

МЕТОД И ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

П. Л. СТЕПАНОВ, А. М. РЕВИН, В. З. ЯМПОЛЬСКИЙ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Внедрение в практику управления производством электронно-вычислительных машин все настоятельнее требует использования математических методов в планировании, прежде всего в единичном и мелкосерийном производстве. Предприятия единичного и мелкосерийного характера производства отличаются частой сменой номенклатуры изделий, которые планируются к изготовлению; отсутствием какого-либо подобия в длительности технологических операций, циклов и технологических маршрутов.

Анализируя существующие практические методы календарного планирования на предприятиях единичного и мелкосерийного производства, нетрудно убедиться, что основную трудность представляют вопросы формирования месячных производственных программ, определение оптимального варианта запуска — выпуска деталей, составление оперативных производственных заданий и расчет равномерной загрузки оборудования на каждый календарно-плановый период.

Ниже предлагается одно из возможных решений этих основных задач календарного планирования в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Выбор и обоснование критериев

Возрастающие темпы научно-технического прогресса промышленности, условия новой экономической реформы резко повысили требования к качеству и скорости решения задач планирования и управления производством.

Для принятия оптимальных решений в планировании сложного процесса производства потребовались строгие математические методы исследования процессов управления, прочный научный фундамент, которым явилось сравнительно молодое научное направление — «исследование операций».

Для методов решения задач управления в «исследовании операций» характерны следующие элементы [1]:

1. Построение математической модели объекта управления.
2. Составление множества переменных, значения которых выбираются из общей стратегии управления.
3. Выбор целевой функции от выбранных переменных.
4. Выбор и применение вычислительного метода для определения значения целевой функции при выбранном варианте значений переменных.

Таким образом, первое, с чего начинается исследование, является как будто бы построение модели. Однако это не совсем правильно. Рассмотрим определение математической модели для решения задач управления,

наиболее четко сформулированное М. К. Старром [2]. «Модель является изображением действительности. Она строится таким образом, чтобы объяснить некоторые, но не все аспекты совокупности явлений в этой действительности. Причина, по которой применяется модель, заключается в том, что она всегда проще, чем фактическая ситуация в реальном мире. Она должна быть хорошим изображением тех измерений, которые имеют отношение к целям системы».

Из этого следует, что прежде чем заниматься построением модели, необходимо выбрать величину, которая бы явилась критерием оптимальности для целевой функции системы.

В настоящей статье сделана попытка предложить корректный метод выбора критериев оптимальности для построения математической модели производства, пригодной для решения задач оперативно-календарного планирования. Система оперативно-календарного планирования производства на социалистическом предприятии должна, очевидно, максимально способствовать выполнению предприятием показателей государственного плана. Важнейшими из этих показателей, характеризующими деятельность предприятия в целом, являются : прибыль, уровень рентабельности, объем реализованной продукции. Эти показатели разумно принять критериями оптимальности при организации деятельности предприятия в целом. Принять их критериями оптимальности при построении системы оперативно-календарного планирования (ОКП) не представляется возможным ввиду отсутствия прямой связи между ней и этими показателями.

В данном случае необходимо выбрать факторы, находящиеся в прямой зависимости от системы ОКП и влияющие пусть неявным образом, на основные показатели деятельности предприятия. Тогда, определив силу влияния этих факторов на основные показатели, можно выбрать те из них, влияние которых максимально. В таком случае, очевидно, за критерии оптимальности построения системы (а следовательно, и математической модели) ОКП необходимо взять достижение максимума (или минимума в зависимости от направления влияния) этими факторами.

Математическим аппаратом для определения величины и направления влияния различных факторов может быть метод множественного корреляционного анализа [3, 4, 5], Однако применение этого метода для линейных зависимостей ограничено требованием нормальности распределения совокупности исследуемых величин. Экономические показатели же, как правило, имеют ассиметричное распределение [6]. Таким образом, обработка исходной статистической информации может потребовать перехода к другой системе переменных, распределенных нормальным образом. Осуществление этого перехода возможно одним из несложных методов, описанных в [3].

Описание метода и алгоритма

Предлагаемый метод и алгоритм целесообразно использовать для планирования производства изделий, цикл производства которых меньше планируемого периода. Однако в конце будет приведен ряд условий, позволяющих снять это ограничение.

Прежде всего необходимо выбрать критерии метода оперативно-календарного планирования.

Деятельность предприятия оценивается рядом показателей, которые в свою очередь определяются большим числом факторов. Такими показателями являются, например: прибыль, уровень рентабельности, объемы товарной и реализованной продукции, себестоимость на 1 рубль товарной продукции и т. д.

Применяя методы статистического анализа, можно построить систему регрессионных уравнений, показывающую зависимость этих показателей от различных факторов, характеризующих деятельность предприятия и

вычислить коэффициенты частной корреляции. Среди большого числа факторов можно выделить группу, непосредственно связанных с существующей на предприятии системой планирования. По величине найденных коэффициентов частной корреляции можно некоторые из них, а именно с максимальным коэффициентом корреляции, считать критериями оптимальности при построении метода и разработке алгоритма оперативно-календарного планирования. Такими критериями явились: ритмичность работы, загрузка оборудования, соблюдение директивных сроков выпуска изделий.

Предлагаемый метод является оптимальным именно в смысле получения максимальных значений этих критериев.

За планируемый период принимается один месяц. Однако в начале удобно рассмотреть еще два соседних периода, предыдущий и последующий месяцы.

Итак, рассматриваем 3 месяца.

План составляется для 2-го месяца. Номенклатура и количество изделий, которые должен выпустить завод во 2 и 3-й месяцы, заданы.

Пусть, n_{i2} количество i -го изделия, которое необходимо выпустить во 2 месяце, n_{i3} соответственно в 3-м. Очевидно, что для равномерной работы в 3 месяце сборочных цехов завода, во 2 месяце необходимо заготовить такое число j -ой детали на i -ое изделие, чтобы его хватило до поступления этих деталей, изготовленных в 3-м месяце. То есть, если длительность производственного цикла j -ой детали равна t_j , то, принимая расход ее равномерным, получим

$$N_{ij} = (n_{i2} \cdot d_{ij}) + \frac{(n_{i3} \cdot d_{ij})}{T} t_j = d_{ij} \left(n_{i2} + \frac{t_j}{T} n_{i3} \right),$$

где N_{ij2} — количество j -ой детали для i -го изделия, которое необходимо изготовить во 2 месяце;

d_{ij} — применяемость j -ой детали в i -ом изделии;

T — планируемый период, в данном случае месяц.

Однако, нужно учесть, что при составлении плана на 1-й месяц в него было включено аналогичным образом рассчитанное число j -х деталей, обеспечивающих равномерность работы сборочных цехов во 2 месяце, то есть $\frac{t_j}{T} \cdot n_{i2}$, следовательно, эту часть нужно вычесть из программы 2-го месяца, то есть

$$N_{ij2} = d_{ij} \left(n_{i2} + \frac{t_j}{T} n_{i3} - \frac{t_j}{T} n_{i2} \right). \quad (1)$$

Очевидно, что в случае $n_{i3} = n_{i2} = n$, мы получим необходимость существования однажды созданного задела по каждой детали $\frac{t_j \cdot n \cdot d_{ij}}{T}$, равномерный их выпуск в течение любого месяца ($d_{ij}n$).

Далее будет рассматриваться общий случай (1).

При подобном методе, применяемом непрерывно, очевидно, что деталь, попавшая в план из слагаемого ($d_{ij} \cdot n_{i2}$), ничем не отличается, в смысле приоритета изготовления от детали из слагаемого $\left(d_{ij} n_{i2} \frac{t_j}{T} \right)$.

Ниже приводится метод составления недельного плана выпуска и запуска деталей, узлов и изделий в разрезе по цехам или участкам. (В дальнейшем под участком будет пониматься подразделение завода, выполняющее определенную технологическую операцию с данной деталью, узлом или изделием).

Пусть P_1, P_2, \dots, P_N совокупность изделий, изготовление которых необходимо произвести в установленный директивный период (квартал, месяц). В качестве планово-учетного периода принята пятидневка; предполагается, что весь программный период разбит на j пятидневок. Требуется сформировать календарный план работы предприятия, обеспечивающий

выпуск всей заданной номенклатуры изделий и предусматривающий равномерную загрузку имеющихся групп оборудования внутри каждой пятидневки всего программного периода.

Предполагается, что для всех изделий P_1, P_2, \dots, P_N , изготовление которых намечено в течение заданного директивного периода, построены стандартные сетевые графики $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$ [7]. Для каждой комплектующей данное изделие P_i ($i = 1, 2, \dots, N$) детали d_{ij} с помощью построенных сетевых графиков вводится величина K_n^{ij} , называемая коэффициентом напряженности выполнения работ и определяемая по следующему правилу:

$$K_n^{ij} = \frac{t(L_{ij})}{t L_{\max}}, \quad \left(\begin{matrix} i=1,2, \dots, N \\ j=1,2, \dots \end{matrix} \right), \quad (2)$$

где

$t(L_{ij})$ — продолжительность пути L_{ij} , соединяющего событие x_{ij} , состоящего в изготовлении комплектующей данное изделие P_i детали d_{ij} с событием x_n — завершением изготовления изделия P_i ;

$t(L_{\max})$ — продолжительность максимального из критических путей сетевых графиков $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$.

Как следует из (2), величина коэффициента напряженности для различных комплектующих деталей и узлов изделий P_1, P_2, \dots, P_N лежит в пределах

$$0 < K_n^{ij} \leq 1.$$

Коэффициент напряженности является одним из важнейших параметров предлагаемого метода календарного планирования. Величина коэффициента напряженности дает представление о степени срочности работ, позволяет установить очередность их выполнения при многотемности, то есть когда выполняемые работы принадлежат разным сетям; позволяет оценить, насколько свободно можно располагать имеющимися у них резервами времени.

С помощью введенного выше коэффициента напряженности все множество деталей и узлов, комплектующих для данных изделий P_1, P_2, \dots, P_N , разбивается на j массивов M_1, M_2, \dots, M_j (j — число пятидневок в программном периоде). Причем, изготовление деталей и узлов, попавших в тот или иной массив M_1, M_2, \dots, M_j , необходимо провести соответственно в 1, 2, ..., j -ю пятидневку директивного периода. Включение детали d_{ij} в тот или иной массив M_s ($s = 1, 2, \dots, j$) осуществляется на основании оценки с помощью коэффициента напряженности степени срочности изготовления этой детали и наличия у нее соответствующего для данной пятидневки s резерва времени.

Таким образом, целью первого этапа расчетов является формирование производственных заданий на каждый календарно-плановый период с удовлетворением двух основных критериев календарного планирования:

1) выполнение номенклатурного плана директивного периода на 100% (полностью);

2) соблюдение директивных сроков изготовления отдельных изделий.

Следующая важная стадия разработки календарного плана — организация и достижение ритмичной работы всех подразделений предприятия, что достигается путем равномерной загрузки оборудования, с достижением по возможности максимального значения последней.

Введем обозначения:

$$d_1^{(s)}, d_2^{(s)}, \dots, d_M^{(s)} \quad (3)$$

— совокупность деталей, изготовление которых необходимо провести в s -ю пятидневку директивного периода ($s = 1, 2, \dots, j$);

$n_1^{(s)}, \dots, n_M^{(s)}$ — соответствующие количества деталей (3);

$F_1^{(s)}, \dots, F_r^{(s)}$ — недельные фонды времени работы каждой группы оборудования в нормочасах;

j — шифр группы оборудования, на котором должна проходить операция i -ой детали ($i = 1, 2, \dots, M$);

t_{ij} — нормативная длительность j -ой операции i -ой детали.

Критерий, согласно которому все детали из (3) будут безусловно включены в план s -ой пятидневки, состоит в том, чтобы общая трудоемкость операций обработки этих деталей по каждому виду работ соответствовала имеющимся фондам времени работы оборудования $F_j^{(s)}$.

В соответствии с этим все детали из (3) будут включены в план s -ой пятидневки, если

$$\sum_{ij} t_{ij}^{(s)} n_i^{(s)} \leq F_j^{(s)}, \quad \left(\begin{matrix} i = 1, 2, \dots, r \\ j = 1, 2, \dots, M \end{matrix} \right). \quad (4)$$

Обозначим через $\Delta F_j^{(s)}$ часть календарного фонда времени, которая остается после включения в план s -ой пятидневки деталей из (3)

$$\Delta F_j^{(s)} = F_j^{(s)} - \sum_{ij} t_{ij}^{(s)} n_i^{(s)},$$

Остаток фонда $\Delta F_j^{(s)}$ необходимо свести к минимуму за счет добавления деталей из других массивов $M_1, \dots, M_{s-1}, M_{s+1}, \dots, M_f$.

Пусть $d_1^*, d_2^*, \dots, d_m^*$ (5) совокупность деталей, выпускаемых за счет этого остатка времени. Совокупность (5), согласно (4), должна удовлетворять условию

$$\sum_{\hat{i}j} n_{\hat{i}}^* t_{ij}^* \leq \Delta F_j^{(s)}$$

($j = 1, 2, \dots, r; s = 1, 2, \dots, f; \hat{i} = 1, 2, \dots, m$).

Рассмотрим вопрос о формировании совокупности деталей (5). В условиях реального производства осуществления запуска — выпуска деталей каждого типоразмера в виде партий — один из важнейших факторов, влияющих на экономику и организацию работы предприятия.

Величина партии определяется экономическими и техническими соображениями. При распределении производственной программы по календарно-плановым периодам следует в первую очередь руководствоваться сроками выпуска продукции, предусмотренными государственным планом. В пределах установленного директивного периода запуск — выпуск детали i -го типоразмера может осуществляться в виде серии с величиной партии n_i и $n_i^{\text{опт}}$, где n_i определено, исходя из потребности деталей i -го типоразмера на сборке, $n_i^{\text{опт}}$ — величина партии исходя из экономических соображений.

Из вышеизложенного следует критерий, согласно которому формируется массив (5) деталей и узлов, выпускаемых за счет остатка фонда $\Delta F_j^{(s)}$.

Деталь $d_{\hat{i}}^*$ в количестве $n_{\hat{i}}^*$ штук будет включена в массив (5), если с помощью этих деталей возможно доведение партии $\{n_i; d_i\}$ деталей d (где d_i деталь того же типоразмера, что и $d_{\hat{i}}^*$), запланированных к изготовлению в s -ой пятидневке до оптимальных размеров, то есть если

$$n_i + n_{\hat{i}}^* = n_i^{\text{опт}},$$

причем $n_{\hat{i}}^*$ должно быть кратно применяемости деталей в одном из изделий P_i .

Подобным образом осуществляется выравнивание нагрузки по всем календарно-плановым периодам.

В результате проводимых по предлагаемому методу расчетов выходная информация выдается в виде двух списков на каждую пятидневку: в первом — представлены детали, изготовление которых начинается в данную пятидневку, во втором — детали, изготовление которых полностью заканчивается в данную пятидневку.

Получаемое производственное задание на каждую пятидневку и исходная технологическая информация о изготовлении деталей позволяют провести составление календарного плана выпуска — запуска деталей внутри пятидневки.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. J. Arrow s. Karlin, H. Scari «Studier in the Mathematical Theory of Inventory and Production», Stanford Univesity Press, 1958
2. M. K. Starr, Production Management research, Operation Research, 6, 1958.
3. Я. И. Лукомский, Теория корреляции и ее применение к анализу производства, «Статистика» М., 1958.
4. Ф. М. Бородкин. Статистическая оценка связей экономических показателей, «Статистика» М., 1968.
5. Г. В. Осипов. Методика и техника статистической обработки первичной социологической информации, «Наука», М., 1968.
6. Сборник статей «Экономико-статистические исследования промышленного производства», «Статистика», М., 1969.
7. П. Л. Степанов, А. М. Ревин, А. И. Гудзенко, В. З. Ямпольский. Подготовка информации для решения задач оперативно-календарного планирования на ЭВМ, статья в настоящем сборнике.