

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСУП-ТОМСК

Ю. Н. ЕФИМОВ, В. И. КИЗЕВ, В. И. НЕВРАЕВ, Ф. И. ПЕРЕГУДОВ,  
П. А. СЕДЕЛЬНИКОВ

(Представлена научным семинаром  
отдела вычислительной техники НИИ АЭМ)

Непрерывно возрастающие трудности управления современными промышленными предприятиями вызывают необходимость разработки автоматизированных систем управления. Построенные на научной основе и удачно сочетающие в себе опыт и знания руководителей с большими возможностями современных средств вычислительной техники, автоматизированные системы управления предприятиями представляют собой качественный скачок в области организации управления производством.

Авторами разработан один из вариантов автоматизированной системы управления предприятием (АСУП-Томск), применимый в условиях крупносерийного, серийного и мелкосерийного производства. Предлагаемая система принципиально отличается от других АСУП [1, 2], имеющих ту же область применения, методикой формирования оперативного календарного плана и, соответственно, всеми остальными вопросами, связанными с календарным планированием. Отметим также, что основные идеи АСУП-Томск, основанные на теории графов и теоретико-множественных представлениях, в принципе исключают возможность «ручного счета» и требуют применения электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Разработанная система с сентября 1968 года проходила экспериментальную проверку на одном из предприятий г. Томска. По изделиям, планируемым ЭВМ, предприятие в течение двух месяцев вошло в ритм по обеспечению деталями собственного производства. При непрерывном увеличении директивного товарного плана и неизменной численности рабочих улучшился ритм выпуска продукции и значительно снизился объем незавершенного производства. Календарный план и его технико-экономические показатели охватывают и синхронизируют действие всех подразделений предприятия в интересах выпуска товарных изделий. С октября 1969 года впервые вся товарная продукция, а с января 1970 года и материально-техническое обеспечение предприятия переведены на машинное планирование.

Двухлетний опыт эксплуатации отдельных блоков системы показал ее высокую эффективность, особенно для планирования изделий, сложных по конструкции. Возможность поэтапного внедрения АСУП (по изделиям), простота методики подготовки изделий для перевода на машинное планирование и управление, обеспечение сквозного учета остатков и минимизация незавершенного производства — вот отличительные качества предлагаемой системы, являющиеся залогом ее успешного внедрения и функционирования.

При разработке АСУП-Томск использовалась вычислительная машина «Урал-11Б», однако система может быть ориентирована на применение любой современной универсальной ЭВМ. Поскольку организация вычислительного процесса зависит от конкретного типа применяемой ЭВМ (разрядной сетки, объема оперативной памяти, состава внешних устройств), то в статье не приводятся блок-схемы конкретных программ. В статье не обсуждаются также вопросы, связанные с формами входных, выходных и контрольных документов, ибо они должны учитывать как особенности ЭВМ, так и специфику конкретного предприятия.

### Основные функции системы

В режиме планирования АСУП-Томск выполняет следующие планово-расчетные функции, координирующие деятельность различных подразделений предприятия.

1. Расчет оперативного календарного плана производства по директивным планам выпуска товарной продукции и с учетом текущего состояния производства. Формируемый системой календарный план синхронизирует работу всех подразделений предприятия, что гарантирует ритмичное выполнение директивного плана при минимальном уровне незавершенного производства.

2. Нормативный расчет технико-экономических показателей плана выпуска каждого подразделения предприятия по трудоемкости, фонду заработной платы и стоимости необходимых для его реализации ресурсов (материалов, комплектующих изделий).

3. Нормативный расчет планового потребления материальных ресурсов в соответствии с календарным планом запуска каждого подразделения отдельно для двух периодов времени. На основе планового потребления в первом периоде проверяется текущая материально-техническая обеспеченность производства. Второй период характеризует перспективу потребления ресурсов и позволяет вовремя сделать необходимые заявки.

4. Расчет подетальных нормативов стоимости материалов, комплектующих изделий для каждого подразделения предприятия, а также составление калькуляции нормативной себестоимости по всем элементам конструкции изделия.

5. Расчет объема незавершенного производства в стоимостном выражении, в соответствии с инвентаризационными остатками.

6. Составление ведомости комплектации по сводной спецификации и наоборот. Ведомость комплектации может быть разнесена по адресам комплекточных участков.

7. Формирование плана подготовки производства изделия или отдельных элементов его конструкции, увязанного соответственно с планом выпуска головной партии этого изделия или с календарным планом текущего производства.

В режиме управления при работе АСУП по оперативно-диспетчерским рапортам наряду с вышеизложенными выполняются следующие учетно-регулирующие функции:

1. Составление отчетов по фактическому выполнению плана отдельными подразделениями и предприятием в целом.

2. Учет движения материальных ценностей в масштабе предприятия и контроль их расхода посредством планового лимитирования потребления ресурсов на всех стадиях производства.

3. Расчет планового объема незавершенного производства в стоимостном выражении по подразделениям и предприятию в целом.

4. Регулярный контроль за выполнением оперативного календарного плана с целью своевременного выявления фактов отставания.

5. Статистическое изучение длительности производственного цикла принятой партии деталей для коррекции ее первоначального значения.

Перечисленный комплекс задач решается системой взаимосвязанно и требует минимального объема исходной информации.

### Модель производства. Оперативное календарное планирование

Составление оперативного календарного плана, синхронизирующего деятельность всех подразделений предприятия в интересах выполнения плана выпуска товарной продукции в установленные сроки с одновременным обеспечением необходимых пропорциональных заделов, является одной из центральных задач любой АСУП.

Для решения этой задачи на ЭВМ требуется разработать экономикоматематическую модель, то есть формально описать планируемый процесс. Очевидно, что увеличение множества различных моделью состояний производства приводит к увеличению объема информации, необходимой для его описания. При построении автоматизированной системы управления уровень состояния производства, различаемый моделью, должен быть выбран на основе разумного компромисса между информационной ценностью выходных (управляющих) сведений и объемом, достоверностью, стоимостью сбора и обработки соответствующей входной информации, а также возможностями серийно выпускаемых в настоящее время ЭВМ. Принципиально возможно создание моделей, различающих состояние производства как до уровня межцехового маршрута каждого элемента конструкции изделия или до уровня его внутрицехового маршрута по участкам, так и до уровня отдельной технологической операции. В описываемой АСУП принята модель, различающая только межцеховой маршрут деталей, узлов, приборов и т. д., как индивидуальных элементов конструкции товарного изделия. Эта модель представляется в виде конечного ориентированного графа, что позволяет эффективно использовать математический аппарат для ее анализа. Дадим более полное описание предлагаемой нами сетевой модели производства, а также более строгую математическую формулировку задачи оперативного календарного планирования в рамках этой модели.

Каждое товарное изделие предприятия в соответствии с его конструкторской и технологической документацией представляется конечным ориентированным графом  $G=(IU)$  без контуров, содержащим  $|I|$  вершин и  $|U|$  дуг [3]. Вершинами (продуктами)  $i \in I$  графа являются сами товарные изделия, а также все элементы их конструкции (детали, подузлы, узлы, приборы и т. д.). Каждой дуге  $(ij) \in U$  ставится в соответствие параметр  $r_{ij}$ , имеющий смысл нормы расхода продукта  $i$  на единицу продукта  $j$ .

В предлагаемой модели производства предприятие представляется двумя множествами подразделений  $Y=\{y\}$  и  $X=\{x\}$ , соответственно производящих продукты  $i$  (цеха) и выдающих в работу продукты, являющиеся исходными для производства каждого продукта  $i$  (склады, комплекточные участки). Каждой вершине (продукту)  $i \in I$  графа  $G$  соответствуют следующие данные:

$m_i$  — партия изготовления продукта  $i$ ;

$Y_i$  — технологический маршрут продукта  $i$ ;

$T_i$  — длительность производственного цикла изготовления партии продукта  $i$  в подразделение  $y \in Y$ ;

$x_i$  — адрес подразделения, выдающего в работу продукты, являющиеся исходными для производства продукта  $i$ ;

$\Delta_i$  — остаток готового продукта  $i$  в момент времени  $t_0$ , соответствующий началу планируемого периода;

$\sigma_i^y$  — количество продукта  $i$ , находящегося к моменту времени  $t_0$  в процессе производства в подразделении  $y \in Y$ ;

$H_{i\theta}^{y\theta}$  — норма затрат ресурса вида  $\theta$ , потребляемого подразделением  $y \in Y_i$  при производстве продукта  $i$ .

Каждому подразделению  $y \in Y_i$  можно поставить в соответствие число  $k_i = k(i, y)$  — порядковый номер подразделения  $y$  в  $Y_i$ .

$$K_i = 1, 2, \dots, k_i^y, \dots, n_i.$$

Тогда в рассматриваемых ниже выражениях текущее подразделение в  $Y_i$  можно обозначить  $y_k$ .

Для каждой вершины  $i \in I$  (в том числе и на товарные изделия) может быть задан директивный план выпуска в виде дискретной функции  $P_i^d(t)$ .

Основываясь на вышеперечисленных данных, требуется трансформировать директивные планы  $P_i^d(t)$  в частные планы запуска  $P_i^{zy}(t)$  и выпуска  $P_i^{vy}(t)$  всех вершин (продуктов)  $i \in I$  с разнесением их по адресам подразделений  $y$ .

Для простоты дальнейших рассуждений положим  $n_i = 1$ .

В связи с дискретностью функции  $P_i^d(t)$  функция  $P_i^z(t)$  также дискретна и может быть представлена конечной совокупностью пар, упорядоченной по возрастанию  $t$ :

$$P_i^z(t) = \{q_i^{3\lambda}, t_i^\lambda\} \lambda = 1, \mu_i,$$

где

$q_i^{3\lambda}$  — количество продукта  $i$ , запускаемого в производство в момент времени  $t$ ;

$\mu_i$  — количество элементов плана запуска.

Значения элементов плана запуска продукта  $i$  определяются планом потребления  $P_i^p(t)$  этого продукта, который также представляется конечной совокупностью пар:

$$P_i^p(t) = \{g_i^{p\lambda}, t_i^{p\lambda}\} \lambda = \overline{1, v_i},$$

где

$g_i^{p\lambda}$  — количество продукта  $i$ , потребляемого в момент времени  $t_i^\lambda$ ;

$v_i$  — количество элементов плана потребления.

Очевидно, что для товарных изделий предприятия

$$P_i^p(t) = P_i^q(t).$$

Зависимость между  $P_i^z(t)$  и  $P_i^p(t)$  определяется соотношением

$$P_i^z(t) \geq P_i^p(t + T_i) - (\Delta_i + \sigma_i),$$

выражающим основной принцип поддержания синхронной работы всех подразделений предприятия. Чтобы выполнить это соотношение, необходимо запускать продукт  $i$  в размере  $g_i^{3\lambda} = \chi_i^\lambda \cdot m_i$  ( $\chi_i^\lambda$  — целое положительное число) в те моменты  $(t_i^{p\lambda} - T_i)$ , когда его имеющееся количество становится меньше планового потребления за период времени  $T_i$ , необходимый для его воспроизводства.

Очевидно, что на бесконечном интервале времени план выпуска любого продукта  $P_i^{vy}(t)$  в каждом подразделении  $y$  превышает план его запуска  $P_i^{zy}(t)$  на величину  $\sigma_i^y$ . Поэтому, чтобы сохранить распределение во времени выпуска той части продукта  $i$ , которая к моменту времени  $t_0$  находится в производстве, формируется условный план запуска:

$$P_i(t) = m_i \cdot E \left[ \frac{P_i^p \left( t + \sum_{k_j=1}^{n_i} T_i^{y_k} \right) - \Delta_i}{m_i} \right],$$

где  $E[d]$  — минимальное целое число, не меньшее аргумента  $d$ .

В свою очередь плановое потребление продукта  $i \in I$  может быть определено по следующему соотношению:

$$P_i^p(t) = P_i^q(t) + \sum_{j \in \Gamma_1} \left[ P_i(t) - \sum_{k_j=1}^{n_1} \sigma_j^{y_k} \right] \cdot r_{ij}.$$

Как видно из приведенных выше соотношений, условный план запуска является рекуррентной функцией, что обуславливает необходимость последовательного пересчета планов, начиная с товарных изделий и кончая деталями. Для обеспечения возможности такого пересчета необходимо предварительное упорядочивание топологии графа по слоям, например, по методике [4].

Время, необходимое для расчета планов на ЭВМ, существенно зависит от способа задания графа.

При анализе графа в форме  $G = (I, \Gamma^{-1})$  проявляется необходимость в хранении большого количества частичных планов потребления вершин  $i \in \Gamma^{-1} I_1$ , но  $i \in I_1$  ( $I_1$  — множество просмотренных вершин графа на каком-то фиксированном этапе вычислительного процесса). Количество хранимых частичных планов потребления определяется топологией графа и меняется в процессе счета. Следует также отметить неодинаковое количество элементов и громоздкость формы записи планов потребления. Все это приводит к нерациональному использованию оперативной и внешней памяти ЭВМ, усложняет хранение и поиск планов и, следовательно, увеличивает время счета.

При анализе графа в форме  $G = (I, \Gamma)$  необходимо хранить только условные планы запуска. Так как в них размер разового заказа  $q_{ij}$  кратен партии  $m_i$ , то можно записать:

$$P_i(t) = m_i \cdot x_i(t),$$

где  $x_i$  — величина, характеризующая запускаемое количество, а ее местоположение (позиция) в  $P_i(t)$  — время запуска. Примем, что одновременно запускается не более одной партии  $m_i$ . В этом случае достаточно отметить только сам факт запуска, для чего требуется один двоичный разряд. Такая форма записи является довольно компактной, что позволяет сделать ее фиксированной длины. Отсюда видно, что представление графа в форме  $G = (I, \Gamma)$  является более удобным для реализации алгоритмов его анализа. В связи с этим, если граф задан в форме  $G = (I, \Gamma^{-1})$ , то ее нужно привести в форме  $G = (I, \Gamma)$ , используя, например, алгоритм [5].

На основании полученных условных планов запуска нетрудно сформировать календарные планы запуска-выпуска по полному множеству продуктов  $i \in I^y$ , подлежащих обработке в заданном интервале времени, где  $I^y \in I$  — номенклатура подразделения  $y \in Y$ .

План запуска продукта  $i$  в подразделении  $y^*$  определяется следующим образом:

$$P_i^{zy^*}(t) = P_i \left( t - \sum_{k_1=1}^{k_1^{y^*}} T_i^{y_k} + T_i^{y^*} \right) - \sum_{k_1=i^{y^*}}^{n_1} \sigma_i^{y_k}.$$

План выпуска соответственно равен:

$$P_i^{by^*}(t) = P_i \left( t - \sum_{k_1=1}^{k_1^{y^*}} T_i^{y_k} \right) - \left( \sum_{k_1=k_1^{y^*}}^{n_1} \sigma_i^{y_k} - \sigma_i^{y^*} \right).$$

В предлагаемой модели принято, что при производстве любого продукта  $i \in I$  все входящие в него элементы конструкции потребляются первым по технологическому маршруту цехом. Тогда для целей комплектации могут быть использованы календарные планы запуска первых цехов полного множества продуктов  $i \in I_x$ , где  $I_x \in I$  — номенклатура продуктов, комплектуемых подразделением  $x$ .

$$P_i^x(t) = P_i(t) - \sum_{k_i=1}^{n_i} \sigma_i^{y_k}.$$

Следует отметить, что согласно предлагаемому алгоритму условный план запуска формируется с учетом не только собственных остатков, но и остатков по продуктам, входящим в прямое транзитивное замыкание графа  $G$  для вершины  $i$ , т. е. производится сквозной учет остатков.

Можно утверждать, что алгоритм обеспечивает ритмичность работы выпускных подразделений предприятия при уровне незавершенного производства, близком к минимальному.

Необходимо иметь в виду, что правильность формирования календарных планов можно обеспечить только в том случае, если директивный план выпуска продукта  $P_i^d(t)$  будет задан на интервале времени, не меньшем длительности производственного цикла изготовления этого продукта в целом (начиная с деталей) плюс длительность планируемого периода. Длительность производственного цикла изготовления изделия равна:

$$T_i^{\Pi} = \max_{i \in I} T_i^{\Pi},$$

где значения  $T_i^{\Pi}$  для вершин упорядоченного по слоям графа вычисляются по следующей рекуррентной формуле:

$$T_i^{\Pi} = \sum_{k_i=1}^{n_i} T_i^{y_k} + \max_{j \in \Gamma_i} T_j^{\Pi}.$$

Иногда возникает необходимость в совместном расчете нескольких изделий, особенно в случае значительных пересечений их топологий. Однако конструкторская и технологическая документация, как правило, составляется отдельно на каждое изделие. В этом случае топологии сетей изделий «сшиваются» на основе некоторых формальных процедур преобразования графов [5].

Отметим также, что конструкторская документация может содержать такие элементы конструкции изделия, процесс производства которых в рамках предлагаемой модели на предприятии не контролируется. Для исключения неконтролируемых вершин производится редуцирование графа, согласно алгоритму [6]. Если неконтролируемым является подразделение  $y \in Y_i$ , то оно не должно включаться в число параметров сетевой модели производства изделия.

Поскольку предлагаемый алгоритм расчета производит сквозной учет остатков, точность расчета календарных планов запуска-выпуска во многом зависит от достоверности информации о текущем состоянии производства. В режиме планирования, когда размер имеющихся на предприятии остатков продуктов  $i \in I$  выявляется в результате инвентаризации незавершенного производства, точное определение величины  $\sigma_i^y$  представляет большие трудности. Эти трудности могут быть преодолены только при работе в режиме управления, обеспечивающем учет движения продуктов по подразделениям предприятия.

При подготовке производства новых изделий сетевая модель изделия стыкуется с моделью подготовки его производства. В результате расчета формируются взаимно увязанные во времени планы изготовления оснастки и опытной партии изделий.

#### Оперативное планирование материально-технического обеспечения

Одним из важных факторов, обеспечивающих нормальное функционирование служб МТО и, в конечном счете, выполнение предприятия

ем плановых заданий, является своевременное определение размеров потребления этим предприятием материальных ресурсов в пределах заданного интервала времени, а также их сопоставление с имеющимися в наличии количествами. Результаты такого сопоставления являются исходными данными для оформления заявок на поставки, а размеры планового потребления ресурсов могут быть использованы для целей контроля за их расходом.

Очевидно, что плановое потребление ресурсов должно определяться, исходя из ранее рассчитанных планов запуска всех элементов конструкции изделий, изготавливаемых на предприятии, т. е. математическая модель МТО должна стыковаться с моделью оперативного календарного планирования.

В предлагаемой модели МТО предприятие представляется тремя множествами подразделений:

- $Y = \{y\}$  — множеством подразделений (цехов), потребляющих ресурсы;
- $X = \{x\}$  — множеством подразделений (складов), выделяющих в цехи соответствующие ресурсы;
- $Z = \{z\}$  — множеством подразделений (групп МТО), занимающихся вопросами приобретения ресурсов.

В качестве модели потребления ресурсов используется ориентированный граф  $G = (J, \Gamma)$ , топология которого отражает определяемую конструкторской и технологической документацией взаимосвязь материалов, покупных изделий, с одной стороны, и деталей, узлов, приборов, с другой стороны.

Вершинами  $i \in J$  графа  $G$  являются материалы, покупные изделия, а элементами  $(j, y)$  их прямого отображения  $\Gamma_1$  — продукты, составляющие сетевую модель планируемого изделия и изготавливаемые в подразделениях  $y \in Y_j$ .

Каждой вершине графа  $G$  соответствуют следующие параметры:

- $x_i$  — адрес подразделения, выдающего в работу элемент ресурса  $i$ ;
- $z_i$  — группа, к которой относится элемент ресурса  $i$ ;
- $c_i$  — цена элемента ресурса  $i$ ;
- $\Delta_i$  — остаток ресурса  $i$  на складе  $x_i$ ;
- $\sigma_i^y$  — остаток ресурса  $i$  на складе цеха  $y \in \Gamma_1$ .

Каждой дуге  $i, (j, y)$  графа  $G$  ставится в соответствие параметр  $r_{ij}^y$ , имеющий смысл нормы расхода элемента ресурса  $i$  на единицу продукта  $j$ , производимого в подразделении  $y \in Y_j$ .

Основываясь на описанной выше модели МТО и ранее рассчитанных условных планах запуска  $P_j(t)$ , определим плановое потребление каждого элемента ресурса  $i \in J$  в интервале времени по формуле:

$$Q_i = \sum_{(j,y) \in \Gamma} \sum_{t=t_a}^{t_\beta} \left[ P_j \left( t - \sum_{kj=1}^{kj^y} T_j^{y_k} + T_j^y \right) - \sum_{kj=kj^y}^{nj} \sigma_j^{y_k} \right] \cdot r_{ij}^y,$$

Размер планового потребления элемента ресурса  $i$  подразделением  $y^*$  в интервале времени  $[t_1, t_2]$  определяется следующим выражением:

$$Q_i^{y^*} = \sum_{(j,y^*) \in \Gamma} \sum_{t=t_1}^{t_2} \left[ P_j \left( t - \sum_{kj=1}^{kj^{y^*}} T_j^{y_k} + T_j^{y^*} \right) - \sum_{kj=kj^{y^*}}^{nj} \sigma_j^{y_k} \right] \cdot r_{ij}^{y^*}.$$

Отметим, что сквозной учет остатков при расчете условных планов запуска позволяет повысить точность расчета планового потребления ресурсов в заданном интервале времени.

Рассчитанные  $Q_i^y$  и величины остатков ресурсов  $\sigma_i^y$  на соответствующих цеховых складах являются основной для формирования лимитно-

заборных ведомостей по полному множеству элементов ресурса  $i \in I^{xy}$ , выдаваемых по адресам складов  $x \in Y$  с разнесением по адресам цехов  $y \in Y$ .

Для формирования ведомостей дефицита по полному множеству элементов ресурса  $i \in I_z$ , разнесенных по группам  $z \in Z$ , используются данные по имеющимся в наличии остаткам ресурсов на заводских и цеховых складах  $\Delta_i + \sum_{y \in \Gamma_1} \sigma_y$  и плановые потребления в интервалах времени  $[t_1, t_2]$  и  $[t_2+1, t_3]$ . Интервал времени  $[t_1, t_2]$  является текущим планируемым периодом, а  $[t_2+1, t_3]$  — очередным планируемым периодом, определяющим прогноз дефицита.

Данные по ценам элементов ресурса  $c_i$  и их нормы расхода на единицу продукта  $(j, y^*)$  используются для расчета стоимости  $H_j^{y^*}$  ресурсов, потребляемых подразделением  $y^* \in Y_j$  на единицу каждого продукта  $j$ :

$$H_j^{y^*} = \sum_{i \in (j, -1y^*)} c_i \cdot r^{y^*}_{i,j}.$$

Результаты такого расчета применяются для целей технико-экономического планирования.

Данные по остаткам ресурсов используются также для определения их стоимости.

В связи с тем, что имеющаяся на предприятии конструкторская и технологическая документация составлена по изделиям, а данные по МТО желательно получить в целом по предприятию, то все расчеты выполняются по изделиям, а результаты суммируются.

Так как для расчета плановых потреблений более удобным является задание топологии графа в форме  $G = (J, \Gamma^{-1})$ , то в случае необходимости изменения способа его представления можно использовать алгоритм [5].

В случае, когда модели производства изделий «сшиваются», этой же процедуре подвергаются сетевые модели МТО.

#### Технико-экономическое планирование

Для планово-экономических расчетов используются технико-экономические нормативы, вводимые в модель производства непосредственно (нормы по труду и заработной плате), и нормативы, рассчитываемые на основе модели материально-технического обеспечения (стоимость материалов и покупных изделий). Все перечисленные нормативы по каждому продукту определяются в целом для подразделения, участвующего в производстве этого продукта. Нормативные технико-экономические расчеты охватывают следующий ряд самостоятельных задач: расчет технико-экономических показателей календарного плана по каждому подразделению и в целом по предприятию на заданный плановый период; расчет распределения затрат ресурсов на единицу товарного изделия по подразделениям-изготовителям; расчет нормативной себестоимости по каждому элементу конструкции и в целом по изделию; расчет объема незавершенного производства по отдельным подразделениям и предприятию в целом.

Расчет технико-экономических показателей календарного плана производства сводится к формированию сводного (по номенклатуре) плана материальных и трудовых затрат на изделие отдельно для каждого вида ресурса в заданном интервале времени. Сводный план подразделения для любого вида затрат определяется выражением:

$$\Pi_{\theta}^{y^*} = \sum_{t=t_1}^t \sum_{i \in I_{y^*}} P_{i,by^*}(t) \cdot H_{i\theta}^{y^*}.$$

Сводный план предприятия для каждого вида затрат  $\Theta$  определяется соотношением:

$$P_{\theta} = \sum_{y \in Y} P^y_{\theta}.$$

Расчет затрат подразделений  $y \in Y$  на единицу изделия производится следующим образом. Вначале определяется норма расхода каждого продукта  $i \in I$  на единицу изделия по следующему рекуррентному соотношению:

$$r_{i\theta} = \sum_{j \in J} r_{ij} \cdot r_{j\theta},$$

где  $r_{j\theta}$  — норма расхода продукта  $j$  на единицу изделия. Затем производится непосредственный расчет каждого вида затрат подразделения  $y^*$ :

$$c_{\theta y^*} = \sum_{i \in I_{y^*}} r_{i\theta} \cdot H_{\theta y^*}.$$

Себестоимость каждого продукта  $i \in I$  по нормативным статьям затрат определяется как сумма отдельных видов затрат, которые, в свою очередь, находятся из следующего рекуррентного соотношения:

$$c_{j\theta} = \sum_{i \in I_{j-1}} c_{i\theta} \cdot r_{ij} + \sum_{k_j=1}^{n_j} H_{j\theta} y_k,$$

где  $c_{i\theta}$  — величина статьи затрат  $\theta$  в нормативной себестоимости.

Расчет объема незавершенного производства можно разделить на две части соответственно видам незавершенного производства  $\Delta_i$  и  $\sigma_i^y$ .

Определение объема остатков готовых продуктов по видам затрат не вызывает затруднений и производится по формуле:

$$M_{\theta} = \sum_{i \in I} \Delta_i \cdot c_{i\theta}.$$

Точный расчет объема незавершенного производства,  $\sigma_i^y$ , соответствующего продуктам, находящимся в стадии производства, произвести невозможно. Это сопряжено с тем, что в принятой модели фактическая стадия процесса производства продукта внутри подразделения не регистрируется. Поэтому примем, что одни виды ресурса потребляются сразу, а другие равномерно в течение времени, равного длительности производственного цикла изготовления продукта  $T_i^y$ . Тогда расчет объема незавершенного производства  $\sigma_i^{y^*}$  для каждого подразделения  $y^*$  по видам затрат, вносимых в продукт сразу (стоимость материалов и комплектующих изделий), можно произвести по формуле:

$$M_{\theta y^*} = \sum_{i \in I_{y^*}} \sigma_i^{y^*} \left( c_{i\theta} - \sum_{k_i=k_1^{y^*}}^{n_i} H_{i\theta} y_k + H_{i\theta} y^* \right).$$

Для расчета затрат, непрерывно возрастающих в процессе производства (например, заработная плата), предположим, что все множество незавершенного производства находится в средней стадии готовности. Тогда

$$M_{\theta y^*} = \sum_{i \in I_{y^*}} \sigma_i^{y^*} \left( c_{i\theta} - \sum_{k_i=k_1^{y^*}}^{n_i} H_{i\theta} y_k + \frac{1}{2} H_{i\theta} y^* \right).$$

Как видно из вышесказанного, предлагаемая методика технико-экономических расчетов требует введения в модель производства небольшого объема дополнительной информации (только норм по труду и заработной плате) и позволяет произвести расчеты с достаточной степенью точности.

## Организация информационного обеспечения системы

Подготовка постоянных массивов информации, необходимых для внедрения автоматизированной системы управления в практику планирования предприятия, — процесс трудоемкий и должен быть организован с учетом сложившихся форм документов и особенностей распределения функций между подразделениями в организационной структуре предприятия. Для повышения достоверности исходной информации и для упрощения задачи ее подготовки в модели производства АСУП-Томск приняты параметры, характеризующие только данную позицию состава изделия, и полностью отсутствуют параметры, которые при их подготовке требуют изучения конструктивной взаимосвязи или технологической последовательности различных продуктов. К числу последних относится, например, время опережения [1].

Необходимая для работы АСУП-Томск информация состоит из массивов, которым в структуре предприятия соответствуют подразделения, ответственные за их достоверность.

Массив информации о топологии (ТИ) сетевой модели изделия создается на основе сводной спецификации или угловых спецификаций полного перечня чертежей данного изделия. Массив параметров элементов конструкции изделия (МПИ) содержит следующую информацию по каждому продукту, составляющему изделие: шифр, десятичное обозначение, технологический маршрут, партию изготовления и номер комплекточного участка.

После проверки на ЭВМ взаимоднозначного соответствия шифров в ТИ и МПИ для каждого подразделения по полной его номенклатуре формируются ведомости для представления сведений по длительностям производственного цикла, нормам трудоемкости и заработной платы.

Изложенный порядок подготовки исходной информации позволяет перевести на машинное планирование изделия с составом в 1 000 наименований в течение одного месяца.

Информация о топологии (ТР) сетевой модели МТО формируется отдельными массивами для каждого изделия по каждому виду потребляемого ресурса (материалы, комплектующие изделия). Информация о параметрах элементов ресурсов (МПР) формируется отдельными массивами для каждого вида ресурса в масштабе предприятия. МПР каждого вида ресурса содержит следующие данные по каждому элементу его номенклатуры: шифр, обозначение, единицу измерения, цену, группу, склад хранения.

С помощью ЭВМ проверяется взаимоднозначное соответствие шифров ТР, МПР и ТИ, а также адресов подразделений в ТР и МПИ.

Отметим, что вышеперечисленные массивы имеют документальное отображение на предприятии, что упрощает первоначальный сбор требуемого объема информации. Программная проверка соответствия между определенными массивами позволяет выявить ряд логических ошибок и обеспечить их жесткую стыковку.

## Организация вычислительного процесса

Очевидно, что задачи, решаемые АСУП, сложны и многогранны. Поэтому принципиально невозможно разработать одну универсальную программу, решающую все вышеперечисленные задачи. Не вызывает сомнения, что математическое обеспечение АСУП должно включать в себя комплекс программ, упорядоченных по принципу преемственности входной и выходной информации. Однако, если пройти по пути создания малых программ, то число таких программ, а также инструкций и прочих руководящих материалов к ним будет значительным. Разработка больших по объему программ также не является целесообразной в силу

того, что при ограниченных возможностях современных ЭВМ это приводит к резкому увеличению соотношения «обменного» и «счетного» времени и, как следствие, к снижению быстродействия. Видимо, всегда существует оптимальная универсальность программ, которая зависит как от специфики решаемой задачи и эффективности вычислительного метода, так и от особенностей используемой ЭВМ.

Как уже указывалось, предлагаемые в АСУП-Томск алгоритмы реализованы на ЭВМ «Урал-11Б». С учетом вышеизложенных соображений весь вычислительный процесс разбит примерно на 40 программ, объединенных с помощью программы-диспетчера (Д). Все программы можно разбить на следующие группы:

- а) ввода с предварительной обработкой;
- б) контрольные;
- в) расчетные;
- г) вывода на АЦПУ;
- д) преобразования сетевых моделей;
- е) комбинированные (включают в себя функции нескольких групп).

Каждая программа имеет от 1 до 8 модификаций:

- а) с контролем или без контроля;
- б) анализ ТИ или ТР;
- в) анализ графа в форме  $G = (I, \Gamma)$  или  $G = (I, \Gamma^{-1})$ . Всем программам с учетом модификаций присвоены псевдокоды (ПК), состоящие из номера программы (П) и номера модификации (М). Диспетчер по П вызывает из НМЛ в НФ нужную программу, а по М задает режим работы. Программа-диспетчер обеспечивает как выполнение отдельного ПК, заданного оператором с пульта управления ЭЦВМ, так и выполнению группы ПК, записанной в таблице псевдокодов (ТПК).

В целом Д состоит из постоянной (С) и переменной (ХЗ) частей. В С содержится сама программа-диспетчер, ТПК и глобальные константы. ХЗ является характеристикой конкретного заказа (изделия), в которой содержится информация о местонахождении и размерах массивов, принадлежащих данному заказу. Эта информация заносится в ХЗ программами, формирующими соответствующие массивы. Д позволяет по номеру заказа, заданному оператором с пульта управления, вызывать соответствующую ХЗ, причем состояние предыдущей ХЗ фиксируется на МЛ. Это дает возможность прервать обработку заказа на любом этапе вычислений, а затем продолжить с прерванного этапа. Вызов ХЗ разрешен также некоторым глобальным программам с помощью специального обращения к Д.

В функции Д входит также предварительное распределение МЛ между массивами одного заказа.

Разработка программы-диспетчера позволила намного упростить и ускорить проведение расчетов, предусмотренных автоматизированной системой управления, а также свести к минимуму количество ошибок, неизбежно допускаемых оператором.

\* \* \*

В заключение отметим, что все алгоритмы, выполняемые АСУП-Томск в режиме планирования, полностью опробованы и внедрены на предприятии в условиях, когда другие методы планирования исключены. Опыт показал, что предложенные алгоритмы являются достаточно эффективными и охватывают все основные плановые задачи предприятия. Без существенных изменений эти алгоритмы могут быть широко использованы на машиностроительных предприятиях различного профиля.

Алгоритмы, выполняемые системой в режиме управления, находятся еще в стадии разработки.

Особый интерес представляют задачи оптимизации, которые могут

быть решены в рамках предложенной экономико-математической модели. Например, задача выбора варианта товарного плана предприятия при заданной обеспеченности ресурсами; составление оптимального расписания обработки продуктов в каждом конкретном подразделении с целью строгого выполнения рассчитанных планов запуска-выпуска; планирование производства предприятий, связанных между собой поставками по кооперации (сетевая модель имеет контуры) и др.

Видимо, целесообразны также исследования зависимости возможной степени детализации сетевых моделей отдельных изделий от применяемых средств вычислительной техники. Разработанные программы для ЭВМ «Урал-11Б» позволяют анализировать сетевые модели изделий, содержащие не более 4095 вершин.

Авторы надеются, что основные принципы построения и функционирования АСУП-Томск могут найти применение при разработке автоматизированных систем управления как предприятиями, так и отраслью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Перельман. Автоматизированная система оперативного планирования и управления производством. М., 1968.
2. Автоматизированная система оперативного управления Барнаульским радиозаводом (АСУ-Барнаул). Новосибирск, 1969.
3. К. Берж. Теория графов и ее применения. М., Изд. ИЛ, 1962.
4. Ю. Н. Ефимов. Алгоритм нахождения порядковой функции сетевого графика. «Изв. ТПИ», т. 168, 1969.
5. Ю. Н. Ефимов, П. А. Седельников. Об одном алгоритме преобразования формы представления графа. (Настоящий сборник).
6. В. И. Кизев, Ю. Н. Ефимов, В. И. Невраев, П. А. Седельников. Об одном алгоритме укрупнения графа. «Изв. ТПИ», т. 223 (в печати).