

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

Смышляев А. С., Павленко В. Д.

(Москва)

Экономико-математическое моделирование развития черной металлургии охватывает различные аспекты воспроизводства — процессы трансформации затрат производственных ресурсов в выпуск конкретной продукции, ускорение технического прогресса, изменение структуры производства и т. п. Расчеты на отраслевом уровне при разработке народнохозяйственного прогноза могут способствовать решению и таких специфических задач, как оценка потребности в производственных ресурсах, определение требований к техническому прогрессу и т. д. Ориентация отраслевой модели на реализацию конкретной задачи прогнозирования предопределяет набор переменных, включаемых в модель, а также структуру взаимодействий между ними. Взаимосвязь отраслевого прогноза с расчетами на более высоком уровне осуществляется через такие показатели, как выпуск продукции, численность занятых, капитальные вложения, важнейшие виды материальных затрат, характеристики распределения произведенной продукции.

В настоящее время известен ряд типовых отраслевых моделей, позволяющих проводить оптимизационные расчеты специализации и размещения предприятий черной металлургии, а также ее основных производств [1, 2]. В данной статье рассматривается высокоагрегированная (для отраслевого уровня) прикладная модель, которая используется в среднесрочных прогнозных расчетах для оценки динамики продукции и структуры производства в черной металлургии СССР.

Оценка совокупного спроса на продукцию отрасли определяется темпами роста главных металлопотребляющих отраслей — машиностроения и строительства. Такие расчеты могут выполняться, например, с помощью традиционной модели межотраслевого баланса или модели межотраслевых взаимодействий [3]. Выявление ресурсов, необходимых для развития отрасли, можно выполнить с помощью системы производственных функций или технико-экономических расчетов [4, 5]. Оценке потенциального спроса на металлопродукцию в средне- и долгосрочном прогнозе посвящены многочисленные экономические и технико-экономические исследования, результаты которых можно учесть при спецификации отдельных блоков модели [6]. В ряде работ (прогноз Европейского объединения угля и стали, Международного института черных металлов и пр. [7]) применяются глобальные макроэкономические показатели для оценки будущей динамики металлопродукции. Значительно реже рассматриваются интегральные оценки структуры производства.

Экономико-статистический анализ объемных и структурных характеристик развития черной металлургии свидетельствует о том, что пря-

мое перенесение методических приемов, используемых в модели межотраслевых взаимодействий, на отраслевой уровень оказывается несостоятельным, так как при всей вариации статистических показателей во времени налицо относительно стабильные взаимосвязи между элементами затрат и выпуском отдельных видов продукции. Дело в том, что на этом уровне процессы замещения одних видов сырья другими вообще выражены относительно слабо даже в рамках 10–15-летнего периода, особенно в такой сложившейся и инерционной в технологическом плане отрасли, как черная металлургия, а замена одной технологии другой (с более экономной структурой затрат) также распределена во времени*. В данном случае доминирующую роль играют процессы дополнения одних видов сырья другими. Лишь в части энергопотребления можно отдать предпочтение анализу эффекта взаимозаменяемости при условии эквивалентности не только теплотехнической, но и технологической ценности энергоносителей.

Выделение «чистых» технологических подотраслей** при моделировании объясняется не только статистическими требованиями к сопоставимости во времени показателей, но и самой ориентацией модели черной металлургии на участие в расчетах по натурально-стоимостной межотраслевой модели.

Прогнозирование показателей отрасли осуществляется на базе технологических связей подотраслей и продуктов с помощью оценивания параметров системы регрессионных уравнений рекурсивного типа. В том случае, если производится единственный продукт, в модель включается уравнение спроса на него и оцениваются затраты на производство. В тех подотраслях, где номенклатура выпуска широка, необходимо отражение затрат на каждый вид с учетом общих ограничений на производственные ресурсы. Построить ограничения можно с помощью производственной функции специального вида, в которой нехватка какого-либо сырья ведет к сокращению выпуска продукции, к превышению над ним потенциального спроса. В макроэкономических моделях подобных ресурсов другими приводит к ускоренной замене недостающих сырьевых ресурсов другими материалами из-за разнообразия производств и технологий. На отраслевом уровне моделирования структуры черной металлургии возможности замены существенно ниже.

Определим исключительное влияние производственного спроса на динамику продукции как результат жесткости связи. Последняя исторически формируется как эффективное следствие экономического разделения труда. Сами количественные характеристики этой взаимосвязи могут меняться во времени под действием технического прогресса, но другие вещественные факторы при этом сказываются все же в минимальной степени. Поэтому в описании используются относительно простые эконометрические уравнения. При модификации жесткой связи вследствие роста предложения эффективно замещающего вида ресурсов практически всегда образуется новый технологический способ производства, который следует отражать в модели самостоятельно. При этом эконометрическое описание становится более сложным лишь на агрегированном уровне, т. е. без выделения данного способа.

* Например, переход от мартеновского к конверторному способу выплавки стали в разных странах составлял период в 10–20 лет.

** Под комплексной отраслью «черная металлургия» понимается совокупность технологических подотраслей, выделившихся в самостоятельные звенья в существующей организационной структуре. Такая трактовка подотраслей не противоречит рассмотрению их как совокупности предприятий, объединенных между собой по принципу производства однородного продукта.

В модели участвуют и такие переменные, как запасы ресурсов. В первую очередь это касается металлического фонда, так как модель процесса ломообразования, а следовательно и оценка потенциального источника роста производства, занимает важное место в долгосрочных прогнозах. Кроме того, рассчитываются валовая продукция и ряд технико-экономических показателей. Спецификация модели включает переменные, которые в соответствии с классификацией ЦСУ СССР характеризуют следующие производства [8]: добыча, обогащение, агломерация и окомкование руд черных металлов; производство чугуна, стали, проката, труб и изделий дальнейшего передела; электроферросплавное производство; коксохимическое производство; производство огнеупоров; вторичная обработка черных металлов; производство металлоизделий промышленного назначения. Не рассматривается выпуск нерудного сырья для черной металлургии, что обусловлено недостатками информации. В целом модель состоит из восьми блоков (см. схему).

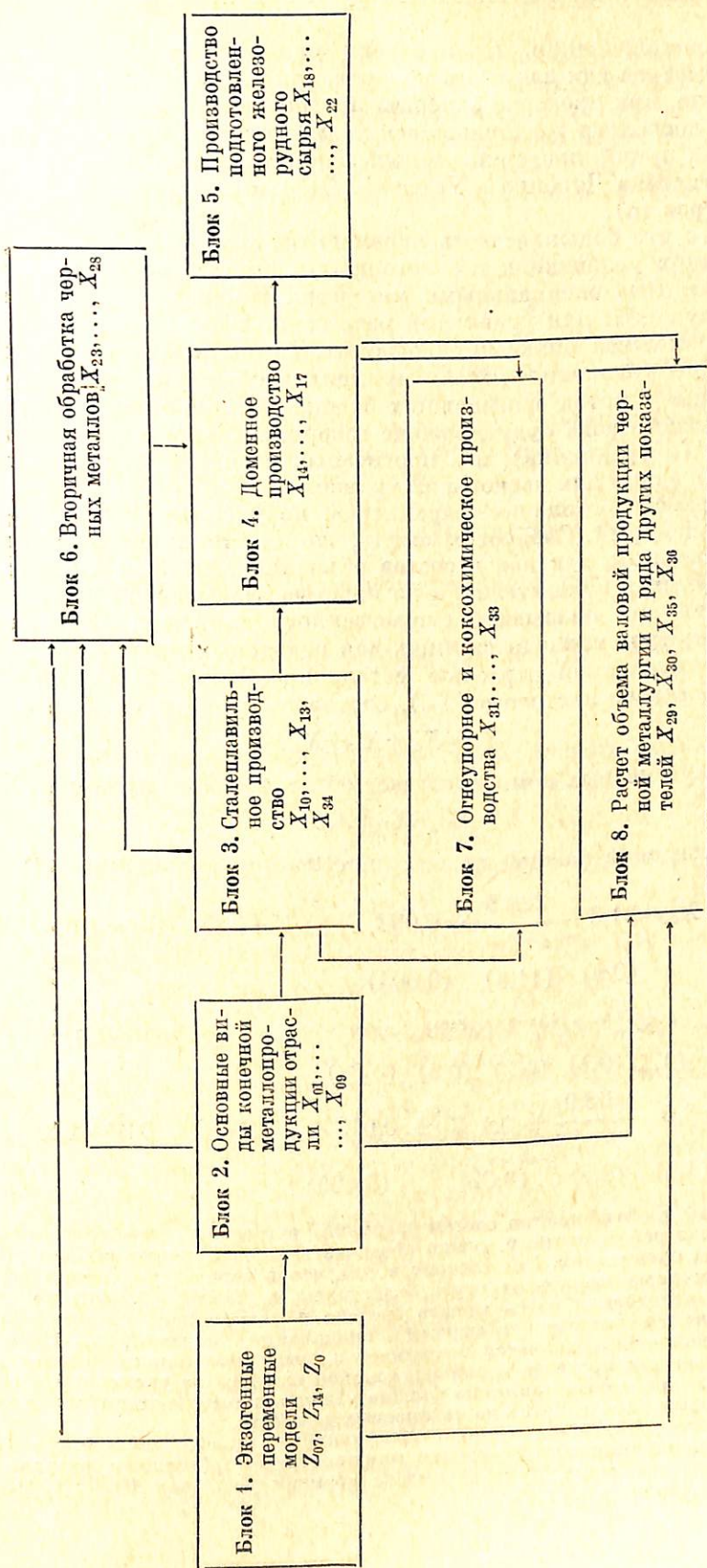
Взаимосвязи между переменными, включенными в эконометрическую модель, отражают возможности дезагрегирования входных показателей как внутри, так и вне ее. Допускается экзогенное оценивание отдельных переменных. Например, при заданной потребности в трубах и прокате динамика производства стали будет определяться лишь структурой их распределения. На трубы и прокат приходится около 80% конечного выпуска металлопродукции [9, с. 173], большая часть которого идет в машиностроение и металлообработку.

В системе уравнений модели направление воздействий противоположно технологическим потокам, так как структура производства прогнозируется как функция потребности в продукции. Качественные характеристики развития отечественной металлургии — производные при установлении технологической структуры отдельных производств. Изменение доли той или иной технологии, выявление доминирующей среди них позволяет описать в модели долговременные тенденции технического прогресса. Такой подход оказывается плодотворным при учете балансовых тождеств в процедуре оценивания параметров модели. Изменение структуры производства продукции за счет неравномерного развития различных технологических способов присуще сталеплавному переделу, производству кокса и подготовленного железорудного сырья, тогда как структура изготовления чугуна, литья черных металлов относительно инвариантна к изменению структуры конечного выпуска. Состав металлического лома рассчитывается с помощью переменных из различных блоков модели, причем динамика их соотношений ограничивает структурные перестройки в его использовании.

Помимо указанных на схеме переменных и взаимосвязей в модели оценивались также расходы на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования и ряд других показателей. Эти затраты в результате быстрого физического и морального износа оборудования сейчас увеличиваются высокими темпами, и по мере накопления активной части основных фондов их рост носит существенно нелинейный характер.

Статистической базой модели являются динамические ряды соответствующих параметров с 1960 по 1976 г. Известно, что к 1960 г. в черной металлургии СССР сложились все перечисленные выше подотрасли, а также основные технологические способы производства, закончился восстановительный период, структура отрасли в большей мере оказалась способной реагировать на изменение народнохозяйственного спроса.

По информации за указанный период были проведены расчеты на 1977—1980 гг. и их результаты сопоставлены с фактическими данными. Тем самым проверены качество оценок системы уравнений и правильность



Агрегированная схема взаимосвязей модели.

избранной спецификации. Практически для всех уравнений получены оценки параметров как для всего периода, так и для последних 11—13 лет. Следовательно, при проверке качества прогнозных расчетов испытывались две модели, несколько различавшиеся количественными значениями параметров. Для такой проверки использовались коэффициент вариации ($V, \%$), статистика Дарбина — Уотсона (DW) и стандартные ошибки оценок параметров (σ).

Из-за того что большая часть переменных выступает в качестве эндогенных в одних уравнениях и экзогенных в других, требуется проводить оценку параметров специальными методами. Проблема, по существу, состоит в следующем: для уравнений регрессии, в которых в состав объясняющих переменных включен показатель, сам описываемый с помощью регрессионного уравнения, нельзя применять обычную процедуру оценивания, например метод наименьших квадратов. Ошибки в определении показателя такого рода будут, вообще говоря, связаны с ошибками других переменных (и уравнений), и в прогнозных расчетах возможно накопление ошибок в одном или нескольких уравнениях.

Ниже приведены оценки параметров, полученные с помощью двухшаговой процедуры*. Следует отметить, что их уточнение на втором шаге было минимальным, так как в состав объясняющих переменных включалось не более двух показателей, а на простые взаимосвязи указанная процедура обычно не оказывает существенного влияния. Альтернативные оценки параметров приводятся лишь для некоторых уравнений регрессии.

Объем выпускаемой отраслью металлопродукции (X_{05}) определяется как сумма поставок листового (X_{01}), сортового проката (X_{02}) и труб (X_{04})

$$X_{05} = X_{01} + X_{02} + X_{04}, \quad (1)$$

где сумма двух первых компонент дает объем готового проката (X_{03})

$$X_{03} = X_{01} + X_{02}, \quad (2)$$

при этом поведение каждой из них описывается уравнениями**

$$X_{01} = 31,3 - \frac{228,5}{t+10} + 0,098 Z_{07}, \quad V=1,25, \quad DW=1,6, \quad (3)$$

(0,9) (11,3) (0,004)

$$X_{02} = 1,8 Z_{14}^{0,68} Z_{07}^{(0,41-3,1/(t+10))} e^{-0,063t}, \quad V=1,66, \quad DW=1,7, \quad (4)$$

(1,1) (0,1) (0,3) (0,5) (0,03)

$$X_{04} = 8,0 - \frac{68,9}{t+10} + 0,1 Z_{14} + 0,013 Z_{07}, \quad V=1,4, \quad DW=1,3. \quad (5)$$

(1,1) (8,5) (0,02) (0,005)

* Проблемы идентификации систем уравнений регрессии рассмотрены достаточно подробно в ряде работ, поэтому нужно обосновать лишь причину выбора двухшаговой процедуры оценивания. Она состоит в том, что в каждом уравнении все объясняющие переменные выражены через экзогенные и, таким образом, не содержат ошибок. Рассматриваемая здесь модель сведена к рекурсивной системе, благодаря чему устраняются многие трудности оценивания параметров. Преимуществом рекурсивной схемы является возможность последовательного расчета эндогенных переменных при прогнозе и анализе ошибок каждого из уравнений в отдельности. На наш взгляд, особое внимание должно уделяться тем эндогенным переменным, динамика которых определяется из балансовых тождеств.

** В скобках приведены стандартные ошибки оценок параметров (σ); Z_{07} , Z_{14} — валовая продукция соответственно машиностроения (включая металлообработку) и строительства, млрд. руб.; t — индекс времени ($t=1$ для 1960 г.). Остальные показатели выражены в млн. т.

В (3) опущена переменная Z_{14} потому, что поставки в эту отрасль относительно невелики и изменение этого фактора спроса описывается удовлетворительно гиперболическим временным трендом. Уравнение для сортового проката носит существенно нелинейный характер, воздействие динамики машиностроения на поставки сортового проката со временем усиливается. В преобразованной записи для годовых темпов прироста уравнение (4) сводится к

$$\frac{\Delta X_{0,2}}{X_{02}} = 0,68 \frac{\Delta Z_{14}}{Z_{14}} - 0,063 + \left(0,41 - \frac{3,1}{t+10}\right) \frac{\Delta Z_{07}}{Z_{07}} + \frac{3,1}{(t+10)^2} \ln Z_{07}.$$

Поскольку темпы роста валовой продукции машиностроения в отчетном периоде превышали 110%, со временем факторы, уменьшающие синхронную зависимость выпуска сортового проката от валовой продукции машиностроения, становятся менее значимыми, и динамика X_{02} все больше определяется фактором Z_{07} , что связано отчасти со снижением темпов прироста валовой продукции строительства.

В (5) также использован гиперболический тренд. Здесь относительно устойчивы оценки параметров, что свидетельствует об адекватности описания данного временного ряда.

Выпуск металлоизделий промышленного назначения описывается уравнением

$$X_{06} = 4,83 - \frac{3,49}{t+10} + 0,075Z_{14} + 0,0059Z_{07}, \quad V=1,26, \quad DW=1,6. \quad (6)$$

$$(0,6) \quad (5,1) \quad (0,01) \quad (0,003)$$

Для оценки динамики производства литья черных металлов (X_{09}) берутся автономные уравнения соответственно для чугунного и стального литья (X_{07} , X_{08}), причем

$$X_{09} = X_{07} + X_{08}, \quad (7)$$

$$X_{07} = 10,79 + 0,0097Z_{07} + 0,34t, \quad V=1,9, \quad DW=1,41, \quad (8)$$

$$(0,14) \quad (0,005) \quad (0,05)$$

$$X_{08} = 1,92 + 0,077Z_{07} + 0,018X_{10-1}, \quad V=2,75, \quad DW=1,9 \quad (9)$$

$$(0,27) \quad (0,002) \quad (0,004)$$

Если в (8) единственной объясняющей переменной служит валовая продукция машиностроения, то для стального литья важно учесть и динамику сталеплавильного производства в целом (X_{10}), потребляющего довольно значительное количество этого вида продукции, что и вызвало необходимость учета запаздывающей переменной в (9), т. е. x_{10-1} . Для сравнения рассмотрим зависимость, включающую производство стали в текущем году *

$$X_{08} = 2,39 + 0,0095Z_{07} + 0,011X_{10}, \quad V=2,41, \quad DW=1,11.$$

$$(0,3) \quad (0,002) \quad (0,006)$$

Сталеплавильный передел — одно из важнейших производств черной металлургии, а его структура — главный показатель уровня развития отрасли в целом

$$X_{10} = 1,73 (X_{05} + X_{08})^{(0,92-0,012/(t+10))}, \quad V=0,7, \quad DW=2,1, \quad (10)$$

$$(0,3) \quad (0,06) \quad (0,01)$$

* Введение запаздывающей переменной в (9) несущественно усложняет процедуру двухшаговой оценки параметров модели, поскольку в ней лишь две такие переменные.

$$X_{11}=0,01W_1X_{10}, \quad (11)$$

$$W_1 = \begin{cases} 84,69 & \text{при } t \leq 4, \\ 118,5 - 0,39X_{10} & \text{при } t \geq 5, \\ (1,9) & (0,1) \end{cases} \quad V=1,3, \quad DW=1,9, \quad (12)$$

$$X_{13} = \begin{cases} -2,9 + 0,6 X_{26} & \text{при } t \leq 4, \\ (0,3) & (0,01) \end{cases} \quad V=2,8, \quad DW=1,9, \quad (13)$$

$$\begin{cases} 39,6W_1^{-0,82} X_{26}^{0,07} & \text{при } t \geq 5, \\ (5,6) & (0,5) \end{cases} \quad V=2,5, \quad DW=1,6, \quad (0,3)$$

$$X_{12}=X_{10}-X_{11}-X_{13}, \quad (14)$$

где X_{11} , X_{12} , X_{13} — объем производства кислородно-конверторной, электро-стали и мартеновской стали соответственно; X_{26} — объем образования амортизационного лома в отраслях народного хозяйства; W_1 — доля производства мартеновской стали, %.

Использование в (12), (13) функций с переключением объясняется тем, что на рубеже 1964—1966 гг. снизилась доля мартеновской стали в общем объеме ее производства, который описан выражением (10), а после 1964—1966 гг. эта доля неуклонно уменьшалась. Тождества (11), (14) отражают структурные составляющие общей выплавки стали.

Динамика электроферросплавного производства (X_{34}) определяется тем обстоятельством, что основным потребителем его продукции является сталеплавильный передел

$$X_{34} = -1,82 + \frac{5,33}{t+10} + 0,035 X_{10}, \quad V=2,1, \quad DW=1,2. \quad (15)$$

$$(0,3) \quad (2,9) \quad (0,001)$$

Структура доменного передела черной металлургии (блок 4) тесно связана не только со сталеплавильным, но и с вторичной обработкой черных металлов

$$X_{15} = -27,07 + \frac{162,2}{t+10} + 1,56(X_{10} - X_{28}), \quad V=1,1, \quad DW=2,2, \quad (16)$$

$$(13,1) \quad (5,1) \quad (0,06)$$

$$X_{14} = 24,9 - \frac{176,9}{t+10} + 0,76(X_{15} + X_{07}), \quad V=0,8, \quad DW=2,0, \quad (17)$$

$$(17,2) \quad (38,6) \quad (0,03)$$

$$X_{17} = X_{14} - X_{15}, \quad (18)$$

$$X_{16} = X_{15} + 1,26X_{17}^*. \quad (19)$$

Динамика выплавки переделного чугуна (X_{15}) зависит от общего дефицита металлошихты, идущей для производства стали, при имеющихся ресурсах металлического лома, который расходуется на выплавку необходимого ее количества (X_{28}). Когда видно из (16), технический прогресс выражается в снижении норм расхода шихты при выплавке стали. Дейст-

* 1,26 — коэффициент перевода литейного чугуна в переделный относительно расхода металлургического кокса [10, с. 468].

вительно, со временем влияние прочих факторов на X_{15} : $A(t) = -27,07 + 162,2/(t+10)$ несколько снижается. Общий объем выплавки чугуна (X_{14}) определяется динамикой выпуска передельного, полностью потребляемого при выплавке стали, и чугунного литья, производимого в основном из металлического лома и литейного чугуна (X_{17}), как это следует из (18) и (17). Уравнение (19) дает оценку общего выпуска чугуна в пересчете на передельный (X_{16}) с целью обеспечения сопоставимости технологической сложности его производства по отношению к металлургическому коксу, доля которого в себестоимости чугуна достигает 40% [11, с. 92].

Структура выпуска подготовленного железорудного сырья (X_{18}) определяется по аналогии со сталеплавильным производством

$$X_{18} = 53,6 - \frac{635,9}{t+10} + 1,45X_{14}, \quad V=1,2, \quad DW=1,9, \quad (20)$$

$$(2,7) \quad (115,5) \quad (0,1)$$

$$W_2 = \begin{cases} 100,0 & \text{при } t \leq 4, \\ 126,15 - 0,23X_{18} & \text{при } t \geq 5, \end{cases} \quad V=0,7, \quad DW=2,0, \quad (21)$$

$$(1,8) \quad (0,008)$$

$$X_{19} = 0,01W_2X_{18}, \quad (22)$$

$$X_{20} = X_{18} - X_{19}, \quad (23)$$

$$X_{21} = -79,33 + \frac{943,4}{t+10} + 1,49 X_{18}, \quad V=1,25, \quad DW=1,2, \quad (24)$$

$$(53,6) \quad (219,0) \quad (0,09)$$

$$X_{22} = 1,64X_{18}^{0,31}, \quad V=6,9, \quad DW=1,5, \quad (25)$$

$$(0,7) \quad (0,05)$$

где W_2 — доля агломерата в общем объеме выпуска подготовленного железорудного сырья, %; $X_{19}, \dots, X_{22}$ — производство агломерата, доменных окатышей, товарной железной и марганцевой руды соответственно.

Основным потребителем железной и марганцевой руды является собственное производство агломерата и доменных окатышей, поэтому X_{18} — единственная объясняющая переменная в (24), (25). Возможно относительно другие объясняющих переменных в (25), поскольку относительно большие количества марганцевой руды расходуются в доменном переделе и идут на экспорт [9, с. 174; 12, с. 25]. Влияние последнего неучитываемого фактора и поясняет относительно большое значение коэффициента вариации. Для сравнения приведем уравнение

$$X_{22} = 21,1 + \left(0,005 - \frac{3,2}{t+10}\right) X_{16}, \quad V=13,4, \quad DW=0,6.$$

$$(0,72) \quad (0,003) \quad (1,92)$$

Одна из интересных и сложных проблем моделирования структуры производства черной металлургии — идентификация структуры вторичной обработки черных металлов. Дело в том, что металлический лом — важнейшее сырье для современной металлургии.

В модели составляющие ресурсов металлического лома выражены непосредственно через источники его поступления. Так, объем лома, полу-

чаемого от металлообрабатывающих отраслей (X_{23}), определяется пропорциями потребляемого ими листового и сортового проката.оборотный лом черной металлургии (X_{24}) зависит от масштаба сталеплавильного передела, а амортизационный (X_{26}) — описан системой уравнений и равенств, использующих вспомогательную переменную, X_{25} — условный временной разрыв между периодом направления в народное хозяйство черных металлов (включая изделия из них) и образования такого же количества ресурсов амортизационного лома [13]. Общий объем ресурсов лома (X_{27}) описывается балансовым уравнением

$$X_{27} = X_{23} + X_{24} + X_{26}, \quad (26)$$

причем

$$X_{23} = 1,27X_{01}^{0,28} X_{02}^{0,33} e^{0,017t}, \quad V=1,6, \quad DW=1,9, \quad (27)$$

(0,4) (0,14) (0,19) (0,007)

$$X_{24} = 14,15 - \frac{58,64}{t+10} + 0,20X_{10}, \quad V=1,2, \quad DW=1,9, \quad (28)$$

(11,7) (25,49) (0,01)

$$X_{25} = 11,36 + 0,65t, \quad V=0,9, \quad DW=1,6, \quad (29)$$

(1,4) (0,008)

$$X_{29} = X_{14} + Z_0, \quad (30)$$

$$X_{26} = X_{29-\alpha} + \beta \Delta X_{29-\Delta\alpha}, \quad (31)$$

где α — целая часть X_{25} ; β — дробная часть X_{25} ; X_{29} , Z_0 — соответственно величина «металлоинвестиций» и общее внешнеторговое сальдо черных металлов и изделий из них.

Оценки параметров уравнений (27)–(29) устойчивы относительно варьирования интервала выборки, особенно в (29). Отметим также, что трендовое описание X_{26} дает в шесть раз большую абсолютную ошибку, чем отражение динамики амортизационного лома с помощью выражений (29)–(31). При этом трендовая зависимость выглядит как

$$X_{26} = 14,0 + 0,53t + 0,018t^2, \quad V=1,1, \quad DW=1,6, \quad (8,4) \quad (0,03) \quad (0,004)$$

Количество металлического лома, расходуемого на выплавку стали (X_{28}), определится из уравнения

$$X_{28} = -5,08 + 0,85 X_{27}, \quad V=1,2, \quad DW=1,7, \quad (32)$$

(3,1) (0,01)

а оставшаяся часть лома ($X_{27} - X_{28}$) пойдет на литейное производство и на экспортные нужды.

Динамика металлического фонда народного хозяйства составляет

$$X_{30} = -20,1 + \frac{57,7}{t+10} + 0,99(X_{30-1} + X_{29}), \quad X=0,4, \quad DW=2,1, \quad (33)$$

(11,8) (56,3) (0,007)

где X_{30} — металлический фонд отраслей народного хозяйства. Отметим, что объем металлического фонда является одним из важнейших показателей уровня развития экономики в целом.

Динамика коксохимического производства вытекает из переменной уравнения (19)

$$X_{31} = 45,0 - \frac{113,9}{t+10} + 0,31 X_{15}, \quad V=1,4, \quad DW=1,8, \quad (34)$$

(12,9) (53,1) (0,04)

$$X_{32} = -12,8 + \frac{54,9}{t+10} + 1,29 X_{31}, \quad V=1,2, \quad DW=1,8. \quad (35)$$

(17,4) (8,4) (0,18)

В (34) выпуск металлургического кокса объясняется ростом доменного производства, продукция которого (чугун) приведена к сопоставимой технологической трудности выплавки относительно X_{15} , после чего оценивается общий объем выжига кокса (X_{32}).

Выпуск огнеупоров выражен через динамику выплавки стали, на которую приходится около 60% всего потребления огнеупоров [14, с. 255]

$$X_{33} = 1,05 + 0,098 X_{10} - 0,36 t, \quad V=2,8, \quad DW=1,4. \quad (36)$$

(0,14) (0,07) (0,25)

Третье слагаемое в (36) отражает относительное снижение доли сталеплавильного передела в потреблении огнеупоров. Возможны и другие спецификации этого уравнения. Приведем, например,

$$X_{33} = 1,43 X_{10}^{0,69} e^{-0,024t}, \quad V=1,9, \quad DW=1,9.$$

(1,1) (0,4) (0,02)

Однако описание (36) в практических расчетах удобнее, поскольку объем потребления огнеупорных изделий в сталеплавильном переделе косвенно определяет уровень их расхода другими подотраслями черной металлургии и в (36) динамика огнеупорного производства выражена так, что при насыщении потребности в абсолютных объемах выплавки стали это уравнение точнее «констатирует» аналогичное насыщение и в огнеупорном производстве.

Объем валовой продукции черной металлургии (X_{35}) описывается трендовым уравнением, отражающим рост соотношения X_{35} и ($X_{01} + X_{06}$)

$$\frac{X_{35}}{X_{01} + X_{06}} = 0,18 + 0,00088 t, \quad V=10,8, \quad DW=1,4. \quad (37)$$

(0,001) (0,0001)

Возможен и другой способ расчета, основанный на применении коэффициентов товарности при заданных ценах. Вообще говоря, при статистическом способе расчета показателя X_{35} в (37) значение знаменателя должно быть уменьшено на величину металлоизделий промышленного назначения, производимых в отраслях машиностроения и металлообработки, которая составляет около 35% от X_{06} [15, с. 43]. Однако если учесть, что X_{01} на порядок больше X_{06} , то имеющееся превышение значения знаменателя влияет на рассчитываемый показатель не существенно.

Аналогично определим величину расходов на ремонт и техническое обслуживание металлургического оборудования (X_{36} , млн. руб.)

$$\frac{X_{36}}{X_{01} + X_{06}} = 9,5 + 0,69 t, \quad V=2,3, \quad DW=1,1. \quad (38)$$

(0,2) (0,02)

Таблица I

Сравнение расчетных и фактических показателей структуры производства важнейших подотраслей черной металлургии СССР, %

Показатели	1977 г.		1978 г.	
	фактические [9, с. 173, 119]	расчетные	фактические [9, с. 173, 119]	расчетные
Доля в общем объеме выпуска готового проката				
листового	41,28	41,33	41,78	41,83
сортового	58,72	58,67	58,22	58,17
Удельный вес в общем выпуске стали				
мартеновской	62,86	62,00	61,71	60,19
конверторной	27,05	27,74	28,20	29,42
электростали	10,09	10,26	10,09	10,39
Доля переделного чугуна в общем объеме его производства	91,9	91,2	91,5	92,4

Таким образом, система уравнений (1)–(38) описывает изменение структуры производства черной металлургии. Отличительная особенность модели — возможность оценки полных затрат на выпуск основных видов продукции отрасли через коэффициенты регрессии соответствующих уравнений *. Оценки полных материальных затрат на такие виды продукции, как сталь и чугун, лишь на 0,5–1,8% отличаются от значений, полученных из анализа отраслевого баланса черной металлургии. Следовательно, построенная модель может существенно расширить круг решаемых экономических задач при ее рациональном согласовании с отраслевым балансом.

Для оценки качества модели были проведены ретроспективные расчеты, а также осуществлен прогноз показателей развития черной металлургии СССР до 1985 г. Сравнение полученных результатов с отчетными данными за 1960–1976 и 1977–1978 гг. подтвердило высокие качества построенной модели как при описании динамики продукции, так и структуры технологических подотраслей. Это следует из статистических характеристик уравнений и табл. 1.

В табл. 2 представлены коэффициенты эластичности эндогенных переменных, рассчитанные относительно экзогенных Z_{07} и Z_{14} .

Среднее соотношение коэффициентов эластичности α_{14}/α_{07} находится в пределах 1,8–2,1, что говорит о доминирующем влиянии машиностроения и металлообработки на развитие большинства производств металлургии **. Исключение составляют те металлургические переделы, продукция которых преимущественно направляется в строительство (металлоизделия промышленного назначения, трубы) или же большая ее доля идет на экспорт (товарная марганцевая руда) [12, с. 25].

Анализ коэффициентов эластичности подтверждает вывод об учете в модели основных направлений технического прогресса в отрасли. Так, коэффициент эластичности для доменных окатышей значительно превос-

* Такие расчеты возможны ввиду относительной простоты связей основного технологического потока металлургии.

** Заметим, что темпы прироста объема строительно-монтажных работ в 2,5–3 раза ниже темпов прироста валовой продукции машиностроения и металлообработки [9, с. 140, 364].

Таблица 2

Коэффициенты эластичности основных видов продукции черной металлургии СССР

Продукция и условное обозначение переменной в модели	Коэффициенты эластичности	
	α_{14}	α_{07}
Товарная железная руда (X_{21})	0,42	0,22
Товарная марганцевая руда (X_{22})	0,11	0,05
Подготовленное железорудное сырье всего (X_{18})	0,37	0,19
в том числе		
агломерат (X_{19})	0,25	0,13
доменные окатыши (X_{20})	3,82	2,03
Чугун всего (X_{14})	0,43	0,23
Сталь всего (X_{10})	0,35	0,18
в том числе		
мартеновская (X_{11})	0,16	0,08
конверторная (X_{12})	1,71	0,89
электросталь (X_{13})	0,15	0,07
Трубы (X_{04})	0,46	0,08
Готовый прокат (X_{03})	0,42	0,25
Вторичная обработка черных металлов всего (X_{27})	0,15	0,08
в том числе металлический лом, расходующийся на выплавку стали (X_{28})	0,16	0,09
Кокс всего (X_{32})	0,16	0,08
в том числе металлургический кокс (X_{31})	0,14	0,08
Огнеупоры (X_{33})	0,40	0,23
Металлоизделия промышленного назначения (X_{06})	0,47	0,05
Валовая продукция металлургии в стоимостном выражении (X_{35})	0,41	0,19

ходит аналогичный показатель для агломерата. Именно выпуск доменных окатышей определяет современный уровень производства подготовленного железорудного сырья. Такую же картину можно наблюдать в сталеплавлении и коксохимии. Если в первом случае технический уровень развития передела связан с ростом в основном кислородно-конверторной стали, то во втором получается некоторая экономия металлургического кокса — наиболее дорогого продукта коксового производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаталин Ю. А., Чухлова Л. Н., Васильев В. В. Моделирование развития и размещения черной металлургии — В кн.: Моделирование размещения отраслей и хозяйственного развития экономических районов. М.: СОПС при Госплане СССР, 1978.
2. Ширяев П. А., Лебедев Ю. Г., Караваев Е. П. К вопросу о применении экономико-математических методов в перспективном планировании отрасли. — В кн.: Экономика и управление в металлургии. М.: Металлургия, 1978.
3. Модель межотраслевых взаимодействий. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1976.
4. Гладышевский А. И. Модели и методы отраслевого экономического прогнозирования. М.: Экономика, 1977.
5. Якименко Г. С., Хоменко Н. М. Прогнозирование технико-экономических показателей работы металлургических агрегатов. М.: Металлургия, 1979.
6. Завицкий В. И. Прогнозирование потребления стальных труб по факторным моделям. — БНТИ Черная металлургия, 1979, № 1.
7. Гаврилина Л. М. Прогнозирование развития черной металлургии за рубежом. — БНТИ Черная металлургия, 1977, № 14.
8. Павленко В. Д. Моделирование структуры и динамики объемов сталеплавления производства. — В кн.: Экономика черной металлургии. М.: Металлургия, 1979.
9. Народное хозяйство СССР в 1979 году. Стат. ежегодник. М.: Статистика, 1980.
10. Ефименко Г. Г., Гинельфарб А. А., Левченко А. Е. Металлургия чугуна. Киев: Вища школа, 1970.

11. *Перлов Н. И., Еголичев А. П., Петраковский А. П., Федотов А. А., Банный Н. П.* Технический прогресс и топливозэнергопотребление в черной металлургии. М.: Металлургия, 1975.
12. *Внешняя торговля СССР за 1979 год. Стат. сборник.* М.: Статистика, 1980.
13. *Павленко В. Д., Лебедев Ю. Г., Житников О. Д.* Методика оценки ресурсов амортизационного лома в народном хозяйстве.— БНТИ Черная металлургия, 1980, № 6.
14. *Вагин А. А., Кривандин В. А., Прибытков И. А., Перлов Н. И.* Топливо, огнеупоры и металлургические печи. М.: Металлургия, 1978.
15. *Лемпицкий В. В.* Основные направления технического прогресса в черной металлургии.— В кн.: Технический прогресс в черной металлургии СССР. М.: Металлургия, 1977.

Поступила в редакцию
25 XI 1980