

## О СОСТАВЛЕНИИ РАСПИСАНИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ШТАМПОВОЧНОМ УЧАСТКЕ

В. М. РЕЙДЕР, Ю. Н. ЕФИМОВ

(Представлена научным семинаром вычислительной лаборатории НИИ АЭМ)

В работе [1] описывается автоматизированная система управления предприятием (АСУП) с дискретным характером производства. Разработанная в этой системе экономико-математическая модель различает состояние производства только до уровня межцехового маршрута каждого элемента конструкции товарных изделий предприятия. Формируемые системой оперативно-календарные планы гарантируют синхронную работу всех подразделений предприятия в интересах выполнения директивного плана выпуска товарной продукции в установленные сроки с одновременным обеспечением пропорциональных заделов и минимизацией незавершенного производства. Однако дальнейшее оперативное управление за реализацией оперативных «машинных» планов вызывает необходимость более детализированного расписания работы подразделения на уровне деталиеопераций. Одному из возможных вариантов решения этой задачи для штамповочного участка механического цеха и посвящена настоящая работа.

**Постановка задачи.** Рассматривается производственный участок (штамповочный), на оборудовании которого  $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_r\}$  производится обработка множества деталей  $I = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_n\}$ . Каждая группа оборудования  $q = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_r\}$  содержит  $r$  однотипных станков (пресса) с одинаковой производительностью. Для каждой  $i \in I$  известен технологический маршрут на участке, состоящий из списка операций  $i$ , времени обработки  $i$ -й детали по  $j$ -й операции  $t_{ij}$  и времени настройки станка на данную деталиеоперацию  $t_{ij}^n$ . Пусть детали  $i \in I^q$ , закрепленные по своему технологическому маршруту за какой-либо группой оборудования  $q$ , могут обрабатываться с одинаковой экономической эффективностью на любом из принадлежащих к данной группе станков. В любой момент времени на любом  $s \in Q$  может обрабатываться только одна  $i \in I^q$ . Обработка деталей на участке может осуществляться от одной партии до квартальной программы. Эта специфика объясняется тем, что штамповочный участок находится в ряду производственных подразделений первым по технологическому маршруту обрабатываемых деталей.

Задан план запуска  $P_i^3(t)$  деталей на обработку, указывающий календарные сроки (дни) запуска  $i \in I$  в количестве, равном одной партии  $m_i$ .

Требуется построить такое расписание обработки деталей, которое сводило бы к минимуму издержки производства, связанные с простоем оборудования, при условии обеспечения заданного темпа поступления деталей в следующие по технологическому маршруту производственные

подразделения. Таким образом, в качестве целевой функции принимается величина

$$F = \min \sum_{q=1}^f \sum_{s=1}^r T_s^q,$$

где  $T_s^q$  — время простоя  $s$ -го станка  $q$ -й группы оборудования.

Необходимо отметить, что в рассматриваемой задаче не минимизируются издержки производства, связанные с пролеживанием межоперационного оборотного задела, поскольку для данного участка они незначительны по сравнению с издержками, возникающими в связи со срывом сроков выпуска продукции, с простоем оборудования и его переналадкой.

### Допущения

1. Не рассматриваются детали, возвращающиеся по своему технологическому маршруту из других участков.
2. Для всех  $q \in Q$   $q_f \cap q_p = \emptyset$  при  $f \neq p$ .
3. Запрещается взаимозаменяемость станков разных групп, т. е.

$$I^{qf} \cap I^{qp} = \emptyset.$$

4. Обработка деталей ведется в количестве кратном  $m_i$ .

**Алгоритм.** Предлагаемый алгоритм решения задачи составления расписания построен путем дискретного динамического моделирования работы участка с использованием функции предпочтения, отдающей приоритет при установлении очередности претендентам, имеющим меньший запас времени на обработку [2, 3]. При составлении расписания используется процедура пошагового конструирования оптимального варианта, состоящая из семи этапов.

**1-й этап.** Для каждой детали по заданному календарному плану запуска вычисляется количество партий  $k_i^{\max}$ , подлежащее обработке в течение планируемого периода, а также суммарное операционное время, требующееся на обработку каждой  $m_i$  по всему технологическому маршруту

$$T_i^m = \sum_{j=1}^k (\tau_{ij}^m + t_{ij}^n),$$

где  $k$  — число операций технологического маршрута;  $\tau_{ij}^m = \tau_{ij} \cdot m_i$  — время обработки одной партии деталей. Определяется длительность производственного цикла обработки партии каждой детали на участке  $T_i = \beta_i T_i^y$ , где  $T_i^y$  — длительность производственного цикла обработки  $i \in I$  в цеху;  $\beta_i$  — доля длительности производственного цикла обработки детали на участке от общецеховой, определяющаяся путем экспертных оценок.

Введем следующие переменные:  $t$  — текущее время,  $0 < t < T$ , где  $T$  — длительность планируемого периода;  $n_i^1$  — число партий, требующих запуск в течение длительности производственного цикла;  $v$  — текущий номер рабочего дня;  $k_{ij}$  — количество партий  $i$ -й детали, подлежащих обработке на  $j$ -й операции.

Выполним:  $n_i^1 = 0$  для всех  $i \in I$ ;  $t = 0$ ;  $v = 1$ ;  $k_{ij} = 0$  для всех  $j \neq 1$ ;  $k_{i1} = k_i^{\max}$ .

**2-й этап.** Формируем подмножество  $I^v \subset I$  деталей, имеющих запуск в  $v$ -день. Для каждой  $i \in I$ , не обрабатываемых в данное время, вычисляется функция предпочтения

$$f_i = \frac{T_i}{T_i^m}.$$

Если некоторые  $i \in I$  уже поставлены на обработку по какой-либо опера-

ции определяется возможность обработки еще одной детали по этой же операции, если обрабатываемая дета́леоперация отслеживается функцией предпочтения, то выполняется  $n_{\tau}^i = n_{\tau}^{i-1} + 1$ , иначе корректируется значение функции предпочтения по следующей формуле:

$$f_{ij} = \frac{T_i}{T_i^m - \sum_{j=1}^{\gamma} \tau_{ij}^m + t_{ij}^n},$$

где  $\gamma$  — число операций, по которым деталь уже прошла обработку.

**3-й этап.** Анализируется занятость каждой группы оборудования. Если в некоторой  $q \in Q$  имеются свободные  $s \in q$ , то устанавливаются на обработку  $I_q \subset I$ , удовлетворяющие следующему условию:

$$f_{ij} = \frac{\min_{i \in I_q} \left[ \frac{T_i}{T_i^m} \right]}{1}.$$

**4-й этап.** Для некоторого момента времени  $t + \delta t$  формируется подмножество  $I^q \subset I$ , состоящее из деталей, обработка которых на очередной операции  $j$  закончена. Очевидно, что для этих деталей должно выполняться неравенство:

$$\tau_{ij}^m = \tau_{ij}^m - \delta t \leq 0.$$

Для сформированного множества  $I^q$  выполняется

$$k_{ij} = k_{ij} - 1, \text{ при этом:}$$

а) если  $k_{ij}^{\max} = 0$  и  $j+1 = \emptyset$ , то фиксируется факт окончания выполнения квартальной программы по  $i$ -й детали;

б) если  $k_{ij} > 0$ , то продолжается обработка следующей партии по той же операции и вычисляется значение

$$\tau_{ij}^m = \tau_{ij}^m - (\delta t - \tau_{ij}^c),$$

где  $\tau_{ij}^c$  — время, необходимое для окончания обработки дета́леоперации после предыдущей отсечки  $\delta t$ ; причем при  $n_{\tau}^i \neq 0$  вычисляется функция предпочтения

$$f_{ij} = \frac{T_i - T_k}{T_i^m},$$

где  $T_k$  — отставание запуска данной партии от планового срока;

в) если  $j+1 = \emptyset$ , выполняется  $k_{i,j+1} = k_{i,j} + 1$ .

Следует заметить, что станки, освобожденные после обработки и не загруженные вновь, фиксируются как свободные.

**5-й этап.** Для деталей, имеющих  $f_{ij} \neq 0$ , корректируется функция предпочтения

$$f_{ij} \begin{cases} \frac{T_i}{T_i^m - \delta t} & \text{если деталь обрабатывалась в течение времени;} \\ \frac{T_i - \delta t}{T_i^m} & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Деталям, не обрабатываемым в течение  $\delta t$  и имеющим  $f_{ij} \geq f_{ij}^k$ , где  $f_{ij}^k$  — критическое значение функции предпочтения, присваивается метка «аварийности». Помеченными деталями занимается свободное оборудование, если оно имеется, в противном случае среди занятого оборудования освобождается станок, на котором создан наибольший запас деталей для последующей операции.

**6-й этап.** Выполняется  $t = t + \delta t$ . При  $t < t_d$ , где  $t_d$  — длительность рабочего дня, переходим к 3-му этапу.

**7-й этап.** Проверяется на окончание планируемый период составле-

ния расписания  $v \geq T$ . При выполнении указанного неравенства составление расписания оканчивается. В противном случае выполняется  $v = v + 1$  и осуществляется переход к этапу 2-му.

**Замечание.** Значение  $f_{ij}^k$  однозначно может определиться в процессе практической реализации алгоритма. Чем ближе  $f_{ij}^k$  к единице, тем вероятность обработки еще одной партии деталей без настройки станка выше, а значит, тем выше эффективность использования оборудования. Однако  $f_{ij}^k \rightarrow 1$  увеличивает вероятность срыва срока выпуска деталей для следующего производственного подразделения.

В заключение необходимо отметить, что длительность планового периода  $T$ , на которое составляется расписание, подлежит исследованию на основании опытной проверки алгоритма. Очевидно, что чем менее  $T$ , тем точнее будет отслеживаться динамика производства; однако слишком малое  $T$  исключает предварительную информацию о предстоящих работах, что в свою очередь не дает возможности заранее подготовить технологическую оснастку и инструмент. Кроме того, при малых значениях  $T$  составленное расписание становится слабо помехозащищенным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Ефимов, В. И. Кизев, В. И. Невраев, П. А. Седелников. Основные принципы построения и функционирования АСУП-ТОМСК. «Известия ТПИ» (в печати).
2. С. А. Думлер. Моделирующий алгоритм составления календарного графика. Математические методы в организации и экономике производства. «Машиностроение», 1966.
3. В. М. Рейдер, Ю. Н. Ефимов, А. И. Зайцев. Моделирующий алгоритм составления расписания обработки деталей. Сборник докладов VI научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. г. Томск, 1969.