

УДК 330.115

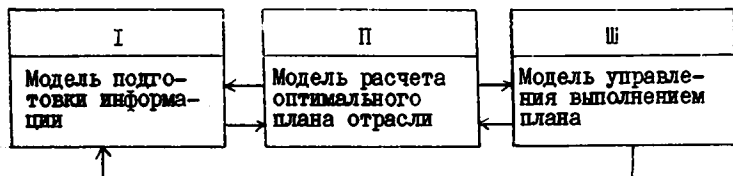
## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В ОАСУ

И.В.Донсков

В данной работе приводится описание некоторых подходов при решении задачи генерации способов развития предприятий для нахождения оптимального перспективного плана развития отрасли и рассматриваются вопросы их реализации в системе "Перспективное планирование развития отрасли", разработанной в Институте математики Сибирского отделения АН СССР и функционирующей в режиме промышленной и опытной эксплуатации в ряде министерств. Принципиальный подход к построению и структура математического обеспечения системы "Перспективное планирование отрасли" подробно описаны в [1,2].

## §1. Общие замечания

Если представить модель процесса производственного функционирования отрасли схемой:



то модели формирования множества допустимых вариантов развития предприятий входят в блок I этой схемы.

Исходной для этого класса моделей служит информация о состоянии предприятия к началу планируемого периода и норма-

тивная информация, заданная зависимость основных показателей функционирования предприятия в планируемом периоде.

Структуру информации определяют принятый в соответствующей отрасли набор показателей (в первую очередь – номенклатура продукции), характеризующий экономическое состояние, и ограничения на использование модели. К таким ограничениям относятся: объем входной информации, уровень ее достоверности, время и трудоемкость сбора, а также время получения ответа на вопрос пользователя.

Режимы использования модели построения вариантов развития предприятий определяются характером задач соответствующих плановых органов в структуре управления отраслью на различных этапах формирования и реализации оптимального перспективного отраслевого плана. Проверка реализуемости установленных директивных заданий при существующей системе нормативов, определение нормативов перспективного планирования, позволяющих реализовать установленное директивное задание, проверка последствий изменения экономического механизма – лишь часть тех задач, которые могут решаться с помощью данного класса моделей. Описываемые модели в разной степени соответствуют каждой из этих задач. Работа по их созданию является развитием идей о соотношении оптимального и имитационного подходов при построении экономико-математических моделей, изложенных в работе [3].

## §2. Имитационная модель

Данная модель достаточно полно имитирует реальную практику решения задач по проектированию и планированию предприятий с учетом существующих методов<sup>\*</sup>).

Согласно этой модели вариант развития предприятия представляет собой некоторую последовательность различных мероприятий по воспроизводству основных производственных фондов. Выделяется пять различных видов мероприятий: поддержание действующих мощностей, техническое перевооружение, комплексная рекон-

<sup>\*</sup>) Описываемая имитационная модель разработана совместно с сотрудником Гипропробора (гор. Ленинград) Кузнецовым С.А.

струкция, расширение, новое строительство.

Каждому из этих мероприятий соответствует в модели алгоритм формирования основных технико-экономических показателей (ТЭП), соответствующий реальной практике проектирования перечисленных мероприятий. Зависимости между отдельными технико-экономическими показателями носят характер эмпирических соотношений, полученных на основании статистического анализа уже проведенных мероприятий соответствующего вида, и учитывают общие тенденции развития производства (такие как снижение материалоемкости, опережение темпов роста производительности труда по отношению к темпам роста заработной платы и т.д.).

Предприятия отрасли по состоянию на начало планируемого периода разбиваются на группы: действующие, не имеющие "проекта", действующие с "проектом", новостройки без "проекта", новостройки с "проектом". Под проектом имеется в виду утвержденная проектно-сметная документация проведения реконструкции, расширения или нового строительства.

Множество вариантов развития конкретного предприятия получается в результате варьирования в ограниченных пределах интенсивности наращивания производственной мощности (для новостроек) и объемов производства (уже действующих предприятий), последовательности видов мероприятий по воспроизводству основных производственных фондов, календарных сроков строительства и освоения вводимых мощностей при реконструкции, расширении и новом строительстве, специализации и кооперации предприятия (в ограниченных пределах) и т.д.

Нормативная информация модели задана по мероприятиям в разрезе укрупненных групп продукции в виде удельных показателей на единицу прироста отдельного продукта или объема выпуска продукции в стоимостной форме. Такая структура информации во многом обуславливает как сам набор показателей, характеризующих производственное функционирование предприятия, так и алгоритмы формирования этих показателей.

Модель работает в двух основных режимах: в режиме формирования множества вариантов развития предприятия, покрывающего некоторый интервал между минимально допустимым и максимально допустимыми уровнями выпуска продукции, и в режиме построения варианта развития предприятия, близкого по своим ТЭП к заданному или реализуемому некоторым директивным заданиям

по основным ТЭП (например, по производительности труда, рентабельности, объему нормативно чистой продукции и т.д.).

Общую схему модели иллюстрирует рисунок.

Структура входной информации, принятая в модели, обуславливает ограниченность использования модели. Агрегация выпускаемой продукции такова, что нормативные ТЭП в разрезе выбранных групп продукции являются среднеотраслевыми, т.е. не учитывают специфику производства данной группы продукции на отдельных предприятиях. Это относится в первую очередь к характеристикам структуры мощностей и их прироста. Данная структура информации исключает возможность решения такого важного аспекта задачи перспективного планирования развития отрасли как выбор специализации отдельных заводов.

Являясь некоторой комбинацией сформированного множества вариантов развития отдельных предприятий, оптимальный план отрасли полностью зависит от выбора этого множества. Реальные возможности ЭВМ (объем памяти, время получения ответа) накладывают довольно жесткие ограничения на количество учитываемых вариантов. При этом из всего допустимого множества вариантов развития предприятия (которое может быть бесконечным в силу большого числа и непрерывности значений варьируемых параметров) выбирается некоторое конечное подмножество. Понятно, что возможность пропуска "наилучшего" с точки зрения отраслевого плана варианта является вполне реальной.

Приведенные недостатки не исключают возможности эффективного использования модели в практике планирования, поскольку, даже обладая ими, она позволяет проводить расчеты оптимизационного характера, ибо составление плана по всей номенклатуре показателей является очень трудоемкой и важной задачей. С помощью рассматриваемой модели можно составить достаточное число вариантов плана, проверив все предложения и просмотрев все последствия этих предложений.

### §3. Дискретная модель

Естественным развитием модели построения вариантов развития предприятий является включение в модель блока оптимизационных расчетов. В рамках входной информации описанной выше имитационной модели предлагается следующая модель, которую

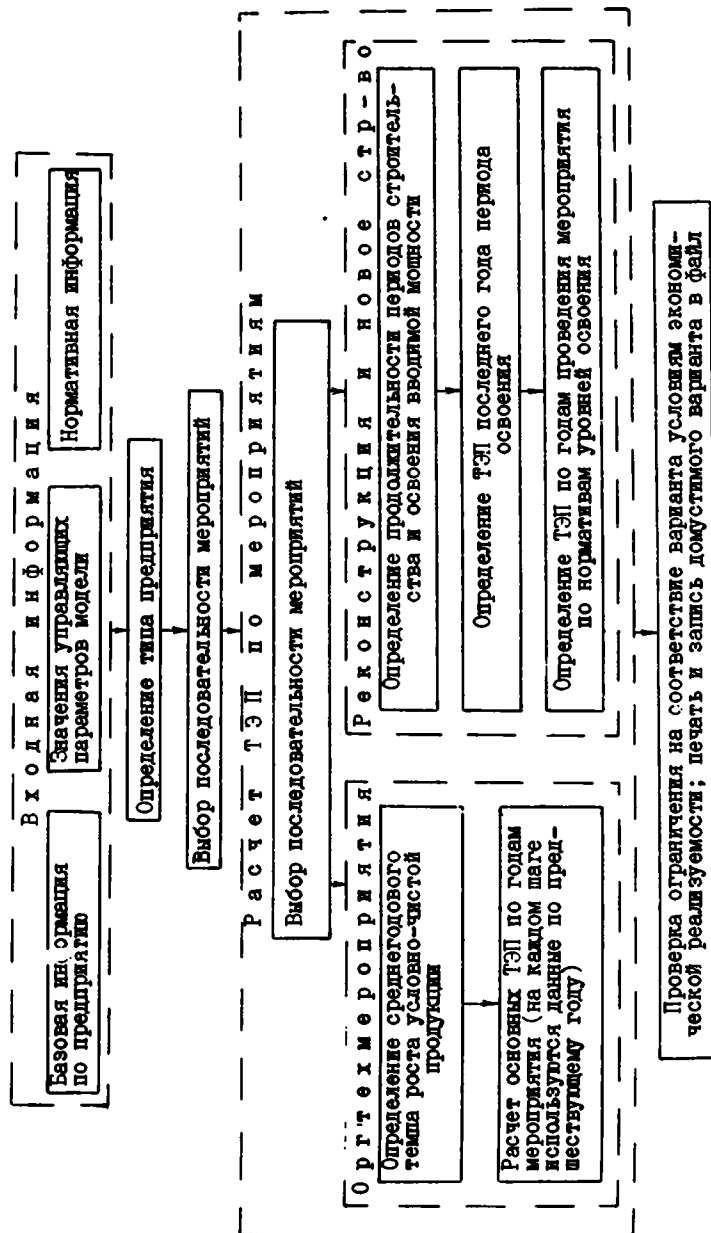


Схема имитационной модели

в дальнейшем будем называть дискретной. Модель формулируется как задача дискретного программирования, переменными в которой являются интенсивности использования различных допустимых способов развития мощностей предприятия в планируемом периоде.

Способы развития мощностей по каждой группе продукции делятся на два вида: способы оргтехмероприятий и способы реконструкции и нового строительства. Способы оргтехмероприятий формируются для каждого года планируемого периода и характеризуются используемой мощностью, выпуском продукции, затратами трудовых, материальных и финансовых ресурсов, а также приростом мощности за счет проведения данного способа. Способ реконструкции и нового строительства характеризуется годом начала, продолжительностью (число лет), соотношением продолжительности периодов строительства и освоения, а по годам цикла капитального строительства, кроме показателей, аналогичных показателям способа оргтехмероприятий, еще и объемом незавершенного строительства. Способы реконструкции и нового строительства задаются для всех допустимых комбинаций сроков начала, продолжительности и соотношения длительностей периодов строительства и освоения вводимой мощности.

Термин "дискретная" в названии модели отражает основные ограничения модели на интенсивности использования способов реконструкции и нового строительства, связанные с реальной практикой проектирования и реализации этих мероприятий. Суть этих ограничений в том, что для каждого мероприятия этого вида утверждается проектно-сметная документация, предписывающая строго определенное распределение основных технико-экономических характеристик данного мероприятия (например, уровни освоения капитальных вложений по годам капитального строительства). Поэтому любая комбинация способов, различающихся сроками начала или продолжительностью отдельных этапов или всего мероприятия в целом, не допустима с точки зрения экономической реализуемости.

Для математической формулировки модели введем ряд обозначений. Пусть

$i$  - индекс группы продукции,  $i = \overline{1, I}$ , где  $I$  - число продуктов, выпускаемых предприятием,

$j$  - индекс вида ресурса,  $j = \overline{1, J}$ , где  $J$  - число видов ресурсов,

$t$  - индекс года планируемого периода,  $t = \overline{1, T}$ , где  $T$  - число лет планируемого периода,

$\gamma$  - индекс продолжительности реконструкции и нового строительства,  $\gamma = \overline{1, 2}$ , где  $\overline{1}$  и  $\overline{2}$  соответственно минимальная и максимальная продолжительности реконструкции и нового строительства,

$\xi$  - индекс года начала реконструкции и нового строительства,  $\xi = \overline{\xi_0, T}$ , где  $\xi_0$  - минимальное значение года начала реконструкции и нового строительства,

$Q_1 = \{i, t | i = \overline{1, I}, t = \overline{1, T}\}$  - множество пар, которыми занумерованы способы оргтехмероприятий,

$Q_2 = \{i, \gamma, \xi | i = \overline{1, I}, \gamma = \overline{1, 2}, \xi = \overline{\xi_0, T}\}$  - множество троек, которыми занумерованы способы реконструкции и нового строительства,

$Q = Q_1 \cup Q_2$  - множество всех индексов способов развития мощностей предприятия,

$Q_1^{t_0} = \{i, t | t = t_0, i = \overline{1, I}\}$  - множество индексов способов оргтехмероприятий, проводимых в год  $t_0$ ,  $Q_1^{t_0} \subset Q_1$ ,

$Q_2^{t_0} = \{i, \gamma, \xi | \xi + \gamma \geq t_0, \xi \leq t_0\}$  - множество индексов способов реконструкции и нового строительства, проводимых в год  $t_0$ ,  $Q_2^{t_0} \subset Q_2$ ,

$Q_2^{\gamma_* \xi_*} = \{i, \gamma, \xi | \gamma = \gamma_*, \xi = \xi_*\}$  - множество индексов способов реконструкции и нового строительства, имеющих продолжительность  $\gamma_*$  и начаты в год  $\xi_*$ ,  $Q_2^{\gamma_* \xi_*} \subset Q_2$ .

Пусть  $q \in Q$  - индекс способа развития мощностей предприятия, тогда

$z_2^t$  - производственная мощность, подверженная воздействию способа  $q$  в год  $t$ ,

$\Delta z_2^t$  - прирост мощности в год  $t$  по способу  $q$ ,

$z_0$  - базовая мощность,

$a_2^t$  - количество продукции, выпускаемой по способу  $q$  в год  $t$ ,

$z_j^t$  - необходимое количество ресурса вида  $j$  по способу  $q$  в год  $t$ ,

$f_q^t$  - объем незавершенного строительства в год  $t$  по способу  $q$ ,

$x_q$  - интенсивность использования способа  $q$ ,

$\bar{x}$  - интенсивность выпуска конечной продукции в заданном ассортиментном наборе,

$u_j^t$  - затраты ресурса вида  $j$  в год  $t$ .

Предполагаются заданными:

$R_j^t$  - лимит ресурса вида  $j$  в год  $t$ ,

$R_j$  - лимит ресурса вида  $j$  за весь период планирования,

$F^t$  - ограничение на объем незавершенного производства в год  $t$ ,

$D^t = (d_1^t, \dots, d_I^t)$  - вектор заявки на выпуск по группам продукции в год  $t$ ,

$\lambda_i^t$  - коэффициент предпочтения по группе продукции  $i$  в год  $t$ .

На переменные, характеризующие способы развития мощностей, и на их использование можно наложить следующие условия:

- на использование мощностей

$$\sum_{q \in Q} \pi_q^t \cdot x_q = \begin{cases} \sum_{q \in Q} (\pi_q^{t-1} + \Delta \pi_q^{t-1}) \cdot x_q, & \text{при } t > 1, \\ \pi^0 & \text{при } t = 1; \end{cases} \quad (I)$$

- на используемые ресурсы одно из следующих трех:

$$\sum_{q \in Q} z_{j2}^t \cdot x_q \leq R_j^t, \quad (2)$$

$$\sum_{q \in Q} \sum_{t=1}^T z_{j2}^t \cdot x_q \leq R_j, \quad (2')$$

$$\sum_{q \in Q} z_{j2}^t \cdot x_q - u_j^t \leq 0 \quad (2'')$$

(Условие (2'') накладывается при критерии оптимальности - минимуме используемых ресурсов);

- на выпуск продукции

$$\left[ \sum_{q \in Q} \alpha_q^t \cdot x_q \right]_i - d_i^t \cdot \lambda_i^t \cdot x \geq 0, \quad (3)$$

где  $[A]_i$  -  $i$ -я компонента вектора  $A$ ;

- на объем незавершенного производства в последнем году планового периода

$$\sum_{q \in Q} f_q^t \cdot x_q \leq F^t, \quad t = T; \quad (4)$$

- на интенсивности использования способов

$$0 \leq x_q \leq 1, \quad (5)$$

$$x_{q_1} \cdot x_{q_2} = 0, \quad \forall q_1, q_2 \in Q_2 : q_1 \in Q_2^{\delta_* \varepsilon_*}, \quad (6)$$

$$q_2 \notin Q_2^{\delta_* \varepsilon_*}, \quad \delta_* \in \{\Gamma_1, \Gamma_2\}, \quad \varepsilon_* \in \{\varepsilon_0, \tau\}.$$



Условие (6) является условием дискретности использования способов реконструкции и нового строительства.

Сформулируем две задачи нахождения варианта развития предприятия с помощью дискретной модели.

1. Нахождение варианта развития предприятия, максимально приближенного к заявке по выпуску продукции в ассортиментном наборе и удовлетворяющего заданным ограничениям на используемые ресурсы и объем незавершенного строительства на конец планируемого периода:

найти вектор  $X = \{x_q : q \in Q\}$  при условиях (1)–(6) и максимизирующий величину  $Z$ .

2. "Задача специализации". Определение варианта развития предприятия, имеющего минимальные суммарные затраты ресурсов на производство:

найти вектор  $X = \{x_q : q \in Q\}$  при условиях (1), (2''), (3)–(6) и минимизирующий либо  $\sum_{i=1}^I u_i^T$ ,  
либо  $\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I u_{ij}^T$ .

Для решения сформулированных задач предлагается алгоритм, заменяющий решение общей задачи дискретного программирования решением совокупности задач линейного программирования. При формировании этой совокупности учитывается условие (6). Из всех способов реконструкции и нового строительства в каждую из задач линейного программирования включаются только способы с номерами  $q \in Q_2^{T-\xi_*}$ . Поскольку различных сочетаний для  $\delta^*$  и  $\xi_*$  ровно  $N = (I_2 - I_1 + 1) \times (T - \xi_* + 1)$ , то в задач линейного программирования будет  $N$ . При пятилетнем планировании и существующих нормативах продолжительности проектирования и проведения реконструкции и нового строительства  $N < 25$ .

#### §4. Непрерывная модель

Данная модель в качестве исходной использует нормативную информацию технологического характера, отражающую изменение мощности предприятия как изменение структуры оборудования и профессионального состава работающих. Потребности по группам оборудования, по группам профессий и по видам ресурсов задаются на единицу изделия.

Введем обозначения:

$k$  - индекс группы оборудования,  $k = \overline{1, K}$ , где  $K$  - число групп оборудования,

$m$  - индекс группы профессий,  $m = \overline{1, M}$ , где  $M$  - число групп профессий.

Остальные индексы соответствуют обозначениям, принятым в дискретной модели, в частности,  $t$  - ввиду соответствует году планируемого периода.

Нормативная информация задана в виде:

$e_{ik}^t$  - станкостоемость  $k$ -й группы оборудования при производстве единицы изделия  $i$ ,

$v_{im}^t$  - трудоемкость производства единицы изделия  $i$  рабочими  $m$ -й группы профессий,

$c_{ij}^t$  - затраты ресурса вида  $j$  на производство единицы изделия  $i$ ,

$\rho_{с.п.}^t$  - коэффициент совмещения профессий,

$\rho_{загр.}^t$  - коэффициент загрузки  $k$ -й группы оборудования,

$\varphi_k^t$  - стоимость единицы оборудования,

$u$  - максимально возможный рост численности работающих,

$w_k^t$  - норматив выбытия  $k$ -й группы оборудования,

$h_k^t$  - норматив максимального ввода  $k$ -й группы оборудования,

$\rho_k^t$  - норматив стоимости монтажа (демонтажа) единицы оборудования  $k$ -й группы,

$\psi_k^t$  - действительный годовой фонд времени работы единицы оборудования  $k$ -й группы,

$\rho_m^t$  - действительный годовой фонд времени работы одного рабочего  $m$ -й группы профессий.

Считаются заданными:

$\lambda_i^t$  - заявки на выпуск изделий вида  $i$ ,

$\lambda_{ij}^t$  - коэффициенты приоритетности по видам изделий,

$c_j^t$  - лимиты использования ресурса вида  $j$ , в том числе капитальных вложений,

$L_i^t$  - цена единицы  $i$ -го изделия,

$KV^t$  - выделенный лимит капитальных вложений.

Пусть

$v_i^t$  - выпуск изделия  $i$ ,

$\bar{\psi}_k^t$  - действительный фонд времени работы  $k$ -й группы оборудования,

$B_m^t$  - действительный фонд времени работы  $m$ -й группы профессий,

$\varepsilon$  - уровень удовлетворения заявки в ассортиментном наборе,

$R_m^t$  - численность рабочих  $m$ -й группы профессий,

$n_k^t$  - наличное количество оборудования группы  $k$ .

На переменные модели можно наложить следующие ограничения:

- на использование оборудования по группам

$$\sum_{i=1}^I e_{ik}^t \cdot x_i^t \leq E_k^t, \quad (7)$$

где  $E_k^t$  получается из условия

$$E_k^t = \psi_k^t \cdot \rho_k^{\text{запр}} (n_k^{t-1} - \omega_k^t + h_k^t), \quad (7')$$

здесь и далее индекс  $t-1$  при  $t=1$  соответствует показателю базового года;

- на трудоемкость по группам профессий

$$\sum_{i=1}^I b_{im}^t \cdot x_i^t \leq B_m^t, \quad (8)$$

$$B_m^t = \rho_m^t \cdot \rho_{\text{с.п.}}^t (R_m^{t-1} + \sum_{n=1}^N R_m^{t-1} \cdot v); \quad (8')$$

- на использование ресурсов

$$\sum_{i=1}^I c_{ij}^t \cdot x_i^t \leq c_j^t, \quad j \neq j_{kv}, \quad (9)$$

где  $j_{kv}$  - индекс капитальных вложений; для капитальных вложений это условие формулируется как

$$\sum_{k=1}^K (\bar{n}_k^t \cdot \varphi_k^t + (2 \cdot \omega_k^t + \bar{n}_k^t - n_k^{t-1}) \cdot \rho_k^t) \leq KV^t, \quad (10)$$

где  $\bar{n}_k^t = \frac{\sum_{i=1}^I e_{ik}^t \cdot x_i^t}{\psi_k^t};$

- на выпуск продукции

$$x_i^t - \varepsilon \cdot \lambda_i^t \cdot y_i^t \geq 0. \quad (II)$$

Вариант развития предприятия с помощью данной модели может формироваться как результат решения следующей задачи для каждого года планового периода:

найти вектор  $X = \{x_i^t : i = 1, I\}$ , максимизирующий величину  $\varepsilon$  при условиях (7)-(II).

Описанная модель является частным случаем общей модели, реализованной в подсистеме ВАРИАНТ, она не учитывает нового строительства и расширения действующего предприятия, а моделирует развитие мощностей предприятия за счет технического перевооружения и реконструкции на существующих площадях.

В системе "Перспективное планирование" оптимальный перспективный отраслевой план формируется в комплексе ОПТИМУМ на основании множества вариантов развития предприятий, получаемых в результате работы комплекса ВАРИАНТ. (ВАРИАНТ реализует все описанные выше модели развития предприятия.)

В процессе нахождения оптимального плана отрасли возникает необходимость проверки существования таких вариантов развития предприятий, которые могли бы улучшить параметры отраслевого плана. В случае, когда для построения множества вариантов развития предприятий используются модели, описанные в § 2,3, отраслевой план находится как решение дискретной задачи, и для генерации новых вариантов необходимо участие экспертов-экономистов, которые принимают решение исходя из полученного плана.

При использовании в комплексе ВАРИАНТ непрерывной модели появляется возможность реализовать в ОПТИМУМЕ методы линейного программирования как инструмент построения оптимального плана отрасли (подотрасли). В этом случае для построения дополнительных вариантов развития предприятий можно использовать объективно обусловленные оценки отраслевого плана. На каждом шаге процесса построения отраслевого плана к базовому множеству вариантов развития предприятий добавляются только те, которые могут улучшить значение общеотраслевого функционала (варианты с максимальной положительной невязкой).

## §5. Вопросы реализации

Все описанные выше модели реализованы в виде различных версий подсистемы ВАРИАНТ системы "Перспективное планирование развития отрасли". Версия ВАРИАНТ-15, реализующая имитационную модель, включена в систему "АСУ-Прибор" и работает в режиме промышленной эксплуатации. Версии, реализующие дискретную и непрерывную модели, находятся в стадии опытной эксплуатации в ряде машиностроительных министерств. Все модели реализованы на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV с учетом возможности ис-

пользования под управлением операционных систем ОС-ЕС и ДОС-ЕС. Реализация моделей ориентирована на использование проблемно-ориентированного банка данных, разработанного в системе "Перспективное планирование развития отрасли" [1]. Программное обеспечение имеет модульную структуру, что позволяет легко реализовать различные изменения в моделях, связанные как со структурой информации, так и алгоритмами ее обработки. Программное обеспечение подсистемы ВАРИАНТ может быть использовано автономно от других комплексов системы на различных этапах проектирования и планирования развития предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. АНЦЫЗ С.М., МАКАРОВ В.Л., МАРШАК В.Д., ФВФЕЛОВ В.Ф. Математическое обеспечение перспективного отраслевого планирования. - Новосибирск: Наука, 1979.
2. МАКАРОВ В.Л., МАРШАК В.Д. Модели оптимального функционирования отраслевых систем. - М: Экономика, 1979.
3. МАКАРОВ В.Л., МАРШАК В.Д. О соотношении оптимального и имитационного подходов при построении и анализе экономических моделей. - Оптимизация, 1974, вып. 13(30), с.12-43.

Поступила в ред.-изд. отдел  
22.05.1982 г.