

УДК 658.52

Р. Р. ЗАГИДУЛЛИН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ РАБОТ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Рассмотрена математическая модель предварительного назначения работ в гибких производственных системах, отличающаяся возможностью учета загрузки не только технологического оборудования, но также транспортных средств, что позволяет повысить точность формирования множества номенклатуры деталей в системах оперативно-календарного планирования. *Математическая модель; оперативно-календарное планирование; расписание; назначение; гибкие производственные системы; гибкие производственные модули*

Одним из важных требований к современным системам оперативно-календарного планирования (ОКП) в составе гибких производственных систем (ГПС) является минимизация времени формирования расписаний работы элементов ГПС. К негативным факторам увеличения времени формирования данных расписаний относится не только вычислительная сложность используемых *NP*-сложных алгоритмов, но также увеличение степени адекватности моделей производственной среде, выраженное необходимостью учета параметров технологического характера [1, 2], необходимостью учета все большего количества классов обслуживающих устройств [3] и др. Подобное увеличение степени адекватности моделей ОКП является объективной необходимостью и позволяет повысить точность формируемых расписаний, что положительно сказывается на последующих этапах их реализации в системах управления и диспетчирования ГПС.

Известно, что одним из альтернативных решений задач сокращения времени формирования расписаний является уменьшение размерности предварительного назначения операций на обслуживающие устройства в моделях ОКП за счет повышения точности предварительных моделей формирования назначений. Чем выше точность назначения, тем меньше размерность задач ОКП.

В большинстве математических моделей оптимизации загрузки оборудования, которые используются в качестве моделей, позволяющих получить предварительные назначения, относящихся к классу объемных или ре-

сурсных задач [4 и др.] и решаемых с помощью аппарата математического программирования, в качестве неизвестных параметров считаются величины партий запусков партий операций a_{ij} на множестве единиц планирования (ЕП) $M = \{e_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, p_i}\}$, где m — количество наименований деталей, p_i — количество операций на i -й детали и множестве оборудования в ГПС $N = \{N_k, k = \overline{1, n}\}$. Такая постановка задачи мало подходит к моделям назначений в ОКП, поскольку рассматривается загрузка только одного класса обслуживающих устройств — технологического оборудования, представляющего собой гибкие производственные модули (ГПМ), без учета занятости и загрузки множества транспортных средств (ТС) — $R = \{\overline{1, r}\}$, осуществляющих доставку ЕП между ГПМ. Поэтому целью предлагаемой предварительной модели назначения является возможность определения запуска ЕП e_{ij} с учетом транспортных операций и определение оптимального состава ЕП, закрепленных за ГПМ. Такая постановка задачи в рамках решения объемных задач планирования представлена впервые. Величины партий запусков a_{ij} ЕП на любой k -й ГПМ при этом в модели считаются постоянными и могут определяться по различным методикам [5 и др.]. Рассмотрим основные составляющие такой математической модели.

Поскольку изначально неизвестно, какие из ЕП e_{ij} могут войти в назначение какого-либо k -го ГПМ, будем считать, что каждая ЕП может быть назначена на любой k -й ГПМ, т. е. ЕП будет иметь вид e_{ijk} . Для каждой ЕП e_{ijk} на предварительном этапе анализа номенкла-

туры определим возможность ее обработки на k -м ГПМ, с точки зрения технологии, в виде булевой переменной e_{ijk}^{BO} .

Тогда ограничение по фонду времени технологического оборудования, которыми являются ГПМ, имеет следующий вид:

$$\sum_i^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk} e_{ijk}^{BO} (a_{ij} t_{oeijk} + t_{перeijk}) < \Phi_{ck}, \quad (1)$$

$$k = \overline{1, n}; \quad n \in N,$$

где Φ_{ck} — фонд времени работы k -го ГПМ на горизонте планирования, t_{oeijk} — время обработки одной детали в партии a_{ij} , $t_{перeijk}$ — время переналадки ГПМ при поступлении на обработку ЕП e_{ijk} . ЕП e_{ijk} в данном случае являются булевыми переменными и определяются в процессе формирования назначения.

Ограничение по фонду времени транспортных средств будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk} e_{ijk}^T t_{тpск} < \sum_{l=1}^r \Phi_{тl}; \quad (2)$$

$$l \in R = \{\overline{1, r}\},$$

где $\Phi_{тl}$ — фонд времени работы l -го транспортного средства, $t_{тpск}$ — время транспортирования ЕП e_{ijk} между какими-либо s -м и k -м ГПМ. Наличие транспортной операции для ЕП e_{ijk} определяется булевой переменной e_{ijk}^T , означающей наличие либо отсутствие операции транспортирования для ЕП e_{ijk} . Значения переменных e_{ijk}^T определяются следующим выражением:

$$e_{ijk}^T \begin{cases} 1, & \exists e_{ij-1,s} | e_{ij-1,s} \in \Phi_{cs} \vee s \neq k, \\ & s, k \in N \\ 0, & \end{cases} \quad (3)$$

согласно которому для ЕП e_{ijk} существует операция транспортирования с s -го на k -й ГПМ, если для i -й детали ($j-1$ -я операция на текущий момент поиска является включенной в состав обрабатываемых ЕП на любой другой, отличный от k -го, s -й ГПМ.

Матрицы времен переналадок, транспортных операций и обработки ЕП

$$T_{пер} = \{t_{перeijk}\}, \quad (4)$$

$$T_{тp} = \{t_{тpск} | s, k \in N\}, \quad (5)$$

$$T_o = \{t_{oeijk}\} \quad (6)$$

рассчитываются заранее.

Требования к размерности множеств ГПМ, номенклатуры и ТС и условия существования переменных можно представить в виде следующего выражения:

$$\begin{aligned} N &= \{1, n | n \geq 1\}; \\ M &= \{1, m | m > 1\}; \\ R &= \{1, r | r \geq 1\}; \\ a_{ij} &= \text{const.} \end{aligned} \quad (7)$$

Модель относится к разряду однокритериальных и предполагает использование различных критериев планирования на некотором множестве

$$F = \{F_g, g = 1, f\}, \quad (8)$$

где f — количество возможных критериев, которые представлены в таблице. Выбор того или иного критерия оптимизации в представленной модели (1–8) определяется проектантом исходя из конкретных производственных условий.

Наиболее универсальным для моделей такого типа является критерий максимума загрузки оборудования F_1 , где Φ'_{ck} — фактическая загрузка k -го ГПМ. Критерий равномерной загрузки оборудования F_2 чаще используется с целью стабилизации ритма работы всего парка ГПМ. Критерий минимизации парка используемых ГПМ F_3 минимизирует количество таких n' ГПМ из общего числа n , когда возможно такое перераспределение работ, что для данных n' ГПМ фактическая загрузка будет равна нулю.

Аналогичен F_3 и критерий минимизации используемых ТС — F_4 , когда минимизируется количество ТС r' с нулевой загрузкой. Критерий F_5 минимизирует количество транспортных операций, определяемых в процессе поиска оптимума назначения, и в задачах ресурсного характера предложен впервые в связи с возможностью учета в модели транспортных средств. Выбор того или иного критерия оптимизации определяется проектантом исходя из конкретных производственных условий. В то же время возможно использование всех перечисленных в таблице критериев с целью поиска варианта с наиболее плотной загрузкой оборудования.

В силу того, что многие параметры модели имеют характер булевых переменных, в алгоритме решения задачи используется один из методов булева программирования — алгоритм Э. Балаша [6].

Таблица

Критерии планирования

Формулировка критерия	Формальный образ критерия
1. Критерий максимума загрузки оборудования . . .	$F_1 = \sum_{k=1}^n (\Phi_{ck} - \Phi'_{ck}) \rightarrow \max$
2. Критерий равномерной загрузки оборудования	$F_2 = (\max(\Phi_{ck} - \Phi'_{ck}) - \min(\Phi_{cs} - \Phi'_{cs})) \rightarrow \min, k, s \in N$
3. Критерий минимума используемого парка ГПМ	$F_3 = (n' \Phi'_{ck} = 0) \rightarrow \min$
4. Критерий минимума использования транспортных средств	$F_4 = (r' \Phi'_{tpl} = 0) \rightarrow \min$
5. Критерий минимума количества транспортных операций	$F_5 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} e_{ijk}^T \rightarrow \min$

Единицы планирования e_{ijk} , выступающие в модели (1–8) в качестве булевых переменных, определяются после окончания вычислений и тем самым составляют множество ЕП, включенных в загрузку того или иного ГПМ.

Детали, не вошедшие в назначение, удаляются из множества номенклатуры планирования на текущий период и переносятся на следующий горизонт планирования ГПС.

Таким образом, предложенная математическая модель предварительного назначения оперирует двумя классами обслуживающих устройств — технологическими устройствами — ГПМ и вспомогательными — ТС, что повышает точность назначения по сравнению с существующими моделями.

Расчетные данные предварительной модели формирования назначения могут являться отправной точкой для последующего этапа — построения расписания работы ГПС с помощью моделей, предложенных в работах [1–3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Султан-заде Н. М., Загидуллин Р. Р. Повышение производительности ГПС путем оптимизации расписаний // СТИН. 1996. № 12. С. 9–13.

2. Загидуллин Р. Р. Проектирование и планирование технологических процессов в ГПС на базе дифференциации операций // СТИН. 2002. № 6. С. 15–19.
3. Загидуллин Р. Р. Комплексная математическая модель оперативно-календарного планирования в гибких комплексах механической обработки // Автоматизация и современные технологии. 1999. № 9. С. 32–34.
4. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1986. 350 с.
5. Соколицын С. А., Дуболазов В. А., Домченко Ю. Н. Многоуровневая система оперативного управления ГПС в машиностроении. СПб.: Политехника, 1991. 208 с.
6. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974. 519 с.

ОБ АВТОРЕ



Загидуллин Равиль Рустэмбекович, доц., докт-т каф. автоматиз. технол. систем. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1983). Канд. техн. наук по технол. машиностроения (МОС-СТАНКИН, 1990). Иссл. в обл. гибких производственных систем.