

УДК 658.52.011.56 : 519.865.7

## СТРУКТУРНО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЖИДАЕМОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСУ ТП

ГАЛИЦКИЙ Е. Б., ЛЕВИН М. И., РУБИНЧИК М. В.

(Москва)

Для оценивания ожидаемого экономического эффекта от создания и использования АСУ ТП предлагается методика построения моделей, связывающих технологические показатели автоматизируемого производства с экономическими при наличии неизмеримых факторов, влияющих на взаимосвязь между этими показателями.

### 1. Обсуждение проблемы и предлагаемая схема ее решения

Создание автоматизированных систем управления технологическими процессами, как известно, непосредственно направлено на улучшение (а иногда и оптимизацию) ряда технологических показателей автоматизируемого производства, например на сокращение числа додувок при создании АСУ ТП плавки в конверторе, массы недоливков при создании АСУ ТП разливки стали в изложницы и др. Между тем для принятия решения о целесообразности создания конкретной АСУ ТП прежде всего необходимо оценить, как в результате внедрения системы изменятся экономические показатели автоматизируемого объекта, к которым прежде всего относятся производительность и себестоимость выпускаемой продукции.

Улучшение технологических показателей сказывается на экономических показателях, как правило, не непосредственно, а через изменение ряда промежуточных показателей. Именно наличием сложной иерархической структуры взаимосвязи (рис. 1) в первую очередь обуславливается нетривиальность задачи достоверной количественной оценки изменения экономических показателей объектов автоматизации в результате улучшения их технологических показателей вследствие внедрения АСУ ТП. Настоящая статья посвящена решению указанной задачи на примере АСУ ТП объектов черной металлургии.

В случае, если значения всех показателей, входящих в иерархическую структуру взаимосвязи, могут быть непосредственно измерены (зарегистрированы), то по матрице данных, в которую сведены значения показателей, включенных в структуру, могут быть идентифицированы коэффициенты системы линейных структурных уравнений [1]. Эта система структурных уравнений, в свою очередь, позволяет оценить изменения экономических показателей на основе соответствующих изменений технологических. Однако решение указанной задачи существенно осложняется наличием для большинства объектов автоматизации ряда неизмери-

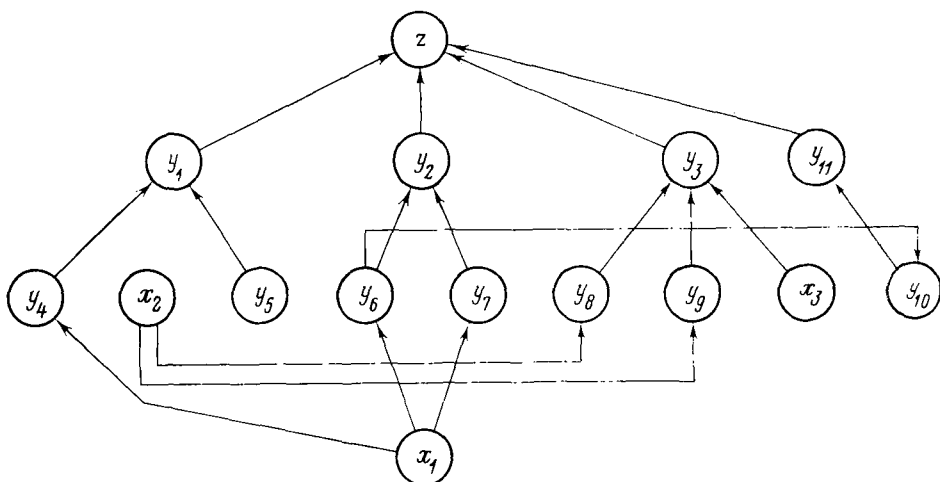


Рис. 1. Фрагмент структуры взаимосвязи показателей функционирования кислородно-конвертерного цеха.  $z$  — выплавка стали в календарные сутки,  $y_1$  — выход годного,  $y_2$  — средняя продолжительность плавки,  $y_3$  — текущие простои,  $y_4$  — масса отходов, обрезки, брака,  $y_5$  — угар,  $y_6$  — продолжительность продувки,  $y_7$  — время на взятие пробы и ожидание анализа,  $y_8$  — простои из-за отсутствия чугуна,  $y_9$  — простои из-за отсутствия лома,  $y_{10}$  — стойкость футировки,  $y_{11}$  — холодные простои,  $x_1$  — среднее число додувок на 1 плавку,  $x_2$  — соотношение расходов чугуна и лома,  $x_3$  — продолжительность текущих ремонтов

мых (латентных) показателей, обобщенно характеризующих состояние объекта автоматизации или условия производства и поэтому существенно влияющих на степень взаимосвязи регистрируемых показателей, образующих иерархическую структуру. Латентными показателями могут, например, являться ритмичность производства, состояние технологического оборудования, квалификация персонала и т. п. Неизмеримыми эти показатели являются в том смысле, что не только оценка их значений, но даже просто их формализация представляет самостоятельную проблему.

В связи с тем, что собственно значения латентных показателей в рассматриваемой задаче интереса не представляют, а необходимо только учесть их влияние на взаимосвязь технологических показателей с экономическими, этот учет предлагается осуществлять путем выделения в матрице данных таких совокупностей значений представленных в ней (измеримых) показателей, каждая из которых характеризуется относительным постоянством влияния всех латентных показателей. Такое разбиение осуществляется с помощью последовательного лингвистического анализа [2] в сочетании с двумя специально разработанными методами.

Заметим, что гипотеза о наличии в области изменения регистрируемых показателей подобластей относительного постоянства влияния латентных показателей соответствует содержательному представлению о существовании качественно различных организационно-технологических режимов функционирования рассматриваемых объектов автоматизации. Так, например, в большинстве случаев при определении эффективности АСУ ТП необходимо различать периоды, когда объект автоматизации обеспечен сырьем в достаточной мере, и периоды, когда производство лимитируется поставками сырья. В первом случае внедрение АСУ ТП, сокращающих продолжительность технологического цикла, приведет к росту объема производства, во втором же случае связь между продолжительностью тех-

нологического цикла и производительностью объекта автоматизации практически отсутствует. Аналогично в периоды, когда основная доля загрузки прокатного стана приходится на экспортную продукцию, условиями поставки которой не допускается прокатка в поле минусовых допусков, АСУ ТП, предназначенная для снижения разнотолщинности проката, не приведет к экономии металла.

В приведенных ситуациях подобласти относительного постоянства влияния латентных показателей могут быть выделены из содержательных соображений. В статье же рассматриваются случаи, когда непосредственное выделение указанных подобластей невозможно или затруднительно.

По наблюдениям, отнесенным к каждой из выделенных подобластей относительного постоянства влияния латентных показателей, идентифицируются коэффициенты системы линейных структурных уравнений, описывающей зависимость экономических показателей от технологических при соответствующем данной подобласти режиме функционирования автоматизируемого объекта.

Таким образом, для оценки изменения экономических показателей объекта автоматизации за счет вызываемого использованием АСУ ТП улучшения его технологических показателей предлагается следующая человеко-машинная процедура.

1. Формирование группы экспертов совокупности экономических, технологических и промежуточных показателей, а также графа их взаимосвязи.

2. Построение на основе сформированной совокупности показателей матрицы данных и разбиение ее на подматрицы, каждая из которых соответствует подобласти относительного постоянства влияния латентных показателей.

3. Идентификация по каждой подматрице, в соответствии с графом взаимосвязи показателей, коэффициентов системы линейных структурных уравнений — модели взаимосвязи экономических показателей с технологическими.

4. Определение значений экономических показателей с использованием этих моделей, которое осуществляется следующим образом. Экспертным путем (если АСУ ТП еще не внедрена) или по результатам эксплуатации автоматизированного объекта (если АСУ ТП уже функционирует некоторое время) определяются значения технологических показателей, которые будут достигнуты (или уже достигнуты) в результате внедрения АСУ ТП. Далее определяется подматрица исходной матрицы данных, к которой эти значения технологических показателей наиболее «близки» (смысл понятия близости поясняется в следующем разделе). По системе структурных уравнений, соответствующей этой подматрице, вычисляются значения экономических показателей на основе знания технологических.

## 2. Формальная постановка задачи

Пусть  $x = (x_1, \dots, x_k)$  — исходные технологические показатели объекта автоматизации;  $z = (z_1, \dots, z_L)$  — обобщающие экономические показатели, используемые в формулах официальных методик по определению эффективности, улучшение которых поэтому является конечной целью создания АСУ ТП;  $y = (y_1, \dots, y_m)$  — промежуточные показатели, опосредующие связь  $x$  с  $z$ .

Показатели  $x$ ,  $y$  и  $z$  являются непосредственно регистрируемыми, в частности их можно выбирать из числа показателей регулярной отчетности объекта автоматизации. Кроме того, введем в модель ряд латентных показателей  $p = (p_1, \dots, p_n)$ , влияющих на взаимосвязь между показателями  $x$ ,  $y$  и  $z$ , а следовательно на величину экономических результатов одного и того же изменения вследствие использования АСУ ТП исходных технологических показателей.

Тогда модель формирования эффекта от АСУ ТП может быть записана в виде следующей системы векторных уравнений:

$$(1) \quad \begin{aligned} \mathcal{E} &= \varphi(z), \quad z = F(x, y, a(p)), \\ y &= \Phi(x, y, b(p)), \end{aligned}$$

где  $\mathcal{E}$  — эффект; вид скалярной функции  $\varphi$  регламентируется методикой;  $a$  и  $b$  — векторы коэффициентов модели, зависящие от значений латентных показателей.

Поскольку в силу ненаблюдаемости показателей  $p$  модель в приведенном виде идентифицирована быть не может, предположим, что область изменения показателей  $x$  и  $y$  может быть разбита на подобласти  $D_i$ ,  $i = 1, \dots, r$  (не обязательно связанные) таким образом, что при изменении показателей  $x$  и  $y$  внутри каждой подобласти коэффициенты  $a = a(p)$  и  $b = b(p)$  могут считаться неизменными.

С учетом данного предположения модель (1) может быть переписана в виде

$$(2) \quad \begin{aligned} \mathcal{E} &= \varphi(z), \quad z = F(x, y, a_i), \\ y &= \Phi(x, y, b_i) \quad (x, y) \in D_i \quad (i = 1, \dots, r), \end{aligned}$$

где  $D_i$  —  $i$ -я подобласть относительной стабильности влияния латентных показателей;  $r$  — число таких подобластей;  $a_i$  и  $b_i$  — векторы коэффициентов модели, соответствующие  $i$ -й подобласти.

В соответствии с приведенными соотношениями для построения модели формирования эффекта необходимо:

1) выявить подобласти  $D_i$  относительной стабильности влияния латентных показателей (в пространстве исходных и промежуточных показателей);

2) по данным, характеризующим функционирование объекта автоматизации в каждой  $i$ -й подобласти, идентифицировать векторы коэффициентов модели  $a_i$  и  $b_i$ .

Если построение подобластей  $D_i$  из содержательных соображений невозможно, для этой цели может быть применен метод последовательного лингвистического анализа [2] или метод структурной типологизации ранговых данных при необходимости в сочетании с методом структурной периодизации.

Метод последовательного лингвистического анализа, как известно, состоит в последовательном выполнении экстремальной группировки показателей (с построением факторов) и автоматической одномерной классификации объектов по оси каждого из факторов.

В результате применения метода экстремальной группировки для каждой из групп параметров формируется новый показатель — фактор, который естественно рассматривать как формализованное представление одного из латентных показателей. Действительно, экстремальная группировка показателей и построение факторов осуществляется так, чтобы

максимизировать критерий

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j \in A_i} \rho^2(V_j, f_i) \rightarrow \max_{\substack{A_i, f_i, i=1, \dots, s \\ |f_i| = \sqrt{N}}}$$

или

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j \in A_i} |\rho(V_j, f_i)| \rightarrow \max_{\substack{A_i, f_i, i=1, \dots, s \\ |f_i| = \sqrt{N}}},$$

где  $s$  — число групп показателей;  $A_i$  — множество номеров показателей, отнесенных к  $i$ -й группе;  $f_i$  — фактор  $i$ -й группы показателей;  $V_j$  —  $j$ -й показатель;  $\rho(V, f)$  — коэффициент корреляции фактора  $f$  с показателем  $V$ ;  $N$  — число наблюдений.

В силу этого каждая группа объединяет показатели, изменяющиеся в определенной мере синхронно; эту синхронность можно считать результатом влияния на показатели группы одного из латентных показателей. С другой стороны, указанная общая вариация показателей наилучшим образом описывается фактором — вновь построенным вектором, наиболее сильно коррелированным с показателями группы.

Одномерные классификации наблюдений, выполненные по осям построенных факторов, позволяют выделить подмножества однотипных наблюдений, т. е. характеризующихся близкими значениями всех факторов, а следовательно сходством влияния латентных показателей.

Если среди анализируемых показателей есть ранговые (например, оценка температуры чугуна) или если, в целях фильтрации несущественных различий в значениях количественных показателей, эти показатели заменяются ранговыми, вместо метода последовательного лингвистического анализа может быть применен метод структурной типологизации ранговых данных, одновременно производящий разбиение набора показателей на группы с построением факторов и классификацию наблюдений по осям факторов.

Алгоритм типологизации представляет собой процедуру, близкую к процедуре экстремальной группировки, однако в качестве меры близости показателя  $V_i$  и фактора  $f_j$  используется расстояние по Кемени — Снеллу  $d(V_i, f_j)$ , в качестве фактора выступает медиана Кемени — Снелла [3]. Построение соответствующего разбиения и классификация сводятся к решению экстремальной задачи

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j \in A_i} d(V_j, f_i) \rightarrow \max$$

по всем разбиениям показателей на группы  $\{A_i\}$  и по всем факторам  $\{f_i\}$ , являющимся, в свою очередь, одномерными упорядоченными классификациями наблюдений. Как и в методе последовательного лингвистического анализа, два наблюдения считаются однотипными (т. е. в контексте решаемой задачи — относящимися к одной и той же области относительной стабильности влияния латентных показателей), если они одинаково классифицируются по осям всех факторов.

Чередко на практике оказывается, что число наблюдений, попавших в некоторые из построенных подобластей  $D_i$ , слишком мало для достоверной идентификации искомых моделей. Укрупнение этих подобластей пу-

тем слияния относительно близких из них, т. е. путем уменьшения числа рассматриваемых групп показателей и классов объектов, часто приводит к потере однородности выделяемых подобластей по стабильности взаимосвязей показателей, что связано с тем, что на протяжении относительно больших и «рыхлых» (в смысле распределения наблюдений) подобластей существенно проявляются различия во влиянии латентных показателей. Поэтому укрупнение подобластей предлагается проводить путем слияния таких подобластей, на протяжении которых взаимосвязи показателей, судя по соответствующим наблюдениям, остаются в определенном смысле стабильными. Для этого, в частности, может быть использован метод структурной периодизации, в соответствии с которым исследуемый промежуток времени разбивается на периоды (продолжительностью не менее заданной) оптимальным образом в смысле критерия

$$(3) \quad I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M n_i \rho_i^2(z_j, V_{(i)}^{\max}) \rightarrow \max,$$

где  $n_i$  — число наблюдений, относящихся к  $i$ -му периоду;  $\rho_i(z_j, V)$  — коэффициент корреляции  $j$ -го обобщающего показателя (моделируемого) с исходными или промежуточными показателем  $V$ , рассчитанный только по наблюдениям, отнесенным к  $i$ -му периоду;  $V_{(i)}^{\max}$  — показатель, максимально коррелированный (по модулю) с показателем  $z_j$  в течение периода, т. е. такой, что

$$\rho_i(z_j, V_{(i)}^{\max}) = \max_{k=1, \dots, L} \rho_i(z_j, V_k)$$

(здесь  $M$  — число периодов;  $L$  — число исходных и промежуточных показателей).

Для поиска глобального экстремума критериальной функции (3) применен алгоритм динамического программирования. Заметим, что выявляемый для каждого из периодов показатель — аргумент модели, максимально коррелированный с моделируемым, как правило, оказывается возможным трактовать как показатель, который в течение соответствующего промежутка времени лимитировал совершенствование моделируемого показателя.

Поскольку метод структурной периодизации не позволяет выяснить, к какому из выявленных периодов относятся вновь поступающие наблюдения, результаты структурной периодизации предлагается использовать в качестве вспомогательной информации для объединения малопредставительных подобластей, выделяемых методами последовательного лингвистического анализа или структурной типологизации ранговых данных. При этом число групп и классов выбирается так, чтобы переходы траекторий изменения показателей из периода в период приблизительно соответствовали переходам из какой-либо одной подобласти в другую. «Лишние» границы между подобластями, которым не соответствует переход из периода в период, «стираются», а подобласти объединяются.

После построения подобластей  $D_i$  отдельно по наблюдениям, отнесенным к каждой из подобластей, идентифицируется модель (2) в виде системы линейных структурных уравнений регрессии [1]. В отличие от обыкновенных регрессионных уравнений, структурные уравнения учитывают наличие как обратных связей, так и цепочек влияния, что необходимо для построения адекватной модели формирования эффекта от применения АСУ ТП.

точка, соответствующая базовому уровню исходных показателей (для которой известны фактически наблюдавшиеся значения промежуточных показателей);  $x^k$  — вектор значений исходных показателей, которые предположительно будут достигнуты при использовании АСУ ТП;  $x^1, x^2, \dots, x^{k-1}$  — вспомогательные расчетные точки.

На  $l$ -м шаге процедуры ( $l=1, 2, \dots, k$ ) оцениваются значения промежуточных показателей  $y_l$ , соответствующие  $l$ -й точке отрезка  $[x^0, x^k]$ , для чего значения исходных показателей  $x^l$  подставляются в систему уравнений (2), соответствующую той области  $D$ , которая содержит точку  $(x^{l-1}, y^{l-1})$ .

#### 4. Пример

Для анализа эффективности разрабатываемой автоматизированной системы управления плавкой стали в конвертерном цехе Челябинского металлургического комбината использовалась информация о среднемесячных значениях 55 технико-экономических показателей за пять лет.

Первичным показателем  $x_1$ , непосредственно изменяющимся при автоматизации, является среднее число корректирующих операций (додувок), обобщающими показателями, для улучшения которых в конечном счете разрабатывается АСУ ТП, — масса выплавляемой в календарные сутки стали и себестоимость стали. Кроме того, для обеспечения достаточного полного охвата показателей, существенно влияющих на моделируемые, в число аргументов модели были дополнительно включены в качестве исходных показатели соотношения расходов чугуна и лома ( $x_2$ ) и продолжительности текущих ремонтов оборудования ( $x_3$ ).

Промежуточными показателями, через изменение которых сказывается влияние исходных показателей на обобщающие, являются средняя продолжительность продувки ( $y_6$ ), затраты времени на взятие пробы, замер температуры и ожидание анализа в расчете на одну плавку ( $y_7$ ) и ряд других показателей.

Исходя из содержательных представлений, а также с учетом коэффициентов парной корреляции показателей был разработан граф взаимосвязи, фрагмент которого, касающийся моделирования среднесуточной производительности конвертера, приведен на рис. 1. Этот граф был использован для выбора вида системы линейных структурных уравнений.

Коэффициенты системы структурных уравнений определялись отдельно для каждой совокупности конвертерно-месяцев, характеризовавшихся сходной организационно-технологической ситуацией в конвертерном цехе. Такая совокупность конвертерно-месяцев, для которой, как было показано, типична относительная стабильность влияния априори неизвестных латентных показателей, в дальнейшем называется типом состояний автоматизируемого объекта.

Методом экстремальной группировки параметров в описанном материале было выделено два фактора, которые оказались естественным проинтерпретировать как интенсивность ведения процесса (в стандартизованном масштабе  $f_1 = -0,33y_6 - 0,2y_7 - 0,4y_5 - 0,35y_{10}$ ) и ритмичность производства ( $f_2 = -0,26y_3 - 0,21y_{11} - 0,3y_8 - 0,37y_9$ ). Тем самым были выявлены и формализованы латентные показатели, интегрально описывающие функционирование исследуемого цеха. Разбиение значений каждого фактора на три класса позволило выделить семь существенно различных типов состояний (см. рис. 3) объекта автоматизации за изучаемый промежуток времени. На рис. 3 в каждой клетке, образуемой тонкими ли-

ниями и обозначающей тип состояний, указано число конвертеро-месяцев, его составляющих.

В связи с тем, что некоторые выделенные типы состояний малочисленны, был применен метод структурной периодизации, после чего описанным в разделе 3 способом были сформированы три укрупненных типа состояний, границы между которыми изображены на рис. 3 жирными линиями. Для идентификации коэффициентов системы структурных уравнений использовались 66% выбранных случайным образом наблюдений каждого типа, а остальные 34% — для проверки адекватности построенной модели, показавшей, что во всех трех укрупненных типах соответствующая система структурных уравнений позволяет получить прогноз показателей  $z$  в 82--96% случаев не более, чем на 10% отличающийся от соответствующего значения из контрольной совокупности.

Как видно из рис. 3, укрупненные типы состояний могут быть проинтерпретированы следующим образом: первый тип — конвертеро-месяцы с низкой ритмичностью работы или средней ритмичностью работы при низкой интенсивности процесса; второй тип — конвертеро-месяцы со средней и высокой ритмичностью работы при невысокой интенсивности процесса; третий тип — конвертеро-месяцы с высокой интенсивностью процесса и средней или высокой ритмичностью работы. Ниже в качестве примера приведен фрагмент системы структурных уравнений, идентифицированный по наблюдениям, составляющим второй тип состояния конвертерного цеха (приведены  $\beta$ -коэффициенты):

$$\begin{aligned} z &= 0,25y_1 - 0,44y_2 - 0,14y_3 - 0,61y_{11} \quad (-0,24; -0,67) \quad (-0,68; -0,12), \\ y_1 &= -0,08y_4 - 0,37y_5, \quad y_2 = 0,37y_6 + 0,19y_7, \\ y_3 &= 0,28y_8 + 0,37y_9 + 0,04x_2, \quad y_4 = -0,06x_1, \quad y_5 = 0,37y_6 - 0,12x_2, \\ y_6 &= 0,51x_1, \quad y_7 = 0,81x_1, \quad y_8 = 0,22x_2, \quad y_9 = -0,14x_2, \\ y_{10} &= -0,28y_6, \quad y_{11} = 0,15y_{10}. \end{aligned}$$

С целью иллюстрации предлагаемого подхода после первого уравнения системы в скобках указаны коэффициенты при показателях  $y_2$  и  $y_3$ , идентифицированные по наблюдениям первого и третьего типов соответственно. Сравнение указанных коэффициентов свидетельствует о том, что текущие простои оказывают наиболее сильное влияние на выплавку стали в те месяцы, когда ритмичность работы цеха низка. Заметим, что в указанные месяцы наблюдается относительно слабая связь между выплавкой стали и средней продолжительностью плавки, что делает, в частности, малоэффективным применение АСУ ТП плавки, которая ускоряет плавку путем сокращения числа додувок.

Остановимся вкратце на вспомогательной эвристической процедуре, предложенной для осуществления прогноза с помощью модели значений ее эндогенных показателей на основе знания экзогенных. Исходя из опыта применения АСУ ТП плавкой предполагалось, что среднее число додувок в расчете на одну плавку ( $x_1$ ), благодаря применению АСУ ТП, сократится с 0,8 (среднего значения за последний год исследовавшегося промежутка времени) до 0,2. В предположении, что значения двух других экзогенных переменных модели ( $x_2$  и  $x_3$ ) сохраняются на уровне средних значений за последний год исследовавшегося промежутка времени, были последовательно выполнены расчеты по модели при следующих значениях  $x_1$ : 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2. Расчет при  $x_1 = 0,8$  фактических значений факторов и сравнение их с граничными, выявленными в результате применения лингвистического анализа показало, что среднее



состояние объекта автоматизации относится к первому классу по первому фактору и ко второму классу по второму фактору. Соответствующее такому сочетанию номеров классов состояние относится ко второму укрупненному типу. К этому укрупненному типу относятся, как показали расчеты по модели, и состояния, соответствующие среднему числу додувок 0,7 и 0,6. Последующие расчетные точки оказались отнесенными к третьему укрупненному типу. Поэтому первые два расчета выполнялись по второй из систем структурных уравнений, а последующие — по третьей. В результате были получены оценки предполагаемого изменения за счет применения АСУ ТП промежуточных ( $y$ ) и обобщающих ( $z$ ) показателей.

Аналогичные вычисления по модели были выполнены в предположении, что за счет проведения тех или иных организационных мероприятий продолжительность текущих ремонтов оборудования во всех расчетных точках будет меньше на 1 сутки в месяц. В этом случае предполагаемая траектория изменения за счет применения АСУ ТП состояния цеха целиком переместилась в область, соответствующую третьему укрупненному типу.

Ожидаемый годовой экономический эффект от применения АСУ ТП в первом случае (при сохранении продолжительности текущих ремонтов на прежнем уровне) составил 1,8 млн. руб., а во втором — 3,2 млн. руб.

В заключение сделаем замечание относительно обоснования большей эффективности предложенного в статье подхода по сравнению с традиционными методами прогнозирования экономического эффекта. Проведенное сравнение результатов прогнозирования величины результирующих показателей модели (выплавка стали, себестоимость) с использованием кусочно-непрерывной структурной модели и структурной модели, не учитывающей наличие различных способов состояний автоматизируемого объекта (влияние латентных показателей), показало, что прогнозирующая способность последней модели в среднем на 10—20% ниже прогнозирующей способности модели, предложенной в статье. (Сравнение производилось по усредненной величине суммарного отклонения прогноза от соответствующих точек контрольной совокупности.)

## 5. Выводы

Разработана и апробирована при исследовании ряда АСУ ТП в черной металлургии методика создания моделей, связывающих показатели, улучшением которых характеризуется техническая эффективность применения АСУ ТП, с показателями, в изменении которых выражается экономическая эффективность применения этих систем. Особенностью методики является учет латентных производственных показателей, характеризующих наиболее важные условия функционирования объекта автоматизации.

Применение предлагаемого подхода позволяет определять размеры экономического эффекта и в случаях, когда сложна связь между улучшаемыми технологическими и экономическими производственными показателями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Коди Дж.* Количественные методы в экономике. М.: Прогресс, 1977.
2. *Браверман Э. М., Мучник И. Б.* Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983.
3. *Кемени Дж., Снелл Дж.* Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения. М.: Сов. радио, 1972.

Поступила в редакцию  
14.II.1986

### **STRUCTURAL-STATISTICAL SIMULATION IN DETERMINING THE EXPECTED PAYOFF OF CONTROL SYSTEMS**

**GALITSKIY Ye. B., LEVIN M. I., RUBINCHIK M. V.**

The expected payoff of control system is estimated by models designed in a proposed way and relating the technological and economic indices while some unmeasurable factors influence the interrelationship of these indices.