

УДК 658.512.6.012.122

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО  
ПЛАНИРОВАНИЯ КРУПНОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА****В.В.Титов**

Решение задачи календарного планирования в её общей постановке [1], как известно, представляет значительную трудность, что задерживает практическое использование ЭВМ в оперативно-календарном планировании промышленных предприятий. Однако задача оперативно-календарного планирования, являясь столь важным и необходимым звеном в системе внутризаводского управления производством, практически решалась и решается на любом предприятии, хотя, может быть, далеко и неоптимальным образом. Это приводит к значительным дополнительным затратам производства. Поэтому имеет большое практическое значение внедрение в практику оперативно-календарного планирования простых приближенных методов решения проблемы, дающих значительный экономический эффект. При этом желательно иметь сравнение этого решения с оптимальным или близким к нему.

В данной заметке мы рассмотрим некоторую систему оперативно-календарного планирования для условий крупносерийного и массового производства.

полагаем, что основной производственный процесс осуществляется в цехах двух типов: заготовительных, кузнечно-прессовых и механосборочных. Мы рассмотрим сначала возможность использования решения задачи календарного планирования в её общей постановке для цехов второго типа, где все изделия проходят обработку на поточных или прямоточных линиях. На прямоточных линиях можно обрабатывать несколько (на поточных линиях, как правило,

одно изделие) изделий, имеющих одинаковую технологию производства. Решением задачи календарного планирования является нахождение очередности запуска (партий) изделий на прямочной линии, при которой общая длительность производственного цикла обработки была бы минимальной [2].

Рассмотрим пример (характерный для всех прямочных линий одного из заводов Новосибирска) обработки пяти одотипных изделий. Обозначим через  $t_{ij}$  плановые затраты времени на обработку изделия  $i$ ,  $i=1,2,\dots,m$ , по операции  $j$ ,  $j=1,2,\dots,n$ , с учетом перевыполнения норм выработки по группам оборудования. Зафиксируем какое-то изделие  $i_*$  и операцию  $j_*$ . Будем считать, что нам известны значения  $t_{i_*j}$ ,  $j=1,2,\dots,n$ , и  $t_{ij_*}$ ,  $i=1,2,\dots,m$ , а остальные определяем по формуле

$$h_{ij} = t_{i_*j} t_{ij_*} / t_{i_*j_*} \quad (1)$$

Далее рассчитываем процент отклонений значений  $h_{ij}$  от заданных

$$|t_{ij} - h_{ij}| / 100 / t_{ij}, \quad i \neq i_*, j \neq j_* \quad (2)$$

Для данной прямочной линии мы получили среднее отклонение значений  $h_{ij}$  от плановых на 4,8%, т.е. эти отклонения, видимо, являются скорее результатом неточности нормирования, чем действительным отклонением от пропорциональности затрат времени по операциям для данной группы изделий.

Таким образом, изменение очередности запуска изделий в производство на подобных прямочных линиях не улучшит технико-экономических показателей их работы, тем более, что затраты на переналадку оборудования при переходе производства с одного изделия на другое невелики или мало отличаются друг от друга.

Отсюда график выпуска изделий для цехов второго типа должен составляться, исходя из конкретных условий производства (обеспеченность металлом, материалами, уровень незавершенного производства и т.п.) и реализации продукции. Эти вопросы в данной заметке мы рассматривать не будем.

Полагаем, что мы имеем для механосборочных цехов график запуска-выпуска изделий. Необходимо построить график запуска-выпуска для заготовительных и кузнечно-прессовых цехов. Построение оптимального графика - сложнейшая задача. Для оптимизации последовательности запусков изделий в производство необходимо

выделить повторяющееся производство группы изделий, для которых был бы единый ритм запуска, а это практически сделать невозможно. Если все-таки найти оптимальную последовательность запуска без учета опережений и частных ритмов по изделиям, а затем рассчитать общее опережение запуска - выпуска для всего графика, то это приведет к значительному увеличению незавершенного производства. Сам же график оптимальной последовательности запуска дает незначительное сокращение общей длительности производственного цикла. Так расчеты, аналогичные (1) и (2), для 20 деталей (разнотипных, но имеющих одинаковую технологическую последовательность обработки в кузнечно-прессовом цехе) показали, что значения  $k_{ij}$  отличаются от плановых в среднем на 20,2%. Затраты на переналадку оборудования одинаковы для всей этой группы деталей. Поэтому все множество деталей можно разбить на такие группы деталей, которые имеют одинаковую технологию производства и проходят через одну и ту же лимитирующую группу оборудования, составленную из взаимозаменяемых станков. При этом если какая-то последовательность запуска партий деталей установлена, например, по ведущей операции (эта операция производится на лимитирующей группе оборудования), то она сохраняется до конца производственного процесса в данном цехе. Отсюда график загрузки оборудования по ведущей операции [3] может быть положен в основу системы оперативно-календарного планирования для цехов первого типа, и это подтверждается существующей практикой планирования (например, в кузнечно-прессовом цехе составляется только график загрузки молотов).

Таким образом, план-график загрузки ведущего оборудования будем составлять по отдельным группам, которым соответствует определенное подмножество деталей, что упрощает решение задачи. Ниже мы рассмотрим алгоритм составления такого план-графика.

Введем следующие обозначения:

$t_i$  - трудоемкость обработки (в днях, сменах) оптимальной партии деталей  $i$  вместе с подготовительно-заключительным временем наладки единицы оборудования (из ведущей группы),

$i = 1, 2, \dots, M,$

$P_i$  - оптимальный размер партии запуска деталей  $i$ ,

$q_i$  - количество запусков партий детали  $i$  в данном плановом периоде,

$\tau_i$  - ритм запуска партий детали  $i$ ,  
 $C_i$  - стоимость партии деталей  $i$ , прошедших полную обработку в данном цехе,

$\tau$  - момент времени в данном плановом периоде, с которого начинаем строить план-график загрузки оборудования и к которому должны иметь всю необходимую информацию [4] (календарно-плановые нормативы и др.),

$O_i$  - опережение запуска выпуска по детали  $i$  (дни, смены),

$B_i$  - обеспеченность цехов второго типа деталью  $i$  на момент времени  $\tau$ .

Обозначим через  $d_{iq}$  исходный ("идеальный") срок запуска  $q$ -ой,  $q=1, 2, \dots, q_i$ , партии деталей  $i$ , который определяется так

$$d_{iq} = d_{i1} + \tau_i (q-1), \quad q=1, 2, \dots, q_i, \quad (3)$$

$$d_{i1} = \tau + B_i - O_i, \quad i=1, 2, \dots, M, \quad (4)$$

при этом полагаем, что  $d_{i1} \geq \tau$  и  $\frac{1}{n} \sum_i t_i / \tau_i \leq 1$  (коэффициент загрузки  $n$  единиц оборудования), в противном случае необходимо сначала обеспечить выполнение этих условий.

Через  $x_{iq}$  обозначим отклонение реального срока запуска  $q$ -ой партии деталей  $i$ , обрабатываемой на одном из станков данной группы взаимозаменяемого оборудования, причем должны выполняться следующие условия:

$$d_{iq} - x_{iq} \geq \tau, \quad q=1, \quad (5)$$

$$x_{iq} \leq \tau_i - t_i, \quad i=1, 2, \dots, M. \quad (6)$$

Идеальный график  $G(d_{iq}, \tau_i, t_i)$  обеспечит выполнение плана производства, минимум незавершенного производства, но загрузка оборудования будет неравномерной (видимо, в некоторых случаях будет даже невозможно осуществить производство по такому графику). Следовательно, реальный график  $G(d_{iq} - x_{iq}, \tau_i, t_i)$  должен обеспечить равномерную загрузку оборудования при минимальных отклонениях от ритмичности. Надо отметить, что ритмичность производства является одним из важнейших условий достижения высоких технико-экономических показателей производства. Например, было получено следующее уравнение регрессии, отражающее выполнение производственного плана  $\pi$  (в %) в зависи-

ности от ритмичности производства  $R$  ( $R = 1 - g/y$ ;  $y$  - средний выпуск продукции за единицу времени (декаду),  $g$  - среднее квадратическое отклонение от среднего [5])

$$\pi = 84,2 + 34,9 \cdot R, \quad (7)$$

т.е. увеличение ритмичности на 0,1 позволяло увеличить товарный выпуск продукции на 3,5%.

В нашем случае будем считать, что плановая ритмичность производства будет оптимальной, если при построении графика загрузки оборудования мы выполним условия (5)-(6).

Уровень незавершенного производства  $K_i$  для каждой детали  $i$  может быть определен по следующей формуле:

$$K_i = \frac{1}{h_i} \left\{ \sum_{q=1}^{q_i} C_i x_{iq} + \begin{cases} C_{icp} P_i T_i^2 / z_i, & \text{если } z_i \geq T_i, \\ C_{icp} P_i T_i (1 + \frac{2(T_i - z_i)}{T_i}), & \text{если } z_i < T_i, \end{cases} \right\} \quad (8)$$

где  $h_i = x_{i1} + z_i(q_i - 1) + T_i$ ,

$C_{icp}$  - средняя стоимость партии деталей  $i$  при обработке в данном цехе,

$T_i$  - длительность производственного цикла обработки партии деталей  $i$ .

Как видим, основное увеличение уровня незавершенного производства будет определено выражением

$$\sum_{i,q} C_i x_{iq}. \quad (9)$$

Теперь переходим к алгоритму построения реального графика  $\tilde{G}$ . Пусть мы получили график  $G$ . Начинаем фиксировать в графике загрузки оборудования работы (обработка партии деталей) с такими индексами  $(i, q)$ , для которых выполняется следующее условие в графике  $G$ :

$$d_{iq} + t_i = \max, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad q = 1, 2, \dots, q_{i1} \quad (10)$$

где множество индексов  $i$  и  $q$  соответствует работам, ещё не зафиксированным в графике  $\tilde{G}$ . При этом не допускается исполнение одновременно на одном станке более одной работы, поэтому какие-то работы будут сдвинуты влево, что и определит значения  $x_{iq}$ . Как показали практические расчеты, данный алгоритм позволяет, в основном, выполнить условия (5) - (6), а увеличение уровня незавершенного производства (9) от оптималь-

ного незначительно. Это объясняется тем, что значения  $C_i$ , т.е. стоимости оптимальных партий деталей [6], мало отличаются (колебания не превосходят 10 - 20 %).

Построение графика загрузки ведущих групп оборудования может быть упрощено введением откорректированных размеров партий запуска (больших, чем оптимальные, т.к. уменьшение размера партий резко увеличивает затраты на переналадку), для которых значение  $t_i$  кратно продолжительности нескольких смен, что значительно упрощает планирование и организацию производства.

Далее, другой особенностью оптимальных размеров партий запуска (в условиях рассматриваемого предприятия) является небольшое различие значений  $t_i$ . Поэтому можно говорить о таких размерах партий запуска деталей (близких к оптимальным), для которых все значения  $t_i$  равны и кратны целому числу рабочих смен. Целесообразность таких партий запуска подтверждается существующей практикой организации производства.

В этом случае задача получения графика  $\bar{G}$  из  $G$  может быть сформулирована как транспортная задача линейного программирования. Обозначим через  $y_{i\mu}^q$  количество партий деталей  $i$   $q$ -ой очередности, запускаемых в производство в момент времени  $\mu$ , через  $C_{i\mu}$  обозначим затраты при запуске партии деталей  $i$  в момент времени  $\mu$ , причем  $C_{i\mu} = 0$ , если  $\mu = d_{iq}$ ; если  $\mu = d_{iq} - 1$ , то  $C_{i\mu} = C_i$ ;  $\mu = d_{iq} - 2$ ,  $C_{i\mu} = 2C_i$ ; ... ;  $\mu = d_{iq} - z_i$ ,  $C_{i\mu} = z_i C_i$ . Во всех остальных случаях  $C_{i\mu} = H$ , где  $H$  - большое число. Имеем следующую задачу линейного программирования.

Минимизировать

$$\sum_{i,q,\mu} C_{i\mu} y_{i\mu}^q, \quad i=1,2,\dots,M, q=1,2,\dots,q_i, \mu=\tau,\dots,T, \quad (11)$$

при условиях:

$$\sum_{\mu} y_{i\mu}^q = 1, \quad i=1,2,\dots,M, q=1,2,\dots,q_i, \quad (12)$$

$$\sum_{i,q} y_{i\mu}^q \leq n, \quad \mu = \tau, \tau+1, \dots, T, \quad (13)$$

где  $T$  - наибольший срок запуска последней партии деталей в графике  $G$ ,

$n$  - количество станков в рассматриваемой группе оборудования.

Таким образом, решение задачи оперативно-календарного планирования как вручную, так и с помощью вычислительной техники,

может быть оперативным, что в условиях производства очень важно, а результаты решения приближают в значительной степени к оптимальному функционированию системы оперативно-календарного планирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лурье А.Л., О некоторых задачах календарного планирования. Проблемы кибернетики, 1962, № 7, 201-208.
2. Петров В.А., Соколицин С.А., Построение оптимального календарного плана обработки деталей на групповых поточных линиях упрощенными математическими методами. Математико-экономические проблемы. Л., 1963, 66-82.
3. Думлер С.А., Управление производством и кибернетика. М., Машиностроение, 1969.
4. Татевосов К.Г., Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. М.-Л., Машиностроение, 1965.
5. Рабинович М.П., Резервы предприятия и статистика. М., Статистика, 1967.
6. Титов В.В., Определение оптимальных размеров партий запуска деталей в производство. Оптимальное планирование. В.16, Новосибирск, Наука, 1970. 69-76.

поступила в ред.-изд. отд.

14.IV. 1972 г.