

Ю. ЮЛЕСОО

## КОМБИНИРОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И НОРМАТИВНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

*Представил К. Хабихт*

Процесс прогнозирования развития отрасли в статье рекомендуется делить на два этапа: генетическое и нормативное прогнозирование. Метод первого этапа прогнозирования соединяет основные свойства следующих методов: 1) экстраполяция по тренду временного ряда, 2) производственные функции и 3) имитация. Метод второго этапа включает в себя: 1) нелинейное программирование и 2) имитацию. Прогнозы развития представляются в виде интервалов. Процесс прогнозирования — это диалог человека и машины, в ходе которого определяются основные параметры исследуемой отрасли, а также уточняются цели и задачи ее развития.

### 1. Введение

Прогнозирование — это важная научно-аналитическая стадия планирования. Оно должно дать информацию о будущем, необходимую для принятия наиболее рациональных плановых решений. Польза прогнозирования заключается в резком снижении неопределенности будущего. Прогнозы должны определять область и границы возможного развития, альтернативные варианты роста, они должны предупреждать о неблагоприятных тенденциях и назревающих проблемах.

Основные принципы прогнозирования экономического развития и общая технология разработки прогнозов даны в [1], где указывается, что экономическому прогнозу присущи черты двух подходов — генетического и нормативного. Генетический подход отражает инертный характер развития экономического процесса и существование устойчивых тенденций в прошлом. Нормативный подход исходит из целевых установок человека на будущее и тем определяет управляемость экономического прогноза. Любой качественный экономический прогноз в рациональном сочетании должен объединять оба подхода.

Математическим аппаратом, больше всего используемым при прогнозировании долгосрочного развития, служат статистические и детерминистские модели, а также индетерминистские оптимизационные модели. При помощи статистических моделей можно прогнозировать инертные моменты развития, но они не способны учесть цели и задачи развития, а следовательно, и активной роли человека в экономике. В детерминистских моделях описываются цели развития, учитывается внешняя информация, но тем самым абстрагируется неполнота информации. Вероятность реализации таких прогнозов приближается к нулю.

Для прогнозирования можно применять и стохастические оптимизационные модели, свободные от вышеизложенных недостатков, но в связи со сложностью их решения, они пока еще мало исследованы. Поэтому целесообразно прогнозировать развитие отрасли при помощи индетерминистской оптимизационной модели, соединяющей возможности статистических и детерминистских моделей и описывающей деятельность (генетическую и нормативную) отрасли в виде распределения прогнозных показателей [2].

Первые попытки соединить статистические модели с детерминистскими сделаны в работах [3, 4]. Дальнейшая разработка данных принципов построения моделей дана в [5], где излагаются также проблемы использования динамических оптимизационных экономико-статистических моделей в перспективном планировании и прогнозировании. В этих работах можно найти два наиболее существенных недостатка. В них не учитывается, что линейность экономического процесса — это исключительный случай. В общем случае экономические процессы нелинейны. Кроме того, исходная информация, как правило, недостаточно достоверна (ограниченность информации, ошибки измерения и т. д.). Сам процесс прогнозирования производится в условиях неполной информации об обстановке, в которой реализуется состояние прогнозируемой экономики. Поэтому точный прогноз маловероятен, вместо него должно быть дано распределение прогнозных показателей (интервальные прогнозы).

В литературе еще недостаточно уделено внимания индетерминистским оптимизационным моделям [6]. В данной статье делается попытка описать модель отраслевого прогнозирования, учитывающую генетический и нормативный подходы прогнозов, а также реализующую представление прогнозов в виде интервалов.

В начале статьи описывается этап генетического прогнозирования, в результате которого должны быть определены уровень и динамика отрасли, при условии, что в перспективе сохранятся тенденции и закономерности прошлого и настоящего периода, не будет новых существенных факторов производства и дополнительного планового вмешательства. Основой этого этапа является представление отрасли в виде производственных функций подсистем нижнего уровня. Генетические варианты развития разрабатываются путем имитационных экспериментов с отмеченными производственными функциями. Результаты первого этапа оформляются в виде интервального прогноза. Далее описывается этап нормативного прогнозирования. Сложившиеся тенденции экономического развития неизбежно должны корректироваться для достижения целей и задач развития. Моделью этого этапа является задача нелинейного программирования, составленная из компонентов генетической модели и дополненная целями перспективного развития. Нормативный прогноз тоже является интервальным прогнозом. В конце статьи рекомендуются также пути практической реализации описываемой модели отраслевого прогнозирования.

## 2. Генетический прогноз развития

На первом этапе прогнозирования разрабатывается генетическая модель отрасли. Основой этой модели служит совокупность производственных функций подсистем нижнего уровня. Дополнительно в генетическую модель включаются тренды факторов и результатов производства с доверительными интервалами, а также распределение парамет-

ров производственных функций. Из широкого класса моделей производственные функции выделяются не столько ориентацией на определенный объект исследования — производство, сколько своим содержанием, позволяющим придавать компонентам этих функций существенный экономический смысл. Производственные функции дают возможность получить характеристики таких ключевых экономических понятий, как эффективность производства, темпы и пропорции экономического развития, роль и влияние научно-технического прогресса, ценообразование и т. п.

В дальнейшем используются два ключевых понятия: фактор производства и процесс производства. Фактор производства — это производственный ресурс, выступающий в роли элемента процесса производства. Процесс производства, в свою очередь, — это взаимодействие факторов производства. Обозначим факторы производства в подсистеме  $i$  векторами

$$x_i = (x_{ij}), \quad i \in M = \{1, \dots, m\}, \quad j \in N = \{1, \dots, n\},$$

где  $M$  — множество подсистем отрасли ( $m$  — их число) и  $N$  — множество факторов ( $n$  — их число). Результаты производства подсистем обозначим  $y_i$ . Зависимость результата от факторов выражается в виде производственной функции:

$$y_i = f_i(x_i, \alpha_i), \quad (2.1)$$

где  $\alpha_i$  — вектор параметров производственной функции подсистемы  $i$ ,

$$\alpha_i = (\alpha_{ik}), \quad k \in L_i = \{1, \dots, l_i\},$$

где  $L_i$  — множество параметров в подсистеме  $i$  и  $l_i$  — их число. Если в качестве одного фактора используется время  $t$ ,  $t \in E = \{1, \dots, e\}$ , где  $E$  — множество временных моментов ретроспективного периода и  $e$  длина этого периода, то  $f_i$  — функция факторно-временного типа. Если в производственной функции (2.1)  $x_i = x_i(t)$ , то факторы производства включены в функцию в виде их трендов.

Оценивание параметров функции (2.1) можно разделить на две стадии:

- 1) оценивание трендов факторов, если  $x_i = x_i(t)$ ;
- 2) оценивание параметров  $\alpha_i$  функции (2.1).

Обозначим трендовые функции  $\xi_r(t)$ ,  $r \in P = \{1, \dots, p\}$ , где  $P$  — множество типов трендовых функций и  $p$  — их число. В общем случае  $P$  содержит как линейные (например,  $\xi_r(t) = a + bt$ ) так и нелинейные функции (например,  $\xi_r(t) = at^b$ ). Разные типы трендовых функций подробно анализируются в [7]. Оценивание трендов факторов производится в виде задачи нелинейной регрессии. Эта задача решается итеративно для каждой  $r \in P = \{1, \dots, p\}$ . Из всех  $r$  выбирается лучший тип трендовой функции по минимальному значению остаточной дисперсии.

Оценивание параметров и выбор наилучшего типа производственной функции подсистемы осуществляется аналогичным образом. Обозначим типы производственных функций  $\psi_u(x)$ ,  $u \in V = \{1, \dots, v\}$ , где  $V$  — множество типов производственных функций и  $v$  — их число. В общем случае  $V$  содержит как линейные (например,  $\psi_u(x) = a + \sum_{j=1}^n b_j x_j$ ), так и нелинейные (например,  $\psi_u(x) = a \cdot \prod_{j=1}^n x_j^{b_j}$ )

производственные функции. Разные типы производственных функций анализируются в работах [8, 9]. Параметры производственных функций оцениваются также в виде нелинейной регрессии итеративно, при переходе от фактических значений факторов к трендовым и к разным типам производственных функций  $u \in V = \{1, \dots, v\}$ . Из всех итераций выбирается лучший тип производственной функции по минимальному значению остаточной дисперсии.

Решение задачи оценивания параметров производственных функций для всех подсистем  $i \in M = \{1, \dots, m\}$  дает основную совокупность функций генетической модели отрасли — производственные функции. На их основе разрабатывается в две стадии генетический интервальный прогноз развития:

- 1) определение доверительных интервалов трендов факторов;
- 2) имитация интервала отклонения результата производства подсистем.

В работе [7] анализируются некоторые методы определения доверительных интервалов трендов. Наиболее целесообразным из них представляется метод, учитывающий, что области допуска прошлого развития соответствует более обширная область допуска развития в перспективе:

$$\hat{x}_{ijt} = \dot{x}_{ij}(t) \pm \sigma \cdot q \frac{t}{d},$$

$$q = \frac{q \cdot \dot{x}_{ij}(d)}{\sigma \cdot 100},$$
(2.2)

где  $\hat{x}_{ijt}$  — доверительный интервал генетического прогноза фактора  $x_{ij}$  в момент времени  $t$ ;

$\dot{x}_{ij}(t)$  — прогнозное значение фактора, вычисленное по тренду;

$t$  — временной момент прогноза,  $t \in D = \{e+1, \dots, d\}$ ;

$d$  — конечный временной момент прогнозного горизонта;

$\sigma$  — остаточное стандартное отклонение от тренда;

$q$  — допуск прогноза в %, определяемый прогнозистом;

$\dot{x}_{ij}(d)$  — прогнозное значение фактора в конечный момент прогнозного горизонта  $t=d$ , вычисленное по тренду.

Доверительные интервалы генетического прогноза результатов производства подсистем вычисляются при помощи имитационного эксперимента с моделью (2.1). В ходе эксперимента имитируются значения факторов производства по их распределению при помощи трендов (оценка параметров трендовых функций по нелинейной регрессии обеспечивает нормальное распределение с параметрами  $N(\dot{x}_{ij}(t), \sigma_{x_{ij}}^2)$ ) и вычисляются по производственным функциям (2.1) значения результатов производства. Таким образом получается некоторое распределение результатов производства подсистем (оценка параметров производственных функций по нелинейной регрессии обеспечивает нормальное распределение). Если параметры этого нового распределения обозначить  $N(\bar{y}_{it}, \sigma_{y_{it}}^2)$ , то доверительный интервал результатов производства можно вычислить по формуле:

$$\hat{y}_{it} = \bar{y}_{it} \pm \frac{\sigma_{y_{it}}}{\sqrt{I}} \cdot \Phi_{y_{it}},$$
(2.3)

где  $\hat{y}_{it}$  — доверительный интервал генетического прогноза результата производства подсистемы  $i$  в момент времени  $t$ ;

- $\bar{y}_{it}$  — среднее значение прогноза результата производства подсистемы  $i$  в момент времени  $t$ ;  
 $\sigma_{yi}$  — стандартное отклонение прогноза результата производства подсистемы  $i$ ;  
 $I$  — количество итерации в имитационном эксперименте;  
 $\Phi_{yi}$  — значение обратной функции распределения результата производства подсистемы  $i$  в момент  $t$  при значении допуска  $q$ .

Такая имитация проводится итеративно через весь прогнозный горизонт  $t \in D = \{e+1, \dots, d\}$ . В результате получают интервальные прогнозы факторов и результатов производства всех подсистем отрасли, графическое изображение которых дано на рис. 1.

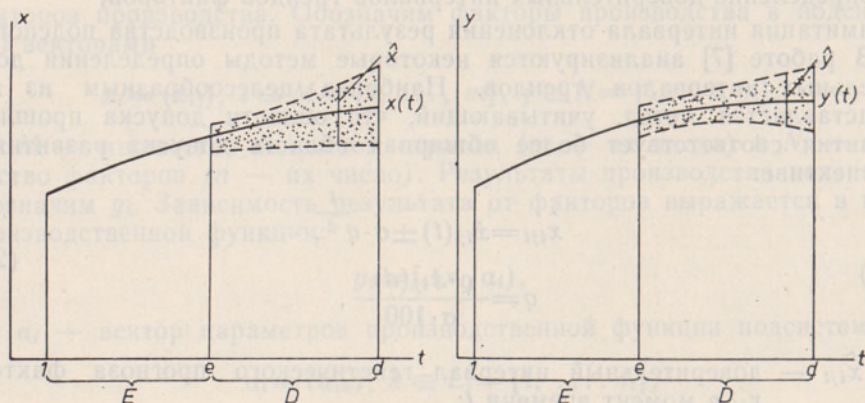


Рис. 1. Генетический прогноз развития.

Второму этапу прогнозирования нужны также распределения параметров  $\alpha_i$  производственных функций. Нелинейная регрессия обеспечивает значения этих параметров, если производство развивается по трендам. Но это исключительный случай. Поэтому надо выявить, каким образом изменяются параметры производственных функций, если факторы и результаты производства изменяются в пределах своих распределений. Имитируя значения факторов и результатов производства на весь прогнозный период  $D$  и оценивая параметры производственных функций по нелинейной регрессии, получим некоторый новый вектор параметров  $\bar{\alpha}_i$ . При многократном повторении такого эксперимента накапливаются распределения всех параметров производственных функций. Если производственная функция  $y_i = f_i(x_i, \alpha_i)$  линейная, то результат этого имитационного эксперимента — нормальное распределение  $N(\bar{\alpha}_{ik}, \sigma_{\alpha_{ik}}^2)$ ,

где

- $\bar{\alpha}_{ik}$  — среднее значение параметра  $\alpha_{ik}$ ;  
 $\sigma_{\alpha_{ik}}^2$  — дисперсия параметра  $\alpha_{ik}$ .

При нелинейной функции должны быть определены тип и параметры получаемого распределения.

### 3. Нормативный прогноз развития

Второй этап прогнозирования — нормативное прогнозирование, опирается на модель, полученную в процессе первого этапа — генетического прогнозирования. Базой нормативного прогноза является индетерминистская оптимизационная модель, которая описывается с помощью задачи нелинейного векторного программирования, соединенной с имитацией.

Если задачи математического планирования указывают самый лучший путь к достижению целей развития, то задача прогнозирования должна указать направление развития, если сложившиеся тенденции корректируются целенаправленной человеческой деятельностью. Поэтому прогнозная задача нелинейной векторной оптимизации должна соблюдать единство двух аспектов развития:

- 1) инертность развития;
- 2) отклонения от сложившихся тенденций в связи с управляемостью экономических процессов.

Инертность развития можно сформулировать в виде одной частной функции векторной целевой функции, максимизирующей близость будущих точек пространства факторов и результатов производства их тенденциям развития (трендам). Целенаправленное развитие формулируется в виде других частных функций векторной целевой функции (критериев роста). Разумное сочетание этих двух аспектов определяется весами. При помощи разных сочетаний весовых коэффициентов исследуется смещение прогноза в сторону инертности или напротив, в сторону управляемости.

Прогнозная задача векторного нелинейного программирования в общем случае имеет вид:

$$\max Z(X), \quad (3.1)$$

$$\text{при условии} \quad G(X) \geq B, \quad (3.2)$$

где  $Z(\cdot)$  — векторная целевая функция;  
 $G(\cdot)$  — вектор функций ограничений;  
 $B$  — вектор скалярных лимитов;  
 $X$  — матрица факторов производства.

Функция (3.1) состоит из ряда частных функций, описывающих разные критерии развития. Обозначим частичные функции символом  $z$ , индекс которого (наверху в скобках) указывает тип критерия. Индексы внизу будут обозначать объект (подсистема, фактор, временной момент), в отношении которого вычисляется критерий. Критерии первого типа ( $z_t^{(1)}$ ) будут описывать инертность развития. Как отмечено выше, развитие можно считать более инертным, если изменения факторов и результатов производятся по трендам. Чем ближе прогнозны значения факторов ( $x_{ijt}^*$ ) и результатов производства ( $y_{it}^* = f_i(x_{it}^*, a_i)$ ) к соответствующим трендам  $\dot{x}_{ij}(t)$  и  $\dot{y}_i(t)$ , тем меньше сумма квадратов отклонений между этими значениями. Тогда частичные функции критериев инертности можно выразить формулой:

$$z_t^{(1)} = \sum_{i=1}^m [f_i(x_{it}^*, a_i) - \dot{y}_i(t)]^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [x_{ijt}^* - \dot{x}_{ij}(t)]^2, \quad (3.3)$$

$$t \in D = \{e+1, \dots, d\}.$$

Критерии следующих типов — это критерии экономического роста. Важнейшими критериями экономического роста являются [1]:

1) критерии экстенсивного роста (максимального результата производства);

2) критерии интенсивного роста (максимальной экономической эффективности).

Частичные функции  $z_{it}^{(2)}$  будут обозначать критерии экстенсивного роста. Индексы  $i$  и  $t$  вводятся с целью имитации влияния экстенсивного роста (увеличения результата производства) подсистем на общее развитие отрасли. Частичные функции  $z_{it}^{(2)}$  выражаются следующим образом:

$$z_{it}^{(2)} = f_i(x_{it}^*, \alpha_i), \quad (3.4)$$

$$i \in M = \{1, \dots, m\}, \quad t \in D = \{e+1, \dots, d\}.$$

Частичные функции  $z_{ijt}^{(3)}$  будут обозначать критерии интенсивного роста. В качестве критериев интенсивного роста целесообразно использовать показатели средней эффективности факторов [8]. Индексы  $i, j$  и  $t$  вводятся с целью имитации влияния изменения средней эффективности разных факторов на общее развитие отрасли. Частичные функции  $z_{ijt}^{(3)}$  выражаются формулой:

$$z_{ijt}^{(3)} = \frac{f_i(x_{it}^*, \alpha_i)}{x_{ijt}^*}; \quad (3.5)$$

$$i \in M = \{1, \dots, m\}, \quad j \in N = \{1, \dots, n\}, \quad t \in D = \{e+1, \dots, d\}.$$

Общее число частичных функций в (3.1) равно  $(d-e)[m(n+1)+1]$ , где  $d$  — конечный временной момент прогнозного горизонта,  $e$  — конечный временной момент ретроспективного периода,  $m$  — число подсистем и  $n$  — число факторов производства. С практической точки зрения, такая векторная функция должна скаляризоваться. Методы скаляризации, используемые наиболее часто, описываются в [10]. Целесообразен из них метод, позволяющий получить скалярную функцию суммированием частичных функций, умноженных на весовые коэффициенты. В этом случае имеется возможность при помощи весов выдвинуть некоторые аспекты развития.

Введем следующую систему весов:

$\sum_{q=1}^3 \omega^{(q)} = 1$  — веса, при помощи которых выдвигаются некоторые критерии развития ( $q$  — индекс типа критерия);

$\sum_{i=1}^m \gamma_i = 1$  — веса, при помощи которых выдвигаются некоторые подсистемы;

$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  — веса, при помощи которых выдвигаются некоторые факторы производства;

$\sum_{t=e+1}^d \mu_t = 1$  — веса, при помощи которых выдвигаются некоторые временные моменты прогнозного горизонта (например, первая пятилетка).

Тогда скаляризованная функция (3.1) выражается формулой:

$$Z(X) = \sum_{t=e+1}^d \mu_t \cdot \left[ -\omega^{(1)} z_t^{(1)} + \omega^{(2)} \sum_{i=1}^m \gamma_i \cdot z_{it}^{(2)} + \omega^{(3)} \cdot \sum_{i=1}^m \gamma_i \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot z_{ijt}^{(3)} \right]. \quad (3.6)$$

Обратим внимание на то, что при максимизации функции (3.1) критерии инертности  $z_t^{(1)}$  в (3.6) должны иметь противоположные знаки.

Недостаток (3.6) — возможность резкой дифференциации значений частичных функций  $z_t^{(1)}$ ,  $z_{it}^{(2)}$  и  $z_{ijt}^{(3)}$ ; например, из-за разных масштабов измерения. Этого можно избежать, заменив частичные функции соответствующими цепными индексами:

$$I_t^{(1)} = \frac{z_t^{(1)}}{z_{t-1}^{(1)}}; \quad I_{it}^{(2)} = \frac{z_{it}^{(2)}}{z_{i(t-1)}^{(2)}}, \quad I_{ijt}^{(3)} = \frac{z_{ijt}^{(3)}}{z_{ij(t-1)}^{(3)}}.$$

В этом случае не нужны и отрицательные знаки у  $I_t^{(1)}$ , их можно просто преобразовать:

$$I_t^{(1)} = \frac{z_{t-1}^{(1)}}{z_t^{(1)}}$$

Ограничения в прогнозной задаче нелинейной векторной оптимизации (3.1), (3.2) являются:

- 1) требования на неотрицательность факторов и результатов производства,
- 2) лимиты ресурсов, если они известны по каким-то другим прогнозам,
- 3) требования на динамику результатов производства.

Обозначаем частичные функции ограничений символом  $g$ , индекс которого (наверху в скобках) указывает тип ограничения. Индексы внизу будут обозначать, в отношении чего ограничение вычисляется. Аналогично обозначим лимиты  $b$ .

Требования на неотрицательность факторов ( $g_{ijt}^{(1)}$ ) и результатов производства ( $g_{it}^{(2)}$ ) выражаются:

$$g_{ijt}^{(1)} = x_{ijt}^* \geq 0, \quad (3.7)$$

$$g_{it}^{(2)} = f_i(x_{it}^*, \alpha_i) \geq 0. \quad (3.8)$$

Лимиты ресурсов (верхние границы) можно выразить различными способами:

$$g_j^{(3)} = \sum_{t=e+1}^d \sum_{i=1}^m x_{ijt}^* \leq b_j^{(3)}, \quad (3.9)$$

$$g_{jt}^{(4)} = \sum_{i=1}^m x_{ijt}^* \leq b_{jt}^{(4)}, \quad (3.10)$$



$$g_{ij}^{(5)} = \sum_{t=e+1}^d x_{ijt}^* \leq b_{ij}^{(5)}, \quad (3.11)$$

$$g_{ijt}}^{(6)} = x_{ijt}^* \leq b_{ijt}^{(6)}. \quad (3.12)$$

Динамику результатов производства можно выразить в виде требования непрерывного роста результатов производства отрасли в целом или ее подсистем:

$$g^{(7)} = \frac{\sum_{i=1}^m f_i(x_{it}^*, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^m f_i(x_{i(t-1)}^*, \alpha_i)} \geq 1, \quad (3.13)$$

$$g_i^{(8)} = \frac{f_i(x_{it}^*, \alpha_i)}{f_i(x_{i(t-1)}^*, \alpha_i)} \geq 1. \quad (3.14)$$

Решение задачи (3.1), (3.2) — это точечный нормативный прогноз распределения факторов и получаемых результатов производства. Этот прогноз предполагает, что векторы параметров производственных функций  $\alpha_i$  и весовые коэффициенты в целевой функции (3.6) точно зафиксированы. Но как уже отмечено в предыдущем параграфе, параметры производственных функций имеют свои распределения, а определяемые эвристическим методом весовые коэффициенты лучше представить в виде интервалов:

$$\omega^{(q)} \in [{}_{\perp} \omega^{(q)}, \omega^{(q)}_{\perp}]; \quad \gamma_i \in [{}_{\perp} \gamma^i, \gamma^i_{\perp}];$$

$$\lambda_j \in [{}_{\perp} \lambda_j, \lambda_j_{\perp}]; \quad \mu_t \in [{}_{\perp} \mu_t, \mu_t_{\perp}].$$

Исходя из этого, при помощи имитационного эксперимента с задачей (3.1), (3.2) разрабатывается интервальный нормативный прогноз развития. Основная суть его — имитация параметров производственных функций и весовых коэффициентов и итеративное решение задачи (3.1), (3.2). В результате накапливаются распределения нормативных

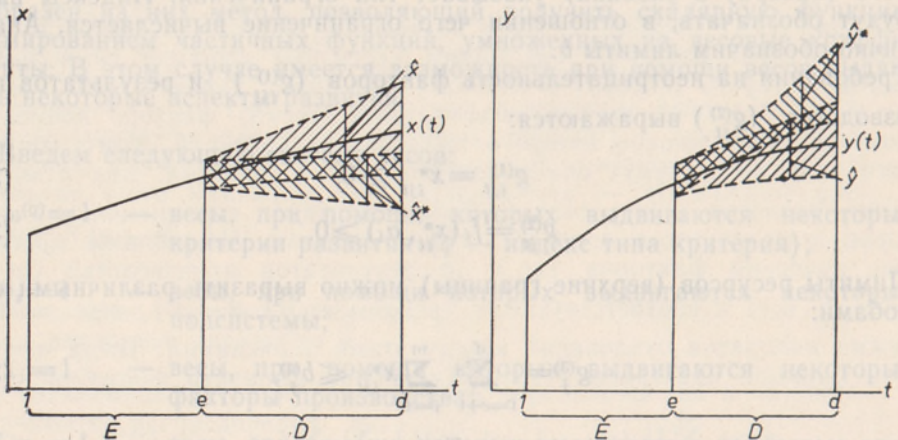


Рис. 2. Генетический и нормативный интервальные прогнозы.

прогнозов факторов и результатов производства. Доверительные интервалы этих прогнозов  $\hat{x}^*$  и  $\hat{y}^*$  вычисляются аналогично алгоритму (2.3),

Интервальные генетические и нормативные прогнозы изображаются графически, как показано на рис. 2.

Прогнозы факторов и результатов производства служат основой для вычисления других показателей экономической деятельности. В зависимости от включаемых показателей факторов и результатов производства, можно определить такие важные прогнозные показатели, как товарная продукция, чистая продукция, стоимость основных фондов, оборотные средства, численность промышленно-производственного персонала, себестоимость продукции, прибыль, капитальные вложения, фонд заработной платы, производительность труда, фондоотдача и многие другие.

#### 4. Проблемы практической реализации

Метод комбинирования генетического и нормативного подхода при прогнозировании развития отрасли, изложенный в предыдущих параграфах, весьма трудоемок, с точки зрения вычислительных аспектов. Для определения нелинейной регрессии и (3.1), (3.2) требуются эффективные алгоритмы решения задач нелинейного программирования. Проведение имитационных экспериментов с ними требует большого количества вычислительных операций. Поэтому прогнозирование по такому методу немыслимо без участия ЭВМ в разработке. Диалог прогнозиста с ЭВМ объединяет в одно целое оба этапа прогнозирования. Внутреннее математическое обеспечение данной имитационной системы представляет собой набор программ, реализующих решение задач нелинейного программирования и проведение имитационных экспериментов с ними. Прогнозист, управляющий разработкой, определяет основные характеристики исследуемой отрасли:

- 1) совокупность подсистем;
- 2) совокупность включаемых факторов производства;
- 3) совокупность типов производственных функций и функций трендов, участвующих в разработке прогноза;
- 4) параметры производственных функций и трендов, если они известны по каким-либо другим исследованиям;
- 5) длина прогнозного горизонта;
- 6) ограничения развития;
- 7) интервалы весов в целевой функции;
- 8) желаемая форма представления результатов (таблицы, графики).

Так как речь идет о прогнозировании, о довольно большой неопределенности, то для решения задачи нелинейного программирования целесообразно использовать квазиоптимизацию. Суть квазиоптимизации состоит в том, что вместо строго оптимального, допускаются решения, близкие к оптимальному. С вычислительной точки зрения, такие задачи можно реализовать по методу скользящего допуска, изложенного в [11].

## 5. Выводы

Прогнозирование развития отрасли целесообразно разделить на два этапа. На первом этапе должны быть оценены параметры генетического характера развития отрасли. Разрабатывается генетическая модель, которая содержит тренды факторов производства с доверительными интервалами, производственные функции, имитированные распределения результатов производства и распределения параметров производственных функций. На втором, нормативном этапе прогнозирования компоненты генетической модели превращаются в индетерминистскую оптимизационную модель, которая содержит задачу векторной нелинейной оптимизации. Векторная целевая функция состоит из двух основных совокупностей частных функций: 1) функции, определяющие инертность развития и 2) функции, определяющие критерии экономического роста. В качестве важнейших критериев экономического роста в модель включаются критерии экстенсивного и интенсивного развития. Задача нелинейного программирования дополняется ограничениями на ресурсы и требованиями динамики результатов производства. Интервалы нормативных прогнозов разрабатываются при помощи имитационных экспериментов с прогнозной задачей векторной нелинейной оптимизации.

Практическая реализация такого метода прогнозирования целесообразна в виде диалога человека-машины, при использовании алгоритмов квазиоптимизации и скаляризации векторной целевой функции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анчишкин А. И. Прогнозирование роста социалистической экономики. М., 1973.
2. Эннусте Ю. Задача индетерминистской оптимизации в математической теории прогнозирования социально-экономического развития региона. — В кн.: Прогнозирование социально-экономического развития региона. Таллин, 1980, ч. II, с. 325—329.
3. Wagner H. J. Linear programming techniques for regression analyses. — J. Amer. Statist. Assoc., 1959, v. 54, N 285.
4. Базилевич А. А. Постановка задачи линейного программирования с применением данных корреляционного анализа. — Экономика и математические методы, 1967, т. III, вып. 1, с. 83—87.
5. Кулешов В. В., Лукацкая М. Л., Ягольницер М. А. Проблемы статистического моделирования и оптимизация отраслевых планов. Новосибирск, 1977.
6. Эннусте Ю. О некоторых возможностях совершенствования стохастического социально-экономического программирования. — Изв. АН ЭССР. Обществ. науки, 1980, т. 29, № 1, с. 19—26.
7. Хауштейн Т. Методы прогнозирования в социалистической экономике. М., 1971.
8. Frisch R. Theory of production. Dordrecht, 1965.
9. Терехов Л. Л. Производственные функции. М., 1974.
10. Гранберг А. Г. Математические модели социалистической экономики. М., 1978.
11. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М., 1975.

*Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
27/X 1980.

J. ÜLESOO

## GENEETILISE JA NORMATIIVSE LÄHENEMISVIISI KOMBINEERIMINE MAJANDUSHARU ARENGU PROGNOOSIMISEL

Artiklis on soovitatud majandusharu arengu prognoosimine jaotada kahte etappi: geneetiliseks ja normatiivseks. Esimesel etapil rakendatakse aegrea ekstrapoleerimist trendi abil, tootmisfunktsioone ja imitatsiooni, teisel etapil mittelineaarset programmeerimist ja imitatsiooni. Arengu prognoosid on esitatud intervallidena.

Prognoosimine kujutab endast inimese—arvuti dialoogi, mille käigus määratakse uuritava majandusharu põhilised parameetrid ning täpsustatakse tema arengu eesmärgid ja ülesanded.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud  
27. X 1980

J. ÜLESOO

## COMBINING THE GENETIC AND NORMATIVE APPROACHES BY THE PREDICTION OF THE BRANCH OF PRODUCTION DEVELOPMENT

It is suggested to divide the prediction process into two stages: genetic and normative prediction. For the method of genetic prediction, a combination of basic principles of various methods is used: 1) extrapolation by trends, 2) production functions, and 3) imitation. The method of normative prediction makes use of nonlinear programming and imitation. The predictions are presented by intervals.

The prediction process is a man—computer interaction for identifying basic parameters of the branch of production and for specifying the objectives of the development.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economics*

Received  
Oct. 27, 1980