

5. Оптимальный план отрасли. М., «Экономика», 1970.
 6. А. Б. Помапский, А. Д. Шапиро. Об итеративных методах решения отраслевых задач, содержащих дискретные переменные. В сб.: Модели и алгоритмы оптимального планирования. Вып. II. М., 1967 (ЦЭМИ АН СССР).

Поступила в редакцию
28.V.1970

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ ПРОИЗВОДСТВА МАССОВЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Н. П. ХАБЕРЕВ

(Горький)

Задача управления участками изготовления массовых тонкопленочных резисторов с большой номенклатурой номинальных величин сопротивления является многовариантной и состоит в выборе технологических режимов и заготовок, получаемых разными способами нанесения пленки со случайными распределениями сопротивления.

Участки специализированы на выпуске резисторов определенных типов (МЛТ, ВС и др.) с определенной мощностью рассеяния тока и являются узловыми для всего производства, так как на них предопределяется выполнение плана по большой номенклатуре номинальных величин сопротивления. Различия в технологическом процессе изготовления разных типоразмеров резисторов не имеют существенного значения, поэтому в качестве примера можно рассмотреть любой из участков, например, производство резисторов МЛТ-0,5 вт. На участок поступают заготовки для нанесения резистивной пленки способами $i = 1, 2, \dots, m$, в объемах x_i . Для каждого способа рекомендованы определенные диапазоны получаемого сопротивления R заготовок, частично перекрывающие друг друга и включающие ряд номиналов. Вследствие случайных колебаний режимов нанесения пленки распределение сопротивления случайно. Установлен стационарный характер для его разных способов и определены

законы $f_i(R_{\text{заг}})$ распределения. Интенсивность $P_i = x_i / \sum_{i=1}^m x_i$ применения i -х способов может изменяться, т. е. общий закон распределения $F(R_{\text{заг}})$ является суперпозицией частных законов

$$F(R_{\text{заг}}) = \sum_{i=1}^m P_i f_i(R_{\text{заг}}). \quad (1)$$

После нанесения пленки, партии, не смешиваясь, проходят ряд операций, которые практически не изменяют величины сопротивления, с вероятностью выхода годных — $P(i)$. Затем заготовки сортируются на большое количество групп $j = 1, 2, \dots, r$, соответствующих геометрическому ряду шкалы сопротивления, составляя текущий запас s_j . Условная вероятность попадания i -х заготовок в j -ю группу — $P(j/i)$. Группы j из кладовой могут направляться на нарезку номиналов $R_{\text{ном}}$ с номерами $k = 1, 2, \dots, n$.

Операция нарезки спиральной канавки на резистивном слое позволяет увеличить сопротивление заготовки на несколько порядков в соответствии с выбранным шагом нарезки h . Трудоемкость и производственные затраты на нарезке зависят от шага. Нарезаемый номинал $R_{\text{ном}}$, сопротивление $R_{\text{заг}}$ и шаг нарезки, являющийся функцией $h = \Phi(R_{\text{ном}}/R_{\text{заг}})$, задаются при запуске партий по специальным таблицам нарезки. Область N допустимых для нарезки заготовок ограничена определенными шагами h_{min} и h_{max} . Любой номинал k_a можно получить из большого количества j -х групп, а j -ю группу — использовать для нарезки разных номиналов, т. е. задача выбора технологических режимов и планирования запуска на нарезку является многовариантной. Так, для резисторов типа МЛТ-0,5 в области допустимых заготовок содержится свыше 3000 элементарных объемов запуска вида z_{jk} , каждый из которых принимает любое значение от 0 до величины объема выпуска w_k .

Ассортимент выпуска может иметь значительные колебания в зависимости от опроса, многократных коррекций плана производства и носит случайный характер

В конце планового периода в комплекточной кладовой возникают запасы j -х групп в объемах z_j . Выход годных при нарезке k -го номинала зависит от используемой группы j и задается условной вероятностью $p(k/j)$.

Для каждой операции и технологического способа могут быть заданы некоторые характеристики (трудоемкость, расценки, расход материалов, суммарные производственные затраты на изделие и др.). В связи с взаимозаменяемостью оборудования для разных способов обработки могут быть заданы пропускная способность и необходимая загрузка всего оборудования на каждой операции в виде фонда времени или объема потока.

Задача оптимального планирования и управления участком нарезки состоит в определении объемов потоков $x_i, z_j, z_{j,k}$, запускаемых на операции по разным вариантам технологических способов.

В [1] такая задача была рассмотрена, но без учета многовариантности запуска групп заготовок на нарезку. В [2] приводятся некоторые математические методы планирования многономенклатурных производств, к которым был отнесен данный участок, ряд ограничений и возможных критериев оптимальности, которые явились основой при составлении описываемой модели.

Расчет объемов выпуска для цепной последовательности операций от получения пленки до сортировки i -х заготовок не вызывает затруднений

$$\mu_i = x_i P(i), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Количество деталей, попадающих в j -ю группу при сортировке i -х заготовок: $\sigma_{i,j} = \mu_i P(j/i)$. Так как полная вероятность попадания i -х заготовок в j -ю группу $P(i,j) = P(i)P(j/i)$, то

$$\sigma_{i,j} = x_i P(i,j), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, r. \quad (3)$$

Для j -х групп в комплекточной кладовой можно составить уравнения транспортных потоков

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{i,j} + s_j = \sum_{k=1}^n z_{j,k} + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad \text{или}$$

$$\sum_{i=1}^m x_i P(i,j) + s_j = \sum_{k=1}^n z_{j,k} + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, r. \quad (4)$$

Здесь и в дальнейшем $x_i \geq 0$; $z_{j,k} \geq 0$; $z_j \geq 0$. Ожидаемые объемы выпуска k -х номиналов (суммирование по столбцам области N)

$$v_k = \sum_{j=1}^r z_{j,k} P(k/j), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) составляют основную систему уравнений транспортных потоков на участках, в которую в качестве переменных вошли лишь объемы запуска на многовариантные операции и ожидаемые объемы выпуска v_k . Эта система позволяет поставить задачу оптимального планирования и управления на участке как задачу линейного программирования [3].

Из (4) непосредственно следует

$$-\sum_{i=1}^m x_i P(i,j) + \sum_{k=1}^n z_{j,k} + z_j = s_j, \quad j = 1, 2, \dots, r. \quad (6)$$

Важным условием является выполнение плана по общему объему выпуска

$$\sum_{k=1}^n v_k \geq W_{\min} \quad \text{или}$$

$$\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n z_{j,k} P(k/j) \geq W_{\min}, \quad (7)$$

а также выполнение плана по всей или основной номенклатуре изделий и необходимость сократить выпуск некоторых изделий, не находящихся сбыта: $w_{k \min} \leq v_k \leq w_{k \max}$ или

$$w_{k \min} \leq \sum_{j=1}^r z_{j,k} P(k/j) \leq w_{k \max}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

В качестве других условий могут приниматься односторонние или двусторонние ограничения, связанные с пропускной способностью и необходимой загрузкой оборудования для получения пленки, сортировки и нарезки соответственно

$$M_{\min} \leq \sum_{i=1}^m t_i^M x_i \leq M_{\max}, \quad (9)$$

$$S_{\min} \leq \sum_{i=1}^m t_i^S x_i P(i) \leq S_{\max}, \quad (10)$$

$$N_{\min} \leq \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n t_{j,k} z_{j,k} \leq N_{\max}, \quad (11)$$

где t_i^M — трудоемкость получения пленки i -м способом; t_i^S — трудоемкость сортировки i -х заготовок; $t_{j,k}$ — трудоемкость нарезки k -го номинала из j -й группы; M_{\min} , S_{\min} , N_{\min} — необходимая загрузка оборудования; M_{\max} , S_{\max} , N_{\max} — фонды времени оборудования.

При необходимости в условия задачи нетрудно ввести ограничения по фонду заработной платы, по лимитам дефицитных материалов и др.

Наличие в системе двусторонних ограничений при определенных значениях исходных данных может привести к несовместности системы, если оно соответствует существующим диспропорциям или низким технологическим возможностям производства (например, большой план по некоторым номиналам при низкой вероятности выхода заготовок нужных групп может оказаться несовместным с пропускной способностью операции нанесения пленки). Эти противоречия могут быть устранены лишь путем расшивки узких мест, ликвидации излишнего оборудования или изменения плана по номенклатуре.

Вопрос о выборе достаточно эффективного и общего критерия оптимальности является сложным. По нашему мнению, на разных предприятиях и в разные периоды времени следует применять разные критерии.

В модели предусмотрено использование в качестве целевой функции наиболее общей формы, в которую входят все переменные основной системы уравнений транспортных потоков

$$\Phi_{\max} = \pm \sum_{i=1}^m d_i x_i \pm \sum_{j=1}^r d_j z_j \pm \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^r d_{j,k} z_{j,k}. \quad (12)$$

Знаки и коэффициенты при переменных могут меняться в зависимости от конкретного экономического содержания целевой функции. Можно, например, придать целевой функции содержание прямых производственных затрат на участке

$$\Phi_{\max} = - \sum_{i=1}^m d_i x_i - \sum_{j=1}^r d_j z_j - \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n d_{j,k} z_{j,k}, \quad (13)$$

где d_i — затраты на операциях от нанесения пленки до сортировки заготовки, запускаемой i -м способом; d_j — затраты на хранение сортированной заготовки j -й группы; $d_{j,k}$ — затраты на нарезку k -го номинала из j -й группы.

В (13) объемы выпуска оказываются на минимально возможном уровне, и, чтобы устранить недостатки этой функции, можно (12) интерпретировать как функцию условной прибыли

$$\Phi_{\max} = - \sum_{i=1}^m d_i x_i - \sum_{j=1}^r d_j z_j + \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n d_{j,k} z_{j,k}. \quad (14)$$

В отличие от (13) здесь в d_i включается стоимость поступающих заготовок, а $d_{j,k}$ — разница между ценой реализации k -го номинала и затратами на его изготовление из j -й группы. В ряде случаев можно использовать более простые функции, например, при перерасходе фонда заработной платы

$$\Phi_{\max} = - \sum_{i=1}^m d_i x_i - \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n d_{j,k} z_{j,k}, \quad (15)$$

где d_i — суммарная расценка операций от нанесения пленки до сортировки заготовки, запускаемой i -м способом; $d_{j,k}$ — расценка за нарезку k -го номинала из j -й группы. При необходимости снижения стоимости незавершенного производства

$$\Phi_{\max} = - \sum_{j=1}^r d_j z_j, \quad (16)$$

при возникновении больших сверхнормативных запасов заготовок

$$\Phi_{\max} = - \sum_{j=1}^r z_j, \quad (17)$$

при опасности невыполнения плана по общему объему выпуска

$$\Phi_{\max} = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n z_{j,k} P(k/j). \quad (18)$$

Если узким местом оказывается операция нарезки (отсутствие кадров, выход из строя оборудования и др.), то для его «расшивки» можно определить минимально необходимую пропускную способность этой операции

$$\Phi_{\max} = - \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n t_{j,k} z_{j,k}. \quad (19)$$

Вследствие низких технологических возможностей операции нанесения пленки и при необходимости обеспечить выпуск нужных номиналов можно определить минимально необходимую пропускную способность данной операции

$$\Phi_{\max} = - \sum_{i=1}^m t_i^M x_i. \quad (20)$$

Выбранная система ограничений и система целевых функций позволяют достаточно гибко реагировать на различные производственные ситуации. При полном учете всех рассмотренных условий (6) — (11) размер матрицы коэффициентов при переменных в задаче линейного программирования превышает 450×3600 и ее решение на ЭВМ средней мощности вызывает большие технические трудности [4].

Значительное упрощение модели достигнуто путем укрупнения исходных групп j и номиналов k . При сокращении числа групп заготовок от r до r' и групп номиналов от n до n' количество условий вида (6) сокращается в r/r' раз; вида (8) — в n/n' раз, а переменных $(z_{j,k}) \in N$ — не менее чем в $rn/r'n'$ раз.

Трудоемкость и производственные затраты на нарезке в пределах укрупненных групп изменяются незначительно, и такое упрощение дает очень близкое приближение к оптимуму. Задача решается на ЭВМ «Урал-11» симплекс-методом с мультипликативным представлением обратной матрицы по программе, составленной Е. П. Шиповым. Вся исходная информация размещается в оперативной памяти. Время решения задачи вместе с вводом исходных данных и выводом на печать не превышает 12 мин. Система оптимального планирования и управления прошла опытную проверку на одном из участков сортировки — нарезки резисторов ОМЛТ-0,5 *вт*.

Ввиду того, что участок металлизации — армирования является общим для разных участков нарезки, модель была упрощена снятием ограничений (9).

Условно-постоянной информацией в системе являются: $P(i)$ — вероятность выхода годных i -х заготовок после металлизации — армирования; $P(i, j)$ — вероятность по-

падания i -х заготовок в j -ю группу; $P(k/j)$ — условная вероятность выхода годных после нарезки k -го номинала из j -й группы; $t_i^M, t_i^S, t_{j,k}$ — трудоемкость изготовления на операциях металлзации — армирования, сортировки и нарезки; $d_i, d_j, d_{j,k}$ — коэффициенты при переменных в целевой функции, изменяющиеся в зависимости от производственной ситуации (расценки, суммарные затраты, цена реализации и др.).

Эти данные периодически корректируются по мере накопления учетных статистических данных и в зависимости от тренда случайных процессов, вызываемого, например, различиями в качестве исходных материалов, сезонными колебаниями и др. Переменная информация на стадии планирования состоит из: $w_{k \min}, w_{k \max}$ — ограничений по выпуску k -х номиналов; W_{\min} — общего объема выпуска; $S_{\min}, S_{\max}, N_{\min}, N_{\max}$ — ограничений по фонду времени оборудования; s_j — запасов заготовок j -й группы на начало планового периода.

На стадии оперативного управления используется та же модель, но в качестве исходных данных вводятся: $w'_{k \min}, w'_{k \max}, w'_{\min}$ — разница между планами вы-

пуска и фактическим его выполнением; $S'_{\min}, S'_{\max}, N'_{\min}, N'_{\max}$ — необходимая загрузка и фонд времени оборудования, оставшиеся до конца планового периода; s'_j — запасы заготовок j -й группы в момент корректировки плана.

При оперативном управлении результатами расчета являются планы запуска от момента корректировки до конца планового периода. Проведение таких многократных расчетов в течение планового периода (5—6 раз в месяц) позволяет уточнять планы запуска в зависимости от колебаний спроса, изменений производственной ситуации и избежать возможных ошибок, связанных со случайным характером процессов.

Таблица 1

План и учет запуска — выпуска на сортировке

Режим металлзации	План запуска	Ожидаемый выпуск по группам								Отходы	План выпуска
		1'	2'	j'	r'		
1											
...											
i											
...											
m											
Итого											
Запасы											
Всего											

Результаты расчета выводятся на печать в виде табуляграмм планов запуска-выпуска на операциях (табл. 1 и 2). В соответствии с инструкцией, разработанной для участка, в табуляграммы вносятся и все учетные данные о фактическом запуске, выпуске и распределении заготовок по группам.

Опыт применения модели показал, что некоторые отклонения фактического распределения заготовок по группам после металлзации от ожидаемого не влияли на оптимальность решения благодаря большой многовариантности запуска на нарезку и оперативным коррекциям планов запуска на металлзацию.

Применение модели на участке позволило: полностью ликвидировать сверхнормативные запасы заготовок; увеличить производительность операции нарезки и общий объем выпуска резисторов; обеспечить выполнение плана по важнейшей номенклатуре; избежать накопления недефицитных номиналов, а также улучшить ряд других технико-экономических показателей.

Учет технологических возможностей и стохастичности процессов в модели позволяет повысить управляемость производством и обеспечить более направленный выпуск изделий с необходимыми качественными признаками. В этом смысле модель ре-

Таблица 2

План и учет запуска — выпуска на нарезке

Группа номиналов	План запуска	Запуск из групп								Отходы	План выпуска
		1'	2'	j'	r'		
1'											
...											
k'											
...											
n'											
Итого											
Остатки											
Всего											

шает проблему взаимосвязи технологии, организации производства и качества продукции.

Дальнейшее расширение описанной модели на другие участки производства может явиться основой для создания автоматизированной подсистемы оперативно-производственного планирования и управления на предприятиях массового производства тонкопленочных резисторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Березкин. Некоторые проблемы календарного планирования массового производства с вероятностным характером выпуска изделий. Автореферат. Л., 1970 (Сев.-Зап. заочн. политехн. ин-т).
2. Н. П. Хабарев. Некоторые вопросы оптимального планирования многоменклатурных производств электронной техники. В сб. Электронная техника, серия 10, вып. 7 (24). М., 1968.
3. С. И. Зуховицкий, Л. И. Авдеева. Линейное и выпуклое программирование. М., «Наука», 1967.
4. У. Х. Малков. Обзор программ решения общей задачи линейного программирования. Экономика и матем. методы, 1969, т. V, вып. 4.

Поступила в редакцию
22 X 1969

МОДЕЛЬ ОБНОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БУРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)

В. С. БЛИНЧЕВСКИЙ

(Москва)

Постановка задачи о замене оборудования крупного предприятия или отрасли изложена в [1]. В данной работе на примере бурового предприятия она решается иначе. Уточним ее постановку.

Предположим, что в текущий момент буровое предприятие имеет определенное число работающих машин разных возрастов и типов. Путем прогнозирования установлен объем производимых им работ в последующие несколько лет, а также технико-экономические характеристики машин. Задача состоит в определении оптимальной программы замены машин и (или) увеличении их числа в начале каждого года так, чтобы выполнить предполагаемый объем работ с минимальными приведенными затратами за планируемый период.

Введем обозначения: t — время (в годах), отсчитываемое от начала отрезка планирования; n — величина отрезка планирования; $s(t)$ — план работ на $(t + 1)$ -й год на