) — (4) целесообразно исследовать не для 8 млн. *т* чугуна, а при изменении производства чугуна, например, от 6 до 12 млн. *т* (последнее вызвано еще требованием вычислительной схемы метода динамического программирования). Что касается оптимальных планов, полученных на основе моделей «Рудник — обогатительная фабрика» и «Рудник — обогатительная — агломерационная фабрика», то они являются производными от оптимальных планов моделей (1) — (4) и «Аглофабрика — доменный цех».

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ

Методологические основы построения системы математических моделей развития горно-металлургического комплекса, использованные в настоящей работе, были применены автором [4] для разработки экономико-математических моделей развития и размещения железорудной базы черной металлургии Урала, решение которых нашло практическое применение. Сама идея написания данной работы возникла в результате решения проблемы оптимального обеспечения железорудным сырьем доменного производства Урала и применения предложенных моделей для отдельного горно-металлургического комплекса. Так, исследование связей между рудниками, обогатительными и агломерационными фабриками по модели вида (16) — (22) применительно ко всей железорудной базе металлургии Урала показало, что реализация полученного оптимального плана может сократить общие затраты на производство агломерата на 2 млн. руб. в год. Полученные оптимальные связи между аглофабриками и доменными цехами Урала на основе решения оптимизационной задачи по модели вида (23) — (29) могут уменьшить общие затраты на производство чугуна приблизительно на 12 млн. руб. в год.

Отраслевое планирование, а также районное отраслевое планирование имеет дело с укрупненными показателями. При этом важные технико-экономические показатели (прежде всего качественные) для отдельных горно-металлургических комплексов не учитываются. Поэтому одна из вспомогательных целей при решении задачи оптимального развития железорудной базы металлургии Урала — исследование возможности изолированного решения подобных задач для каждого из 11 металлургических заводов, имеющих доменные цехи, на основе предложенных в данной работе систем моделей. Расчеты оптимальных планов развития железорудной базы металлургии Урала на перспективу показали, что предложенную систему моделей целесообразно использовать следующим металлургическим комплексам Урала: Нижне-Тагильскому, Серовскому, Чусовскому, Челябинскому, Магнитогорскому и Орско-Халиловскому, что подтверждается достаточной устойчивостью базиса в оптимальных планах контрольных лет. Так, Нижне-Тагильский металлургический комбинат (по расчетам трех контрольных лет 1965, 1970 и 1975 гг.) постоянно связан с шестью рудоуправлениями: Качканарским, Лебяженским, Высокогорским, Полуночным, Марсятским и Гороблагодатским. Остальные металлургические заводы из перечисленных выше также связаны с четырьмя-пятью рудоуправлениями. Беспомощность традиционных методов в установлении оптимальных мощностей (выбор вариантов развития) рудоуправлений для отдельного горно-металлургического комплекса с учетом качественной характеристики добываемых руд выявилась именно на Нижне-Тагильском горно-металлургическом комплексе, обладающем наибольшим числом железорудных баз (шесть рудоуправлений).

Поэтому разработанная система моделей получила практическое применение прежде всего для исследования развития Нижне-Тагильского горно-металлургического комплекса. Что касается планирования железорудной базы малых металлургических заводов (Алапаевский, Нижне-Салдинский, Кушвинский, Саткинский и Ашинский), то здесь используют традиционные методы, ибо, как показали проведенные расчеты районного отраслевого планирования по трем контрольным годам, эти заводы имеют по одной-две рудной базы.

Согласно нашей концепции, исследование развития отдельных горнометаллургических комплексов следует начинать после решения отраслевой задачи. Однако нельзя отвергать обратного подхода к исследованию развития железорудной базы района, т. е. сначала исследовать развитие железорудной базы каждого горно-металлургического комплекса изолированно (даже с некоторыми погрешностями!) по изложенной системе моделей, а затем решить районную отраслевую задачу. При этом решение отраслевой задачи было бы проще с помощью имеющейся систематизированной информации по развитию каждого комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Беллман, С. Дрейфус. Прикладные задачи динамического программирования. М., «Наука», 1965.
2. Т. Фабиан. Анализ процессов черной металлургии США. В кн. Отраслевые экономико-математические методы. М., «Прогресс», 1967.
3. Х. Н. Гизатуллин. О методе решения многоэкстремальной задачи развития и размещения производства (на примере черной металлургии). В сб. Применение математических методов в горнорудной и металлургической промышленности. (Тезисы докладов конференции). Свердловск, 1968 (Свердловское отд. Математического ин-та им. В. А. Стеклова).
4. Х. Н. Гизатуллин. Модель оптимального развития железорудной базы черной металлургии Урала. Изв. высш. учебн. заведен. Горный журнал, 1967, № 8.

Поступила в редакцию
17 IV 1968