

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА «НА СКЛАД»

Португал В. М.

(Одесса)

Статья посвящена математическому моделированию одного из самых распространенных способов оперативного планирования производства — планирования «на склад». Предложенные в статье модели позволяют выявить ряд закономерностей и создать обоснованные методики оптимального оперативного планирования для данного способа.

Разнообразие серийного производства требует применения в нем различных принципов оперативного планирования. Одним из наиболее широко используемых является принцип планирования «на склад». На нем основано несколько систем, уже разработанных и внедренных в крупно- и среднесерийном регулярном производстве [1], а также позволяет его обобщить и на нерегулярное серийное. Однако делается это без достаточного экономического обоснования. Системы планирования «на склад», комплектно обеспечивая сборки, вызывают резкие неравномерности в использовании трудовых ресурсов, фактически переходя в системы планирования «от дефицита сборки». Кроме того, часто необоснованно увеличиваются объемы незавершенного производства на складах. Эти вопросы требуют дополнительного изучения.

Ниже предложено несколько моделей планирования «на склад», исследование которых дает возможность по-новому осветить проблемы, возникающие в производстве, и в некоторых случаях предложить довольно простые их решения.

1. ЗАДАЧА С РЕГУЛЯРНЫМ ВЫПУСКОМ

Системы планирования «на склад» обычно предлагается применять в следующих случаях. Предприятие производит регулярно один или несколько видов продукции, так что планы выпуска по учетным периодам одинаковы. Например, станкостроительный завод каждый день выпускает определенное количество станков одного или нескольких типов. Между обрабатывающей и сборочной стадиями производства организуется склад, обычно называемый центральным комплектующим или складом готовых деталей. Он ежедневно должен выдавать одинаковый комплект деталей, необходимых для обеспечения сборки. Назовем это производством с регулярным выпуском. Пополнение склада обеспечивается партиями деталей, причем размеры партий обосновываются внутриэкономическими особенностями их изготовления и поэтому различны. Партия деталей, как правило, обеспечивает потребности сборки на несколько дней. Поэтому планирование обрабатывающего производства осуществляется на принципах, сходных с управлением запасами. В план производства включаются те детали, по которым прогнозируется дефицит на складе.

Рассмотрим следующий пример.

В план вошли пять деталей (см. табл. 1).

Как видно, остаток деталей на складе обеспечивает сборку на ближайший период. Поэтому для бесперебойной работы сборки в план следующего планово-учетного периода необходимо ввести, как минимум,

Таблица 1

№ детали	Трудоемкость изготовления партии, нормо-ч.	Размер партии, шт.	Потребность сборки, шт.	Остаток на складе, шт.
1	1,5	12	6	6
2	4,0	36	12	24
3	14,0	14	7	7
4	3,0	16	8	8
5	3,0	18	6	12

изготовление деталей 1—4. Легко определить и последующие минимальные планы. По данным табл. 1 легко подсчитать и среднюю загрузку обрабатывающих подразделений за планово-учетный период. Она равна 12,9 нормо-ч.

График плановой загрузки обрабатывающего подразделения представлен на рис. 1, который показывает, что максимальная перегрузка обрабатывающего подразделения достигает 74% необходимой загрузки, а средняя — 46%, эти перегрузки сопровождаются соответствующими недогрузками, причем полностью остается в стороне вопрос об объективно необходимом объеме незавершенного производства.

Если учесть, что в реальном производстве в комплект сборки включаются сотни деталей, становится ясно, что контроль загрузки и незавершенного производства может показать довольно существенные отклонения от объективно необходимых значений. Заметим, что большие перегрузки производственных ресурсов, заложенные в плане, обычно приводят просто к невыполнению плановых заданий. Это в свою очередь приводит к дефициту на сборке и к диспетчерским «дефициткам», минуя систему оперативного планирования. Тогда система в основном начинает работать не «на склад», а на «дефицит».

Производство, не очень сложное, можно представить, как в примере, в виде одной обрабатывающей стадии, работающей «на склад» (назовем его одностадийным). В более сложных случаях нужно учитывать несколько стадий, разделенных складами, скажем, рассматривать схему: заготовительное производство — склад — механообрабатывающее производство — склад — предварительная сборка — склад — окончательная сборка. Такое производство назовем многостадийным.

Ясно, что целью моделирования процесса оперативного планирования должно быть решение следующих задач:

каким образом составлять планы для каждой стадии производственного процесса;

какими должны быть запасы на складах.

Ограничениями здесь выступают бесперебойное обеспечение сборки и производственные мощности. В принципе, ясны и критерии этих оптимизационных задач. Это — минимизация объема незавершенного производства и равномерность загрузки ресурсов всех стадий производственного процесса [2].

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОСТАДИЙНОГО ПРОЦЕССА С РЕГУЛЯРНЫМ ВЫПУСКОМ

Модель одностадийного производства достаточно подробно освещена в [2]. Приведем основные результаты ее анализа, существенные для понимания остальных моделей.

Рассматривается подразделение серийного производства (цех, участок), регулярно изготавливающее детали нескольких наименований,

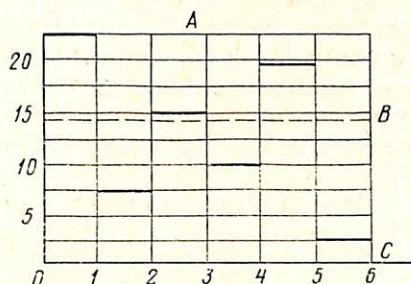


Рис. 1. Изменение загрузки ресурсов: A — уровень загрузки, нормо-ч; B — средняя загрузка; C — номер планово-учетного периода

которые после обработки поступают на склад, а затем с заданным темпом передаются на сборку. Предполагается, что детали производятся партиями, величина которых фиксирована и экономически обоснована [3], с использованием нескольких типов ресурсов. По каждой партии деталей задано нормативное время их затрат.

В качестве ресурса может выступать группа оборудования, линия, бригада, группа рабочих однородной специальности и пр. Обозначим через $J = \{1, \dots, n\}$ — множество индексов ресурсов, $I = \{1, \dots, m\}$ — множество индексов деталей, b_i — размер партии деталей i , $i \in I$, d_i — потребность сборки в деталях i за планово-учетный период $i \in I$, t_{ij} — затраты ресурса j (в нормативном времени) на изготовление детали i . Номинальная мощность ресурса p_j в серийном производстве рассчитывается из следующего балансового условия

$$p_j = \sum_{i=1}^m t_{ij} d_i, \quad j \in J. \quad (1)$$

Необходимо для данного подразделения на планово-учетный период сформировать производственную программу, т. е. определить, какие партии деталей множества I надо изготавливать.

Ясно, что если $b_i \leq d_i$, то деталь безусловно включается в производственную программу. Считая, что такие детали уже включены, уменьшим мощности ресурсов на величину, требуемую для их изготовления, и будем решать задачу по деталям, для которых $b_i > d_i$.

Сформулируем математическую модель. Введем переменную y_{it} , равную единице, если партия деталей i включается в программу периода t , и равную нулю — в противном случае. На начало каждого планово-учетного периода на складе имеется определенный запас деталей r_{it} , необходимый для обеспечения потребностей сборки. Поскольку детали, изготовленные за период, складываются лишь в его конце, постольку $r_{it} \geq d_i$, $i \in I$.

Модель имеет вид

$$y_{it} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m t_{ij} b_i y_{it} \leq p_j, \quad j \in J, \quad (3)$$

$$r_{it+1} = r_{it} - d_i + b_i y_{it+1}, \quad i \in I, \quad (4)$$

$$r_{it} \geq d_i, \quad i \in I. \quad (5)$$

Ограничение (3) — ресурсное, (4) отражает баланс движения запаса деталей на складе.

Задача заключается в определении набора переменных $y_t = \{y_{1t}, \dots, y_{it}, \dots, y_{mt}\}$, удовлетворяющего ограничениям (3) и задающего производственную программу на планово-учетный период t .

Решая уравнения системы (2) — (5) для каждого периода t , получаем производственную программу. Возможность решения системы для каждого из последующих периодов существенно зависит от ее решения для предыдущего периода. При этом либо может наступить период t , для которого решение (2) — (5) отсутствует, так как нарушается ограничение (5), либо всегда существует вектор y_t , удовлетворяющий (2) — (5). Тогда процесс производства, описываемый данной моделью, может продолжаться бесконечно. Если набор векторов y_t всегда существует, назовем его стратегией производства $Y = \{y_t\}$.

Исследование модели (2) — (5) позволило получить следующие результаты.

1. Для приведенной модели в общем случае стратегии производства не существует. Она имеет место лишь для некоторых частных случаев, когда между t_{ij} , b_i и d_i соблюдаются соотношения, описанные в [2]. Экономическая интерпретация этого результата такова: если необходимые мощности рассчитываются из условия баланса (1), то непрерывность производственного процесса гарантировать нельзя. Непрерывный процесс

возможен, причем очень неустойчивый к нарушениям, только если выдерживаются специальные условия пропорциональности между размерами потребности, партиями и нормативами трудоемкости.

2. Достаточным условием существования стратегии является некоторый избыток мощностей, постоянный $x_j \geq 0$ или временный $x_{jt} \geq 0$. Тогда ограничение (3) должно быть записано как

$$\sum_i t_{ij} b_i y_{it} \leq p_j + x_{jt}, \quad j \in J. \quad (6)$$

Среди стратегий производства разумно выделить класс таких, при которых запасы на складе не растут бесконечно, а ограничены некоторой величиной. Такие стратегии названы стационарными.

3. Показано, что (при разумном предположении: b_i, d_i — целые) стационарные стратегии являются циклическими, т. е. имеется такой период T , состоящий из α планово-учетных периодов, при котором $y_t = y_{t+\alpha}$.

Циклические стратегии хороши тем, что позволяют при исследовании модели перейти от бесконечного времени к конечному его отрезку вполне определенной длины.

4. Важное место в классе циклических занимают стратегии, предусматривающие включение в план таких и только таких деталей, по которым остатки на складе удовлетворяют неравенству $d_i \leq r_{it} < 2d_i, i \in I$. Экономическая интерпретация: в план периода t включаются детали, по которым, если их не изготовить, в периоде $t+1$ образуется дефицит. Эти стратегии названы D -стратегиями.

Заметим, что каждая D -стратегия полностью определяется начальным запасом на складе, а при разных начальных запасах будут разные D -стратегии. Эта стратегия интересна тем, что при ее применении средний запас деталей на складе за весь цикл будет минимальным на множестве стратегий, реализуемых с заданным начальным запасом. Таким образом, D -стратегии реализуют планирование, оптимальное с позиции минимизации незавершенного производства.

Всякая D -стратегия в терминах модели (2) — (5) — матрица размерности $m \times \alpha$, строки которой представляют собой периодические кортежи из нулей и единиц. Разные D -стратегии образуются циклическими сдвигами строк и требуют различных начальных запасов деталей на складе. Для оптимизации планов могут быть предложены такие критерии:

$$F_1 = \sum_{t=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^n c_j x_{jt} \rightarrow \min,$$

$$F_2 = \max_{1 \leq t \leq \alpha} \sum_{j=1}^n c_j x_{jt} \rightarrow \min,$$

где c_j — затраты на использование единицы ресурса j за один период. Учитывая специфику матрицы стратегий Y , оптимизация производится с помощью довольно нетрудоемких переборных алгоритмов, предложенных в [2].

Указанные результаты приводят к обоснованию следующей методики планирования одностадийного регулярного серийного производства.

1. Определяются величины $\alpha_i = b_i/d_i, i \in I$, где α_i показывает, на сколько планово-учетных периодов участок обеспечил сборку деталями i .

2. Определяется T — цикл планирования, состоящий из α планово-учетных периодов, где α — наименьшее целое число, которое делится на любое α_i без остатка; $\beta_i = \alpha/\alpha_i$ — число необходимых запусков детали i за период T .

3. Формируется матрица D -стратегий Y . Ее строка представляет собой стратегию производства детали i за цикл T . Она состоит из α нулей и единиц. Строка формируется следующим образом:

а) предполагаем, что остаток деталей на складе в начале первого планово-учетного периода r_{i1} обеспечивает работу сборки только на один планово-учетный период, т. е. $r_{i1} = d_i, i \in I$;

б) элемент строки

$$y_{it} = \begin{cases} 1, & d_i \leq r_{it-1} < 2d_i, \\ 0, & r_{it} \geq 2d_i; \end{cases}$$

в) включив в план детали с $y_{it}=1$, получаем новые r_{it} и т. д.

Матрица Y представляет собой D -стратегию производства, удовлетворяющую модели (2) — (5), в которой ограничение (3) заменено на (6). На основе этой матрицы можно построить другие матрицы D -стратегии, удовлетворяющие этим же ограничениям с помощью циклических сдвигов строк.

4. Из всех матриц D -стратегии выбираем оптимальную по критерию F_1 либо F_2 . Обсуждение трудоемкости алгоритма перебора и возможностей отсечений проведено в [2].

Выбранная матрица представляет собой оптимальный, так называемый стандарт-план [1]. В завершение несложно рассчитать начальные запасы на складе, необходимые для реализации оптимального стандарт-плана.

Рассмотрим процесс расчетов по методике на примере, приведенном в табл. 1.

1) $\alpha_1=2, \alpha_2=1,5, \alpha_3=2, \alpha_4=2, \alpha_5=3$;

2) $T=6, \beta_1=3, \beta_2=4, \beta_3=3, \beta_4=3, \beta_5=2$;

3) матрица Y , соответствующая плану, представленному на рис. 1,

$$Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

4) оптимальная матрица $\bar{Y}$

$$\bar{Y} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСТАДИЙНОГО ПРОЦЕССА С РЕГУЛЯРНЫМ ВЫПУСКОМ

Рассмотрим производство, состоящее из нескольких стадий $q, q=1, \dots, K$, обрабатывающих одни и те же детали. Каждая стадия q отделена от следующей складом $q, q=1, \dots, K$. Последняя стадия K работает на склад готовых деталей K , с которого комплекты деталей с заданным темпом d_i поступают на сборку.

Здесь проблемы планирования более сложны, поскольку кроме взаимодействия «производство — сборка» необходимо учитывать взаимодействие между стадиями, т. е. планировать оборотные заделы на промежуточных складах.

Стадия $q, q=1, \dots, K$, использует для работы запас, имеющийся на складе $(q-1)$ в начале планово-учетного периода, и передает его на склад q в его конце.

Моделирование данного процесса проводится по аналогии с одностадийным производством, но с соответствующими обобщениями.

Для каждой стадии q составляем систему ограничений типа (2) — (5), в которой в качестве переменных выступают величины y_{it}^q . Такая величина равна единице, если партия деталей i включается в производственную программу стадии q в период t , и равна нулю — в противном случае. Полученные K систем и являются математической моделью производства. В соотношениях, аналогичных (3), p_j^q рассчитаны из соответствующего

балансового соотношения типа (1). Связь между системами осуществляется через склады, т. е. соотношения типа (4) и (5) выглядят так

$$r_{it+1}^q = r_{it}^q - b_i y_{it}^{q+1} + b_i y_{it}^q, \quad q = 1, \dots, K-1,$$

$$r_{it}^K = r_{it}^K - d_i + b_i y_{it}^K.$$

$$r_{it}^q \geq b_i y_{it}^{q+1}, \quad q = 1, K-1,$$

$$r_{it}^K \geq d_i \quad \forall i \in I, \quad t = 0, 1, \dots$$

Решением общей системы будет набор переменных $\{y_{it}^q\}$. Для данного подразделения q набор векторов $y_i^q = \{y_i^q, \dots, y_i^q\}$ задает стратегию производства.

Определим так же, как это сделано в одностадийной модели, стационарную, циклическую и D -стратегию для каждой стадии. Применительно к ней справедливы все выводы, полученные для одностадийного производства. В частности, ясно, что баланс мощностей, полученный из соотношений типа (1), не гарантирует внутри стадии непрерывности производства и для ее обеспечения нужен некоторый избыток мощности. Поэтому записанные для общей модели ограничения типа (3) должны быть переписаны в виде, аналогичном (6), как

$$\sum_i t_{ij} b_i y_{it}^q \leq p_j^q + x_j^q.$$

Это соотношение, с одной стороны, является необходимым условием непрерывности производственного процесса, с другой — определяет направление оптимизации.

Однако для общей многостадийной модели, как уже упоминалось, есть и свои, специфические проблемы. Сформулируем их.

Можно доказать, что для любой наперед заданной стационарной стратегии производства существует такой начальный запас на складах, который обеспечивает ее реализуемость. Несложно рассчитать минимальный объем этого запаса, который с учетом динамики его колебаний в процессе производства определит средний (по времени) объем незавершенного производства на складах (оборотный задел).

Итак, каждой стратегии соответствует необходимый для ее реализации оборотный задел. И первая проблема заключается в выявлении его минимальной величины. Напомним, что одна из компонент этого задела минимизируется при реализации D -стратегии для каждой детали на каждой стадии производства. Другая компонента определяется динамикой перехода от данной стадии к следующей.

Проблема решается довольно просто. В практике используется система планирования по опережениям, когда отдельные элементы технологического цикла совершаются с одинаковым сдвигом по времени, например на один планово-учетный период. Такую стратегию назовем синхронной. В обозначениях модели синхронной является стратегия, в которой компоненты векторов y_i^q повторяются в последующем подразделении со сдвигом на один планово-учетный период, т. е. $y_{it}^q = y_{it-1}^{q-1}$. При реализации такой стратегии объем оборотного задела будет минимальным.

Следовательно, для минимизации оборотного задела необходимо оптимизировать процесс производства на одной из стадий, например последней, а для остальных стадий задать синхронную стратегию с соответствующими опережениями. Но при этом возникает другая проблема. Стратегия, оптимальная для одной стадии, не будет таковой для других. Более того, с учетом случайности параметров t_{ij} , b_i , d_i она может создать резкие неравномерности в использовании ресурсов на этих стадиях. Как же рационально использовать ресурсы производства на каждой стадии? Для этого надо решить для каждой стадии оптимизационную задачу по критерию максимизации равномерности использования ресурсов на множестве D -стратегий, подобно показанному ранее. Ясно, что в общем слу-

Таблица 2

№ детали	Трудоемкость изготовления партии деталей в цехах		Размер партии, шт.	Потребность, шт.
	1, нормо-ч	2, нормо-ч		
1	0,3	0,5	100	50
2	0,4	0,18	120	60
3	0,25	0,15	90	30
4	0,05	0,13	820	410
5	0,1	0,31	120	40

чае, стратегия для производства в целом окажется несинхронной, и объемом оборотного задела не будет минимальным.

Рассмотрим ситуацию на примере двухстадийного производства (см. табл. 2). Рассматриваются циклические D -стратегии, с циклом $\alpha=6$ плано-учетных периодов.

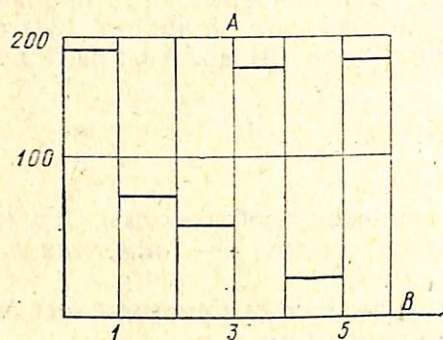


Рис. 2

Рис. 2. Изменение загрузки ресурсов (синхронная стратегия): A — уровень загрузки, %; B — номер плано-учетного периода

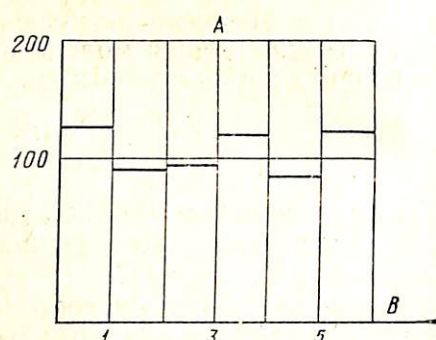


Рис. 3

Рис. 3. Изменение загрузки ресурсов (оптимально-несинхронная стратегия): A — уровень загрузки, %; B — номер плано-учетного периода

На рис. 2 приведен график изменения загрузки ресурсов цехов при синхронной стратегии; максимальная перегрузка — 80, средняя — 25%. На рис. 3 изображен график оптимальной загрузки ресурсов; максимальная перегрузка — 15, средняя — 5,8%. Стратегия, естественно, несинхронная.

Дилемма многостадийного производства такова: либо применять синхронную стратегию с минимальным объемом оборотного задела, либо работать по несинхронной стратегии с максимально равномерным использованием ресурсов. Конечно, есть и третья возможность: поставить и решить общую оптимизационную задачу для всех K систем, сформулировав критерий в виде функции совокупных затрат на привлечение дополнительных ресурсов и содержание оборотного задела. Однако она имеет чисто теоретическое значение из-за большой трудоемкости решения такой задачи и некорректности сопоставления в рамках существующего экономического механизма затрат на оборудование, зарплату, незавершенное производство.

Простота расчета календарных планов делает предпочтительной первую альтернативу. Но что означает синхронная стратегия, планирующая резкую неравномерность загрузки ресурсов? Конечно, в любом производстве имеются резервы. Поэтому при незначительных перегрузках с планом можно справиться. Но при больших планы не выполняются и нарушается непрерывность производственного (цикла) процесса. Так что при планируемой синхронной стратегии фактически реализуется несинхронная, случайная, определяемая параметрами t_{ij} , b_i , d_i и наличными ресур-

сами. В результате и производство работает с дефицитом сборки и на складах накапливается некомплектный задел.

Вторая альтернатива представляется более разумной и заключается в следующем. Для каждой стадии производственного процесса нужно рассчитать оптимальный план. Он же определит графики изменения оборотных заделов на складах и загрузки ресурсов. Обеспечив максимально необходимую перегрузку ресурсов, мы тем самым гарантируем непрерывность производственного процесса, правда, при некотором увеличении объема оборотных заделов. Это увеличение можно признать объективным.

Конечно, внедрение такой системы планирования требует трудоемких оптимизационных расчетов. Но наличие вычислительной техники вполне позволяет их осуществлять, тем более, что эти расчеты имеют разовый характер и заново проводить их надо лишь при изменениях производственной программы, т. е. применительно к регулярному серийному производству не чаще 1 раза в год.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА С НЕРЕГУЛЯРНЫМ ВЫПУСКОМ

Изложенные ранее результаты можно обобщить и на случай серийного производства с нерегулярным выпуском. Покажем это на примере одностадийного производства.

Сохраним уже введенные обозначения: $I = \{1, \dots, m\}$ — множество индексов деталей, $J = \{1, \dots, n\}$ — множество индексов ресурсов, t_{ij} — нормативное время обработки партии деталей размером b_i , r_{it} — запас деталей на складе на начало периода t . Но вместо постоянной потребности сборки введем план выпуска Π_{it} , $i \in I$, вообще говоря, различный для разных планово-учетных периодов t , $t \in T = \{1, \dots, T_0\}$.

Номинальная мощность ресурсов p_j будет рассчитываться из соотношения

$$p_j = \sum_{i=1}^m t_{ij} \Pi_{it}, \quad j \in J.$$

Поскольку план на каждый учетный период задается сбалансированным по производственным мощностям, постольку плановая потребность в ресурсах p_j для всех таких периодов предполагается одинаковой. Не будем углубляться в обсуждение корректности этого, тем более что предположение введено для наглядности модели и мало влияет на результаты исследования.

Принимая во внимание сказанное по поводу предыдущей модели, считаем, что

$$b_i > \Pi_{it}, \quad i \in I, \quad t \in T.$$

Новая модель будет иметь вид, аналогичный (2) — (5).

$$y_{it} = \begin{cases} 1, & \text{если партия деталей } i \text{ включена} \\ & \text{в план производства в период } t, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (7)$$

$$\sum_i t_{ij} b_i y_{it} \leq p_j, \quad j \in J, \quad (8)$$

$$r_{it+1} = r_{it} - \Pi_{it} + b_i y_{it}, \quad i \in I, \quad (9)$$

$$r_{it} \geq \Pi_{it}. \quad (10)$$

Задача заключается в определении производственной программы — набора переменных $\{y_{it}\}$, удовлетворяющих ограничениям (7) — (10).

Подобно использованному применительно к (2) введем понятия стратегии производства и стационарной стратегии. Можно доказать, что по модели (7) — (10) в общем случае такой стратегии не существует. Достаточным условием обратного является наличие некоторого избытка мощ-

ностей $x_j t \geq 0$, т. е. замена ограничения (8) на

$$\sum_i t_{ij} b_{ij} y_{it} \leq p_j + x_{jt}, \quad j \in J. \quad (11)$$

Однако дальнейший анализ модели (7) — (10) с ограничением (11) во многом отличен от аналогичного анализа модели (2) — (5).

Во-первых, если Π_{it} не цикличен по t , то и план также не цикличен. Поскольку решение задач на неограниченном временном интервале довольно сложно, введем, как это делается на практике, некоторый период T , который является по смыслу планово-учетным более высокого уровня системы оперативно-производственного планирования [2]. Этот уровень и задает планы Π_{it} для $t \in T$.

Во-вторых структура плана Π_{it} , $i \in I$, $t \in T$, а также соотношения Π_{it} и b_i также определяют особенности анализа. Здесь имеется в виду общий объем производства деталей i в плане, частота повторяемости элементов Π_{it} с одинаковым индексом i в различные периоды t и пр. Ясно, что выявленной в прежней модели периодичности структуры строк матрицы Y теперь наблюдаться не будет и все упрощения расчетов, связанные с этим фактом, отпадают.

Тем не менее и здесь необходимо поставить оптимизационные задачи по тем же критериям минимизации:

- 1) объема оборотных заделов (незавершенного производства);
- 2) использования дополнительных ресурсов (с F_1 или F_2).

Задача минимизации объема оборотных заделов решается по довольно простому алгоритму, соответствующему принятой в практике методике планирования «по опережениям». Этот алгоритм подобен формированию D -стратегии. Однако при его реализации может возникнуть (и чаще всего возникает) резкая неравномерность в использовании ресурсов. Это означает, как и в предыдущем случае, нереальность плана, который, как правило, не будет выполняться.

Заметим, что именно так обстоит дело с наиболее распространенной пока методикой планирования «по опережениям». Решение же задачи оптимизации ресурсов и на множестве D -стратегий, и на всем множестве стратегий требует довольно трудоемких алгоритмов булевого программирования. Для практики можно рекомендовать их эвристические аналоги. Общую задачу минимизации затрат на содержание оборотных заделов и привлечение дополнительных ресурсов, как и в ситуации регулярного выпуска, решать не следует по тем же причинам: пока экономически неясна сопоставимость этих затрат.

Итак, применительно к серийному производству с нерегулярным выпуском имеет смысл следующая методика. Задача планирования решается с двумя критериями методом последовательных уступок [2]: сначала по критерию минимизации объема незавершенного производства получается оптимальный план — аналог D -стратегии, затем с помощью эвристического алгоритма осуществляются сдвиги производства отдельных деталей на более ранние сроки с целью выравнивания загрузки ресурсов. Однако это эффективно лишь для процессов с нерегулярным выпуском в серийном производстве, где повторяемость одних и тех же деталей в плане велика, а количество деталей мало. Это значительно облегчает вычисления. В мелкосерийном и индивидуальном производстве следует применять другие методы оперативно-производственного планирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оперативное планирование производства на машиностроительном заводе. М.: Машиностроение, 1966.
2. Португал В. М., Семенов А. И. Модели планирования на предприятии. М.: Наука, 1978.
3. Золотарев А. Н. Календарно-плановые расчеты серийного производства. Киев: Наук. думка, 1975.

Поступила в редакцию
19 XII 1989