

Г.А. Мартиросян, Н.Г. Мустафин

ОБ ОБНОВ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО  
ПЛАНИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

(г. Ленинград)

Резкое возрастание роли и значимости испытаний как главного источника объективной информации о качестве и техническом уровне изделий, активизировало обсуждение вопросов, связанных с созданием автоматизированных систем испытаний [1,6]. По своей структуре такие системы являются иерархическими [2]. На нижнем уровне по характеристикам они приближаются к АСУ технологическими процессами а на верхнем уровне в силу необходимости решения задач управления испытательным центром (ИЦ), являющимся одной из форм организации испытаний в производственных условиях, - к организационно-экономическим системам.

В статье рассматривается одна из основных задач верхнего уровня - задача календарного планирования (КП) климатических испытаний в предположении, что ресурсы ИЦ достаточны для выполнения планового задания. Она предназначена для получения оптимальной, в некотором смысле, последовательности (календарного плана) выполнения испытательных операций (ИОп).

Процессам проведения климатических испытаний на ИЦ присущи следующие характерные особенности: многофазность (до десяти ИОп над каждой партией изделий); большая продолжительность программы испытаний (от нескольких часов до нескольких суток); дискретность; многономенклатурность (сотни партий изделий в течение месяца); многоагрегатность (несколько десятков единиц испытательного оборудования); возможность одновременного испытания различных изделий в одной и той же камере испытательного оборудования (ИОб).

Следует отметить, что все вышеперечисленные особенности кроме второго и шестого характерны для производственного процесса участков единичного и мелкосерийного производства [5,7]. При построении календарных планов работы таких участков преобладает эвристический подход [4,5,7]. Соответствующие алгоритмы базируются на моделях простого процесса обслуживания, для которых существенны следующие ограничения [4,7]:

каждая операция может быть назначена в любой момент времени,

т.е. машины не могут быть недоступными из-за неисправностей, ремонта, аттестации и т.п. причин;

существует только по одной машине каждого типа;

каждая операция выполняется только одной машиной;

одновременно не могут выполняться две операции одной и той же работы;

не допускается прерывание операций;

работы представляют собой строго упорядоченные последовательности операций;

в каждый момент времени машина может выполнять не более одной операции.

Заметим, что в силу второго, третьего и седьмого ограничений календарные планы, построенные этими алгоритмами, определяют распределение деталей операций с точностью до групп оборудования. Конкретное же распределение деталей операций между отдельными единицами оборудования осуществляются при составлении сменно-суточного задания участка. В этих условиях при выполнении каждой операции в среднем половина соответствующей группы оборудования будет простаивать в течение интервала, равного нормативно-штучному времени выполнения одной детали операции.

Для участков единичного и мелкосерийного производства отмеченный недостаток моделей простого процесса обслуживания пренебрегается в связи с небольшим значением нормативно-штучного времени выполнения детали операции. Однако это нецелесообразно при решении задачи КП климатических испытаний, поскольку ИОп имеет большую продолжительность. Следовательно, в условиях ИЦ второе и третье ограничения простого процесса обслуживания должны быть сняты. Такой подход приводит, с одной стороны, к необходимости разрешения вопроса о распределении ИОп по единицам ИОб, а с другой стороны, к сильному увеличению размерности решаемой задачи и, как следствие, алгоритмы эвристического подхода теряют главное достоинство - простоту в реализации.

В связи с этим возникает необходимость разработки некоторого другого метода для решения задачи КП климатических испытаний. На основе целей создания автоматизированных систем испытаний [ I ] и с учетом вышеизложенного она формулируется следующим образом: для каждой ИОп определить, на какие группы разбивать партии изделий и на какой единице ИОб, начиная с какого момента времени какую группу испытать так, чтобы на данном ИЦ обеспечить минимальную стоимость испытаний, требуемую точность и достоверность

результатов испытаний, осуществляя при этом выполнение планового задания ИЦ с соблюдением плановых сроков запуска изделий.

Модель КП климатических испытаний, т.е. формальное описание сформулированной задачи, имеет следующий вид:

$$\sum_{\ell=1}^L C_{\ell} T_{\ell} + \sum_{i=1}^I \rho_i \max\{0, \hat{t}_i - \bar{t}_i\} \rightarrow \min_{x, t} \quad (1)$$

$$\text{при условиях } Y_1(x) \geq 0; \quad (2)$$

$$Y_2(t) \geq 0, \quad (3)$$

где  $C_{\ell}$  - почасовая стоимость эксплуатации  $\ell$ -й единицы ИОб;

$T_{\ell} = \sum_{i=\ell} \sum_{j=1}^{y_i} \tau_{ij\ell} x_{ij\ell}$  - продолжительность эксплуатации  $\ell$ -й единицы ИОб;

$\tau_{ij\ell}$  - время выполнения ИОп с номером  $(i, j)$  на  $\ell$ -й единице ИОб;

$x = \{x_{ij\ell}\}$  - матрица кратностей использования ИОб при выполнении ИОп;

$\rho_i$  - штраф за нарушение срока выпуска  $i$ -й партии на единицу времени;

$\hat{t}_i = \max_{\{j, k\}} \{t_{ijk} + \tau_{ij\ell}\}$  - фактический момент выпуска изделий  $i$ -й партии (связь между индексами  $\ell$  и  $x$  поддерживается матрицей  $x$ );

$t = \{t_{ijk}\}$  - матрица моментов начала ИОп над группами изделий;

$\bar{t}$  - плановый срок выпуска  $i$ -й партии;

условие (2) определяет порядок назначения ИОб и представляет собой систему ограничений известной распределительной задачи с запретами;

условие (3) определяет область допустимых значений моментов начала ИОп и представляет собой систему ограничений, образующихся требованием соблюдения планового срока запуска партий ( $\bar{t}_i, i = \overline{1, I}$ ) и ограничениями 1, 5 - 7 простого процесса обслуживания. Отсутствие четвертого ограничения этого процесса указывает на параллельно-последовательный способ выполнения ИОп, что приводит к сокращению величины межоперационного пролеживания изделий.

В модели (1)-(3) отчетливо видна разделяемость неизвестных величин  $x = \{x_{ij\ell}\}$  и  $t = \{t_{ijk}\}$ . Элементы матрицы  $x$  в явном виде фигурируют только в условии (2) и первом слагаемом целевой функции, образующих распределительную задачу с запретами, а элементы матрицы  $t$  - в условии (3) и втором слагаемом целевой функции, образующих известную задачу упорядочения с директивными

сроками. Такая структурная особенность модели подсказывает, что для решения исходной задачи можно использовать метод ее разложения, основанный на вышеуказанной разделяемости неизвестных величин, с выделением и введением специальных переменных - параметров, обеспечивающих координируемость вышеупомянутых задач. В соответствии с этим методом разработана процедура решения задачи КП климатических испытаний, имеющая двухуровневую иерархическую структуру.

На нижнем уровне решаются две задачи. Сначала задача формирования и распределения групп изделий по единицам ИОб, в которой посредством введения параметров  $\{\bar{X}_{ne}\}$ , где  $\bar{X}_{ne}$  - пропускная способность  $\ell$ -й единицы ИОб для ИОп с номером  $n$ , учитываются плановые сроки запуска и выпуска партий. Следует отметить, что уменьшение значений  $\bar{X}_{ne}$ ,  $\ell = \bar{1}, \bar{\ell}$  способствует сокращению времени выполнения ИОп с номером  $n$ . Данная задача представляет собой распределительную задачу с ограниченными пропускными способностями коммуникаций:

$$C_1 = \sum_{n=1}^{\nu} \sum_{\ell=1}^{\bar{\ell}} C_{ne} X_{ne} \rightarrow \min_X \quad (4)$$

при условиях (2) и

$$0 \leq X_{ne} \leq \bar{X}_{ne}, \quad (5)$$

где  $n = \sum_{k=1}^{\nu} \nu_k + j$  - номер ИОп;

$$C_{ne} = C_e \tau_{ne};$$

$$\bar{X}_{ne} = \left[ \frac{\bar{t}_n}{\tau_{ne}} \right];$$

$$\bar{t}_n = \bar{t}_{ij} = \frac{\tau_{ij}(\bar{t}_i - \bar{t}_i)}{\sum_{i=1}^{\nu} \tau_{ij}} \quad - \text{ время, выделенное для выполнения ИОп с номером } n;$$

$\tau_{ij}$  - требуемое время выполнения ИОп с номером  $(i, j)$ .

Задача решается известными методами (см., например, работу [3]).

Заметим, что значение  $C_1^*$  - решение задачи (4), (2) - есть нижняя граница функции (1).

Затем задача упорядочения ИОп

$$C_2 = \sum_{i=1}^{\bar{t}} p_i \max \{0, \hat{t}_i - \bar{t}_i\} \rightarrow \min_t \quad (6)$$

при условии (3).

Для ее решения используется эвристический алгоритм, базирующийся на моделях простого процесса обслуживания. При организации этого процесса в алгоритме в качестве ограничений выступают матри-

ца  $X^* = \{X_{nc}^*\}$  - решение первой задачи - и условие (3). Конфликтные ситуации разрешаются с помощью следующего правила: приоритет заявки равен отношению временного резерва партии (разность между допустимой оставшейся длительности пребывания и оставшейся длительностью обслуживания) к величине штрафа за нарушение срока ее выпуска. В этой задаче  $\rho_i$ ,  $\underline{t}_i$  и  $\bar{t}_i$  выделяются как параметры

На верхнем уровне проверяется выполнение условия

$$1 - \frac{C_1^*}{C_1 + C_2} \leq \varepsilon, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  - заранее заданная точность решения исходной задачи.

Если условие (7) выполняется, то решение задачи получено, в противном случае определяются запаздывающие партии. Для этих партий в диалоговом режиме корректируются параметры  $\rho_i$ ,  $\underline{t}_i$ ,  $\bar{t}_i$  и  $X_{nc}$ . Итерационный процесс продолжается до получения результата удовлетворяющего условию (7), либо прерывается лицом, принимающим решение.

Таким образом, предложенный подход, в рамках которого решение задачи обеспечивается изложенной процедурой, позволяет, в отличие от эвристического подхода, исключить длительное простаивание ИОБ и сократить величину межоперационного пролеживания изделий, что приводит к снижению стоимости испытаний.

#### Библиографический список

1. Автоматизированные системы испытаний. Основные положения: Методические рекомендации. М.:ВНИИС, 1984.-45 с.
2. Автоматизированные системы управления экспериментом/Под ред. В.Я.Советова. Л.:ЛЭТИ, 1980.- 80 с.
3. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задача линейного программирования транспортного типа. М.:Наука, 1969. - 384 с.
4. Конвей Р., Максвелл В., Миллел Л. Теория расписаний/Пер. с англ.; Под ред. Г.П.Башарина. М.:Наука, 1975.- 360 с.
5. Тютюкин В.К. Математические методы календарного планирования. Л.:Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. - 196 с.
6. Удовиченко Е.Т., Койфман Ю.И., Кальман И.Г. Проблемы и программа создания гибких автоматизированных испытательных систем// Стандарты и качество, 1985, № 9. С.43-47.
7. Эвристические методы календарного планирования/Подслова Т.П., Португал В.М., Татаров В.А., Шкурба В.В. Киев:Техника. 1980.- 140 с.