

УДК 330.115

ДИАЛОГОВАЯ ИМИТАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ПЛАНИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Е.М.Черненко, Б.М.Шейхетов

Расширение производства и усложнение его характера в последнее время все более акцентируют внимание на исследовании проблем планирования и управления промышленным предприятием. Не вызывает сомнения и необходимость использования экономико-математических моделей и современной вычислительной техники.

При этом все большее распространение находит применение ЭВМ непосредственно в процессе планирования и управления, а математических моделей – в качестве инструмента принятия хозяйственных решений. Однако никакие модели и ЭВМ, по-видимому, никогда не смогут заменить человека в управлении экономическими системами. Моделирование не обязательно должно давать точные и подробные предсказания или инструкции. Модели могут быть полезны, даже если они только помогают осмыслить происходящее и дают возможность выделить какие-либо существенные факторы развития и функционирования исследуемой экономической системы.

Большое значение в последнее время придается и диалоговому режиму использования математических моделей. Зачастую формальные методы решения задач трудно практически реализовать в силу больших затрат машинного времени и трудностей при взаимодействии человека и ЭВМ. При этом теряются общие взаимосвязи, общая картина, что в результате не дает желаемого эффекта и не позволяет успешно использовать вычислительную технику. Иное дело, когда каждое предложение специалистов, хорошо знающих локальные зависимости, проводится и проверяется немедленно. В

этом случае опыт и точное экономическое чутье пользователей-экспертов могут привести к решению задачи в режиме диалога с ЭВМ за обозримое число итераций.

§1. Общее описание системы

Рассматривается диалоговая система составления и анализа годового (квартального) плана предприятия. Предполагается, что план включает в себя выпуск продукции в натуральных измерителях (номенклатурный план) и набор технико-экономических показателей (ТЭП). Задача составления плана заключается в определении такого плана, который удовлетворял бы заданиям вышестоящей организации и соответствовал производственным возможностям предприятия. При этом пользователю — ЛПР (лицу, принимающему решение) — предоставляется возможность варьировать варианты плана, руководствуясь своей целевой функцией (критерием оптимальности), которая является параметром диалоговой системы и также может варьироваться.

На рис. 1 приводится общая схема функционирования диалоговой системы. Начинается процесс функционирования с подготовки исходной информации, которая включает в себя нормативную технологическую информацию, состояние (наличие ресурсов) производственных возможностей предприятия, директивные и плановые задания. В принципе при дальнейшем развитии системы вся исходная информация будет сконцентрирована в соответствующей информационно-базе данных, ведение и корректировка которой будут осуществляться в автономном от основной системы режиме.

В процессе работы с системой пользователь может корректировать первоначальную информацию, причем допускается как варьирование информации без исправления исходных массивов, так и внесение изменений в них.

После подготовки исходной информации начинается процесс составления производственного плана, представляющий собой решение задачи линейного программирования. Сначала осуществляется нахождение допустимого плана, при этом в случае необходимости пользователь корректирует ограничение по ресурсам и заданиям на выпуск продукции. Далее пользователь выбирает один или несколько критериев оптимальности и решается оптимизационная задача.

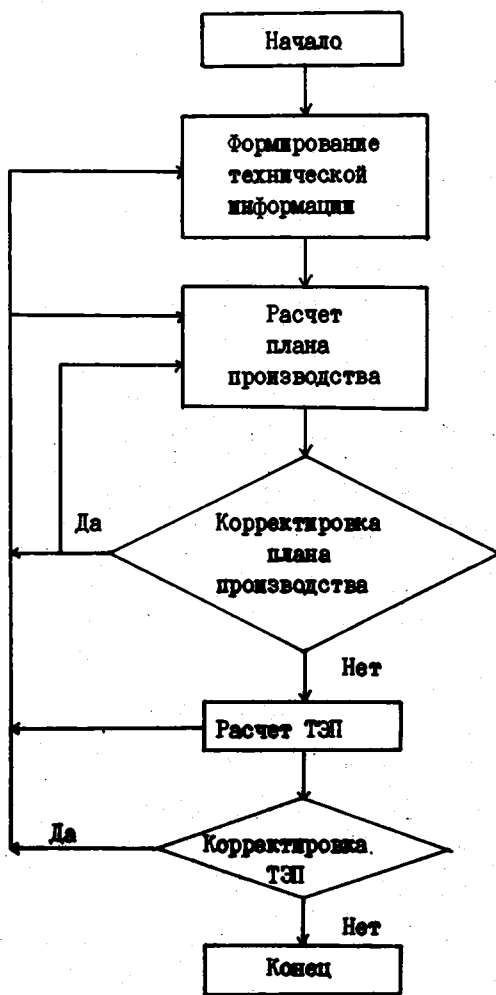


Рис. 1. Схема функционирования диалоговой системы

После получения какого-либо варианта плана пользователю предоставляется возможность провести различные его корректировки. Так, например, он может попробовать увеличить (или уменьшить) выпуск каких-то изделий, заменить одни изделия на другие и т.п. Таким образом, система позволяет получить несколько вариантов плана производства, из которых ЛПР выбирает наиболее его устраивающий.

После составления производственной программы осуществляется расчет ТЭП. Блок расчета ТЭП построен таким образом, что без особых трудностей можно расширять существующий набор ТЭП, добавляя к расчету дополнительные показатели.

Рассчитав ТЭП, пользователь получает, по существу, вариант плана предприятия. Далее система предоставляет ему возможность осуществить корректировку (в случае необходимости) некоторых ТЭП. Пожелание пользователя принимается, например, в таком виде: "увеличить прибыль на $\alpha_1\%$ ", "уменьшить объем производства на $\alpha_2\%$ " и т.п. После ввода подобных пожеланий в систему проводится перерасчет показателей, корректируется производственная программа. Причем все эти перерасчеты реализуются в режиме диалога при активном участии пользователя. Таким образом, при работе с диалоговой системой ЛПР получает несколько вариантов плана предприятия, варьируя те или иные показатели.

Описываемая система реализована на ЕС ЭВМ с использованием дисплеев ЕС-7906.

Необходимо отметить, что данная работа входит в комплекс работ по моделированию процессов управления предприятием [1-4].

§2. Оптимизация производственного плана

Задача расчета плановой производственной программы предприятия заключается в определении плана выпуска продукции, исходя из директивных заданий по производству отдельных видов изделий, имеющихся в наличии ресурсов, достигнутого уровня технологии, а также необходимости достижения заданного уровня (из пятилетнего плана) определенных ТЭП.

Данная задача может быть реализована посредством решения задачи линейного программирования следующего вида:

$$\begin{aligned} A \cdot x &\leq R, & \underline{x} &\leq x \leq \bar{x}, \\ B \cdot x &\geq P, & C \cdot x &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (I)$$

где

x - искомый вектор выпуска продукции;

A - технологическая матрица затрат ресурсов всех видов;

R - вектор наличия ресурсов;

\underline{x}, \bar{x} - векторы ограничения снизу и сверху на выпуск продукции;

P - вектор значений основных ТЭИ, которые необходимо обеспечить при составлении плана производства (например, товарная продукция, реализация, прибыль);

B - матрица удельных значений ТЭИ на одно изделие;

C - коэффициенты целевой функции.

Однако в реальной практике на предприятии ЛПР в лице руководства и плановых работников при составлении производственного плана желает, как правило, добиваться одновременного достижения нескольких целевых установок, максимизировать и (или) минимизировать сразу несколько целевых показателей. В настоящее время не вызывает сомнения факт, что задача планирования производства на предприятии является многокритериальной задачей, и оптимизация процесса составления плана не может проводиться иначе, как по нескольким критериям эффективности.

В рассматриваемой диалоговой системе в блоке оптимизации плана производства пользователю предоставляется возможность варьировать критерий оптимизации в задаче линейного программирования, получать варианты плана, оптимальные по отдельным критериям, а также варианты, учитывающие различные компромиссные сочетания критериев.

На рис. 2 дается схема процесса составления производственного плана. После ввода и формирования исходной информации, включающей все ограничения задачи, пользователь участвует в определении плана, допустимого производственными возможностями предприятия. По необходимости он корректирует в режиме диалога ограничения по ресурсам, задания по выпуску продукции, ТЭИ. После нахождения допустимого плана пользователь выбирает интересующие его критерии оптимизации и далее,

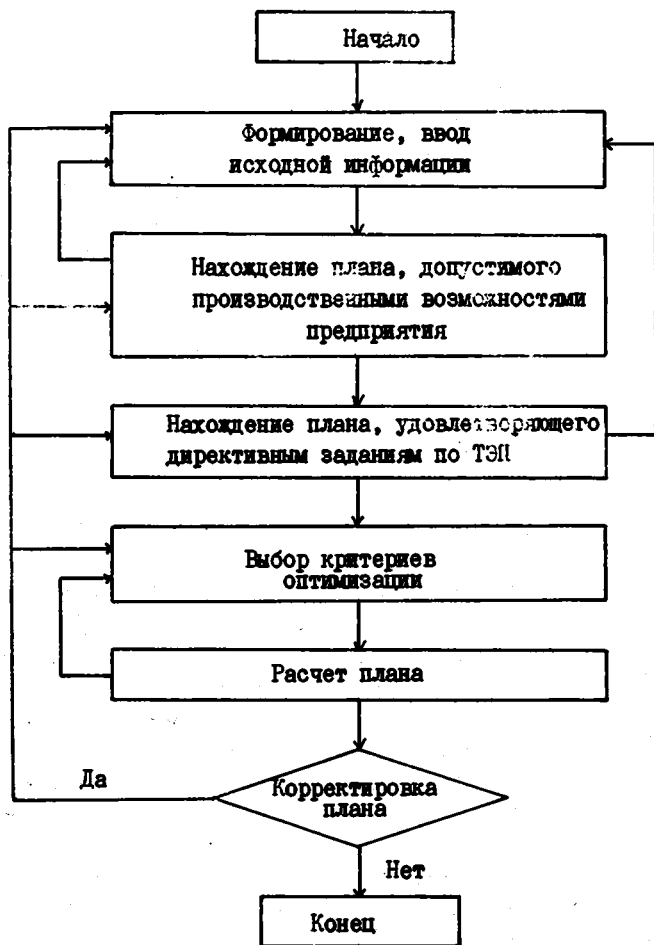


Рис.2. Блок-схема процесса оптимизации плана производства

опять же в диалоговом режиме, осуществляется решение задачи линейного программирования с несколькими критериями.

После получения какого-либо варианта производственного плана пользователю предоставляется возможность каким-то образом его скорректировать: увеличить или уменьшить выпуск отдельных изделий, удалить или добавить изделия в план и т.п.

Перейдем к более подробному описанию схемы составления плана производства.

2.1. Нахождение допустимого плана занимает немаловажное место в процессе решения задачи, ибо весьма часто сформулированные ограничения оптимизационной задачи оказываются противоречивыми, и пользователь, прежде чем приступить к оптимизации плана, вынужден корректировать и согласовывать ограничения задачи с тем, чтобы получить некоторый допустимый план, соответствующий производственным возможностям предприятия и заданиям вышестоящей организации. Процедура получения плана невозможна без участия ЛПР, оперативно оценивающего ситуацию и принимающего соответствующие решения по корректировке ограничений задачи точно так же, как он это делает в реальной плановой деятельности.

Рассмотрим схему нахождения допустимого плана (рис.3).



Рис. 3. Схема алгоритма нахождения допустимого плана

В основе алгоритма нахождения допустимого плана заложено формирование и решение ряда дополнительных оптимизационных задач, целевыми функциями которых являются:

- минимизация добавок дефицитных ресурсов;
- минимизация отклонений от заданий на выпуск некоторых изделий;
- минимизация отклонений от заданий по ТЭП.

В процессе решения используются и комбинации этих постановок.

На первом этапе решается задача:

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} - \Delta^x \leq x \leq \bar{x}, \quad C_1 \cdot \Delta^R + C_2 \cdot \Delta^x \rightarrow \min, \quad (2)$$

где C_1, C_2 - некоторые коэффициенты, возможно, равные единице. Если все Δ^R и Δ^x нулевые, значит, задача имеет решение, т.е. наличных ресурсов достаточно для выполнения заданий на выпуск продукции. Если же среди Δ^R и Δ^x есть ненулевые, пользователю предлагается выбрать вариант корректировки: либо увеличить ресурсы, либо уменьшить задания на выпуск некоторых изделий, использующих дефицитный ресурс. ЛПР выбирает нужный вариант, в зависимости от этого решается одна из следующих задач:

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \quad C_1 \cdot \Delta^R \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$A \cdot x \leq R, \quad \underline{x} - \Delta^x \leq x \leq \bar{x}, \quad C_2 \cdot \Delta^x \rightarrow \min. \quad (4)$$

В результате с помощью пользователя определяется соответствие между ресурсами и заданиями на выпуск продукции. Далее к ограничениям добавляются задания по ТЭП и решается задача:

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x} + \Delta^x, \quad (5)$$

$$B \cdot x \geq P - \Delta^P, \quad C_1 \cdot \Delta^R + C_2 \cdot \Delta^x + C_3 \cdot \Delta^P \rightarrow \min.$$

Аналогично проверяются $\Delta^R, \Delta^x, \Delta^P$. Если все они нулевые, значит, задания по ТЭП выполнены. Если же среди них есть ненулевые, пользователь должен осуществить корректировку: либо уменьшить задание по ТЭП, либо увеличить выпуск некоторых изделий с одновременным увеличением соответствующих ресурсов. В зависимости от выбранного варианта решается одна из задач:

$$A \cdot x \leq R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \quad B \cdot x \geq P - \Delta^P, \quad C_3 \cdot \Delta^P \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \quad B \cdot x \geq P, \quad c_1 \cdot \Delta^R \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x} + \Delta^{\bar{x}}, \quad B \cdot x \geq P, \quad c_1 \cdot \Delta^R + c_2 \cdot \Delta^{\bar{x}} \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$A \cdot x \leq R + \Delta^R, \quad \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \quad B \cdot x \geq P - \Delta^P, \quad c_1 \cdot \Delta^R + c_3 \cdot \Delta^P \rightarrow \min. \quad (9)$$

В результате решения задачи определяются $\Delta^{\bar{x}}$, Δ^R , Δ^P и ЛПР либо вносит соответствующие изменения, либо выбирает другой вариант корректировки.

После всех корректировок пользователь получает допустимый план.

2.2. Процесс оптимизации. Задача составления производственной программы предприятия является, как правило, многокритериальной задачей следующего вида: необходимо найти такой план, который бы допускался производственными возможностями предприятия и обеспечивал бы выполнение одной или нескольких целевых установок ЛПР. К последним могут быть отнесены: максимизация прибыли, максимизация выпуска продукции, максимизация производительности труда, минимизация себестоимости, максимизация загрузки оборудования и т.д.

Формально это можно записать следующим образом:

- необходимо определить вектор $x = (x_1, \dots, x_n)$, где x_i означает выпуск изделия i (в натуральных измерителях), удовлетворяющий условиям задачи (I) и обеспечивающий определенные удовлетворительные значения одного или нескольких выбранных показателей c_1, \dots, c_s , где $C_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j$, c_{ij} - нормативные коэффициенты.

В описываемой диалоговой системе для ее решения предлагается использование различных известных методов в зависимости от информированности ЛПР о важности того или иного критерия и их взаимосвязи. Рассмотрим основные существующие подходы и методы решения задач векторной оптимизации. Обзор не ставит целью отразить наиболее полно все работы в этом плане, а лишь наметить основные направления и методы решения подобных задач, в основном в содержательном аспекте. Можно отметить, что подробный и формальный обзор математических алгоритмов приведен, например, в [5,8].

К настоящему времени как у нас, так и за рубежом накопи-

лось достаточно много работ по этой проблематике. В зависимости от априорной информации о важности критериев в основном все интересующие нас методы делятся на две группы. Их называют по-разному: приоритетные и непероритетные, "гибкого" и "жесткого" компромисса и т.д. [5,8,9].

Методы первой группы представляют собой методы лексико-графического, приоритетного упорядочения, когда отдельные критерии упорядочиваются при последовательном выявлении предпочтений ЛПР (на основе полученной от него информации) вместе с определением допустимых значений для других критериев. В задачах линейного программирования со многими критериями при таком подходе ищутся экстремальные решения для каждой целевой функции в отдельности, после чего на основе обращений к ЛПР строится матрица "компромиссного решения" [8].

Методы второй группы связаны с построением скалярной однокритериальной функции свертыванием целевых функций в одну при помощи заданных весовых коэффициентов для каждого из критериев [5].

На практике при решении задачи оптимизации плана производства чаще всего пользуются методами второй группы, так как с их помощью можно получить точное решение, отвечающее заданным требованиям. Однако от ЛПР при этом требуется большой объем информации о связях между показателями, которую на этапе постановки задачи трудно, а иногда и невозможно получить.

При решении задач методом первой группы используется дополнительная информация, получаемая от ЛПР посредством диалога с ЭВМ в процессе решения; при этом основная роль в принятии решения принадлежит человеку, а методы количественной оценки играют вспомогательную роль.

Преимущество возможности применения диалоговой процедуры решения многокритериальной задачи формирования производственной программы состоит в том, что можно получить достаточно много вариантов решения, отвечающих пожеланиям ЛПР, а также построить зависимости показателей для различных предпочтений ЛПР, что позволяет оперативно оценивать последствия принимаемых решений.

Схема алгоритма решения многокритериальной задачи в описываемой системе представлена на рис. 4-6.

При выборе одного критерия решается классическая задача линейного программирования, а при выборе двух критериев важное значение имеет информация ЛПР об их взаимосвязи. В этом случае

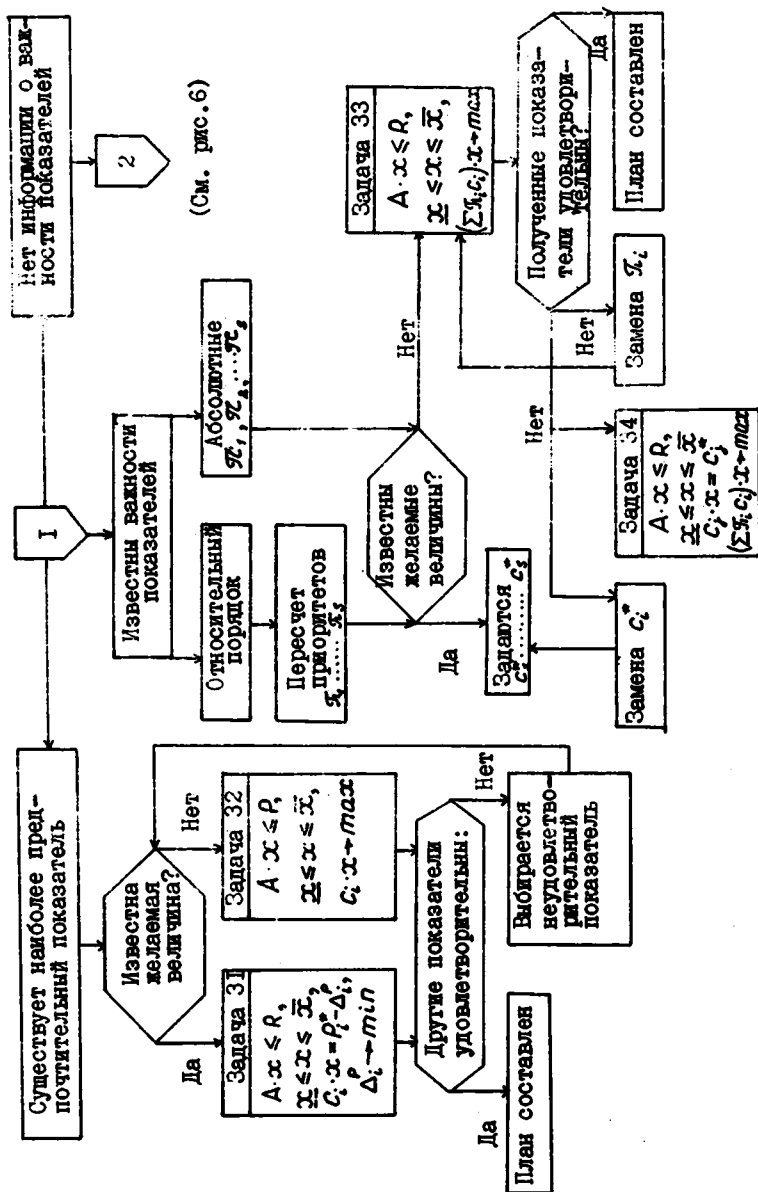


Рис. 5

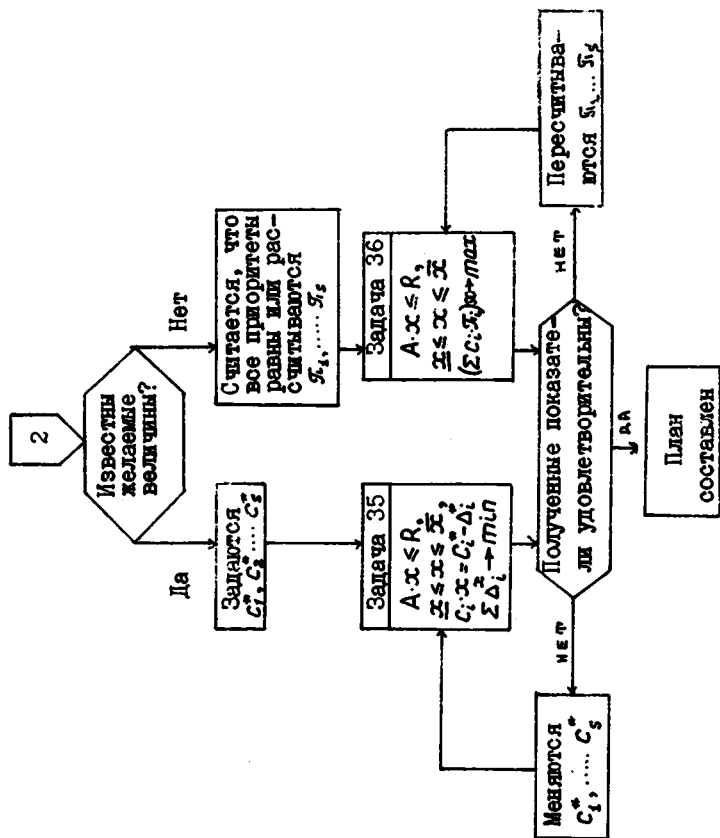


Рис. 6

особый интерес представляет вариант, когда ЛПР интересуют два критерия, а об их взаимосвязи он сразу ничего сказать не может.

В этом случае применяется метод "параметрического программирования" [10], с помощью которого, задавая различные значения параметра $\alpha \in [0, 1]$, устанавливающего связь двух критериев, можно получить различные варианты плана и выбрать из них наиболее удовлетворительный.

Наибольший интерес в описываемой системе представляет случай, когда ЛПР интересуется больше двух критериев. Рассмотрим его более подробно.

В первом варианте ЛПР предлагается выбрать наиболее предпочтительный показатель. В этом случае, если известна его желаемая величина, решается задача на максимальное приближение к ней, если не известна - на максимальное значение. При этом пользователю предлагается оценить значения остальных показателей. Если ЛПР удовлетворен, вариант плана считается полученным, если же нет, то предлагается выбрать следующий показатель по предпочтительности и проводится такая же процедура и т.д. В результате пользователь получает вариант плана с удовлетворительными значениями всех показателей.

Во втором варианте предполагается, что ЛПР обладает информацией о важности критериев, т.е. он может либо задать приоритеты выбранных критериев $\mathcal{F}_1, \dots, \mathcal{F}_s : \mathcal{F}_i \geq 0, \sum_{i=1}^s \mathcal{F}_i = 1$, либо упорядочить их в порядке убывания важности. В этом случае приоритеты могут быть вычислены следующим образом: определяется $sum = \frac{S \cdot (S+1)}{2}$, где S - число рассматриваемых критериев. Тогда $\mathcal{F}_i = \frac{S-i+1}{sum}$, где i - упорядоченный номер критерия.

Теперь, когда известны веса критериев, можно образовать суммарный критерий $C_z = \sum_{i=1}^s \mathcal{F}_i \cdot c_i$, и тогда в области допустимых решений формулируется задача на $\max_x C_z$. Полученное решение характеризуется вектором

$$y_i = (c_1(x_1), \dots, c_s(x_s)).$$

Если у ЛПР желаемые величины рассматриваемых показателей $C^* = (c_1^*, \dots, c_s^*)$, то, сравнивая их с полученными значениями, он решает, удовлетворительно ли полученное решение. В случае, если даже ранее не была определена желаемая величина показателей,

когда среди показателей имеются явно неудовлетворительные, ЛПР выбирает наиболее неудовлетворительный C_j и задает для него допустимое значение K_j . Далее определяется новая область допустимых значений: к D прибавляются ограничения $C_j \geq K_j$, определяется вектор $y_2 = (C_1(x_2), \dots, C_s(x_2))$ и т.д. В результате находится некоторое компромиссное решение.

Наконец, в третьем варианте, когда не известны оценки важности показателей, ЛПР предлагается задать желаемые величины выбранных показателей. Если он это может сделать, решается задача на максимальное приближение к заданным величинам. Если же такой информации нет, то можно провести оптимизацию как во втором варианте, считая, что все приоритеты одинаковы. Можно также (этот вариант в описываемой системе пока не реализован) определить приоритет каким-либо способом, например описанным в [6]. Для этого находим

$$c_i(\bar{x}^{i*}) = \max_{\bar{x} \in D} c_i(\bar{x}), \quad \forall i = 1, \dots, s;$$

$$c_i(\bar{x}_*^i) = \min_{\bar{x} \in D} c_i(\bar{x}),$$

затем определяем

$$d_{ij} = \frac{c_j(\bar{x}^{i*}) - c_j(\bar{x}_*^i)}{c_j(\bar{x}_*^i) - c_j(\bar{x}_*^j)}.$$

Коэффициенты μ и β вычисляются двумя способами:

$$\text{а) } \mu_i = \min_{1 \leq j \leq s} d_{ji}; \quad \beta_i = 1 - \mu_i; \quad \frac{\beta_i}{\beta_j} = \frac{x_i'}{x_j'}; \quad \sum_{i=1}^s x_i' = 1;$$

$$\text{б) } \mu_i'' = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s d_{ji}; \quad \beta_i'' = 1 - \mu_i''; \quad \frac{\beta_i''}{\beta_j''} = \frac{x_i''}{x_j''}; \quad \sum_{i=1}^s x_i'' = 1.$$

Далее решается поочередно задача с двумя целевыми функциями:

$$\sum_{i=1}^s x_i' c_i(\bar{x}) \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^s x_i'' c_i(\bar{x}).$$

В результате получаем векторы \bar{x}' и \bar{x}'' . Затем сравниваются величины:

$$c' = \sum_{i=1}^s c_i(\bar{x}') \quad \text{и} \quad c'' = \sum_{i=1}^s c_i(\bar{x}'').$$

Если $c' \geq c''$, то решением будет \bar{x}' , если $c' < c''$ - то \bar{x}'' .

§3. Блок варьирования ТЭП

После получения какого-либо варианта плана в системе пользователю предоставляется возможность осуществить вариации некоторых ТЭП. Поскольку диалог в системе реализован по принципу предоставления пользователю выбора "меню", то ему предлагается список ТЭП, которые он может изменить. ЛПР вводит в систему "пожелания" по корректировке нужных ему показателей, например: "увеличить объем реализованной продукции на a_1 %", "уменьшить прибыль на b рублей", "увеличить производительность труда на a_2 " и т.д.

В настоящее время в рассматриваемой диалоговой системе пользователю предоставляется возможность варьировать следующие показатели: реализованную и товарную продукцию, прибыль, себестоимость, производительность труда. В принципе допускается расширение системы за счет добавления каких-то других ТЭП.

После того как пользователь вводит свое "пожелание", в системе диагностируется соответствующий показатель и ЛПР предлагается несколько мероприятий (направлений), посредством которых он может реализовать свое "пожелание". Разумеется, вариация желаемого ТЭП приводит к изменению прочих показателей и, скорее всего, к корректировке производственной программы. В результате пользователь получает новый вариант плана с соответствующим уровнем выбранного ТЭП. Далее процесс корректировки показателей может быть продолжен.

Рассмотрим более подробно схему диалога на примере показателя товарной продукции (рис. 7).

После того как ЛПР вводит "пожелание" увеличить (уменьшить) товарную продукцию, ему предоставляется возможность выбрать направления корректировки. Так, он может увеличить (уменьшить) выпуск каких-либо изделий из плана, может изменить структуру плана, т.е. увеличить выпуск одних изделий, уменьшив выпуск других, и, наконец, может ввести в план "новые" изделия и (или) удалить какие-то изделия из плана. Далее в системе осуществляется формирование варианта оптимизационной задачи составления производственной программы и ищется ее решение. При этом алгоритм решения и схема диалога, разумеется,

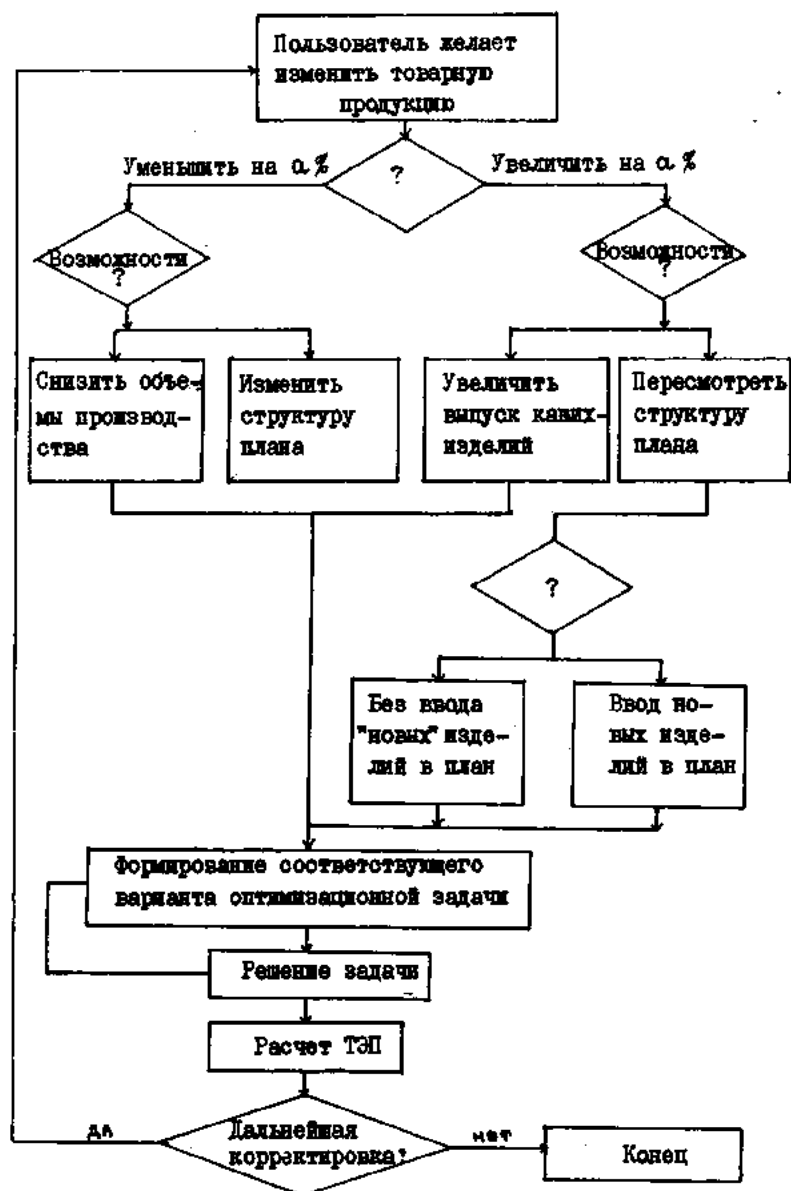


Рис.7. Схема диалога при корректировке товарной продукции

повторяются. После расчета плана производства определяются ТЭП, и пользователь, оценив полученный вариант плана, может либо продолжить корректировку, либо закончить работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. ШЕЙХЕТОВ Б.М. О моделировании механизма оперативного управления промышленным предприятием. - Оптимизация, 1981, вып. 27(44), с.116-135.
2. ТЫЧКОВ Ю.И. Информационное обеспечение процессов принятия управленческих решений с использованием методов имитационного моделирования. - В кн.: Проблемы имитационного моделирования производственно-хозяйственной деятельности промышленного предприятия, ч.1. Новосибирск, 1983, с.3-20.
3. СУНИН Г.А., ШЕЙХЕТОВ Б.М., КРЧЕНКО А.С., ЯБЛОКОВ А.Я. Об использовании имитационных моделей в анализе хозяйственной деятельности предприятия. - В кн.: Проблемы имитационного моделирования производственно-хозяйственной деятельности промышленного предприятия, ч.1. Новосибирск, 1983, с.91-98.
4. ЧЕРНИКОВ Б.М. Диалоговая имитационная модель составления плана промышленного предприятия. - В кн.: Проблемы имитационного моделирования производственно-хозяйственной деятельности промышленного предприятия, ч.2. Новосибирск, 1983, с.54-59.
5. ГАФТ Л.Ш., КЛИМЕР Я.С. Имитационная система формирования производственной программы в АСУП. - Донецк, 1973.
6. БЕНАЙОН Р., ЛАРИЧЕВ О.И., МОНГОЛЬФЕ Ж., ТЕРРИ Ж. Линейное программирование при многих критериях: метод ограничений. - Автоматика и телемеханика, 1971, №8.
7. ДАЙЕР Дж. Многоцелевое программирование с использованием человеко-машинных процедур. - В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.:Мир, 1976, с.108-126.
8. РУА Б. Проблемы и методы применения решений в задачах с многими целевыми функциями. - В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.:Мир, с.80-108.
9. ЛАРИЧЕВ О.И. Человеко-машинные процедуры принятия решений. - Автоматика и телемеханика, 1971, №12, с.130-143.

10. ГАСС С. Линейное программирование/ Методы приложения. - Физматгиз, 1961, с.152-164.
11. SHARALI H.D., SOYSTER A.L. Preemptive and non preemptive multi-objective programming:relationships and contreexamples.- J. Optimiz. Theory and Appl., 1983, N2,p.173-186.
12. ВОЙНАЛОВИЧ В.М., ДУТ О.Н., БРЕЛОВА К.Ф. Формирование производственной программы предприятия по нескольким критериям с помощью диалоговой процедуры. - Управляющие системы и машины, 1980, №6, с.11-15.
13. ВОЛКОВИЧ В.Л., ВОЙНАЛОВИЧ В.М. Человеко-машинная процедура поиска решения в задачах многокритериальной оптимизации. - Управляющие системы и машины, 1979, №5, с.24-29.

Поступила в ред.-изд. отдел
01.12.1983 г.