МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ MES-СИСТЕМЫ

С. П. Бондаренко

Белгосуниверситет, Минск, Республика Беларусь
E-mail:BondarenkoSP@bsu.by

Развитие экономики ставит перед системой планирования и управления все более сложные задачи по повышению эффективности деятельности производства. К числу важнейших относятся задачи оптимального распределения заказов и задача оперативно-календарного планирования и регулирования. Задача оптимального распределения заказов позволяет наиболее оптимальным образом использовать имеющееся технологическое оборудование. Ее решение обеспечивает равномерность загрузки оборудования, его суммарную максимальную производительность и выбор наиболее рационального режима функционирования, позволяющего осуществить экономию энергетических ресурсов [1].

Рассматриваемое производство относится к мелкосерийному производству с партионной системой учета и пооперационно-групповой технологией.

Информационная база MES-системы (MES – Manufacturing Execution Systems) содержит все необходимые данные по сменно-суточным заданиям, графикам работы оборудования, а также учетные данные о ходе производственного процесса, состоянии технологического оборудования и наличии матценностей на складе, рабочих местах и накопителях. Обновление данных, хранящихся в информационной базе системы, осуществляется в реальном масштабе времени, то есть непосредственно по мере обработки сообщений, поступающих в систему по локальной или корпоративной информационной сети, без образования каких-либо промежуточных наборов данных, что обеспечивает адекватность содержания информационной базы реальному состоянию производственного процесса практически в любой момент времени.

Математическая модель задачи представляет собой комплекс задач булева программирования, описывающих различные производственные ситуации. Ресурсами в задаче являются незадействованные фонды рабочего времени каждого ГПМ, а также фонды, образующиеся в результате неготовности некоторых партий к запуску из-за необеспеченности комплектами приспособлений, необходимого вида заготовок и инструментами или же в случае принятия решения о приостановке выполнения заказов в директивном порядке. В качестве основных критериев в зависимости от конкретных характеристик технологического процесса используются равномерность загрузки оборудования, обеспечение функционирования оборудования с наивысшей производительностью и ряд других критериев.

Пусть имеется M единиц технологического оборудования. Все оборудование взаимозаменяемо и обеспечивает выполнение одних и тех же операций за одно и то же время. Каждая единица технологического оборудования располагает фондом рабочего времени f_j, $j = 1, 2, \ldots, M$. Имеющееся множество заказов N необходимо равномерно распределить между данными единицами оборудования. Каждый заказ i, $i = 1, 2, \ldots, N$, характеризуется количеством n_i единиц в заказе, временем $t_i>0$ выполнения заказа и запрещением разбиения его на части при обработке. Данная задача реализуется следующей задачей булева программирования:

$$\max_{1 \le j \le M} \left| f_j - \sum_{i=1}^{N} x_{ij} y_{ij} \right| \to \min$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} = 1, i = \overline{1, N},$$

$$x_{ij} \in (0,1), i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}.$$

Во втором случае предполагается наличие разнотипного, но взаимозаменяемого оборудования, обслуживающего операции с различной производительностью. Определим через $t_{ij} > 0$ время выполнения единицы заказа i, $i = 1, 2, \ldots, N$, на оборудовании j, j=1, 2, …, M. Допускается разбиение заказа на подпартии x_{ij} так, чтобы суммарное количество единиц во всех подпартиях равнялось величине заказа n_i, $i = 1, 2, \ldots, N$. Подпартии закрепляются за теми единицами оборудования, которые обеспечивают по этой номенклатурной позиции наивысшую производительность. При этом наряду с суммарной максимальной производительностью оборудования достигается и выпуск максимального объема продукции. Данную задачу можно представить следующей многокритериальной моделью:

$$f_j - \sum_{i=1}^{N} x_{ij} t_{ij} \to \min, j = \overline{1, M},$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} x_{ij} t_{ij} \to \max$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} t_{ij} \le f_j, j = \overline{1, M},$$

$$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} = n_i, i = \overline{1, N},$$

$$x_{ij} \ge 0, \text{целое}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}.$$

В третьем случае обеспечивается выбор режима работы оборудования, его производительности, с целью обеспечения экономии энергетических ресурсов. Предполагаются известными длительности $t_{ij} > 0$ выполнения деталеопераций, порядок прохождения заказом технологического оборудования в производственном цикле, которое в этом случае не является взаимозаменяемым. Если единица технологического оборудования выполняет операцию со скоростью $v_j > 0$, то время выполнения деталеоперации на этом оборудовании равно $a_{ij} = t_{ij} / v_j$. Используя в качестве критерия функционал

$$F(v_1, v_2, \ldots, v_M) = C_0 \left[\bar{t}_{\max}(v_1, v_2, \ldots, v_M, N) \right]^{q_0} + \sum C_j v_j^{q_j}$$

где $C_0, C_1, \ldots, C_M$ – положительные действительные константы, $q_0, q_1, \ldots, q_M$ – положительные целые константы, $\bar{t}_{\max}(v_1, v_2, \ldots, v_M, N)$ – наименьшее значение момента завершения обслуживания всех заказов множества N, можно определить порядок поступления заказов на обработку и выбрать подходящие значения скоростей выполнения операций единицами оборудования.

Рассмотрим математическую модель задачи оптимальной загрузки технологической линии, имеющей важное практическое значение в системе технологической подготовки производства. Ее решение позволяет существенно сократить простои станков и тем самым повысить уровень загрузки оборудования. Приведем математическую формулировку задачи.

Пусть имеется технологическая линия, содержащая множество $M = \{1, 2, ..., m\}$ станков и множество $S = \{1, 2, ..., s\}$ комплектов приспособлений. Каждый из станков $j, j \in M$, допускает установку любого комплекта приспособлений из подмножества L_j комплектов приспособлений $L_j \subseteq S, j \in M$, определяемого техническими характеристиками станка.

Обозначим через $N = \{1, 2, ..., n\}$ – множество заказов, поступающих на обслуживание. В соответствии с описанием технологического процесса для обслуживания каждого заказа i, $i \in N$, на станках необходимо установить последовательность комплектов приспособлений. Обозначим ее через $S_i = \{a_1, \ldots, a_j, \ldots, a_m\}$, где $a_j \in L_j, j \in M$, если на j-м приборе выполняется обслуживание i-го заказа, и $a_j = 0$ в противном случае.

Тогда задача состоит в том, чтобы найти такое разбиение множества N на группы заказов, при котором обеспечивается минимальное количество остановов технологической линии на переналадку. Данная задача может быть решена поэтапно. Пусть t_i, $i \in N$, суммарное время обслуживания заказа i, $i \in N$, данной технологической линией. Следует отыскать такое подмножество T, $T \subset L_1 \cup L_2 \cup \ldots \cup L_m$, где $|T \cap L_j| = 1, j \in M$, что

$$\sum_{S_i \subseteq T} t_i \to \max$$

Все требования, для которых $S_i \subseteq T$ составят первую группу P_1. Выбросив из множества N заказы первой группы, получим новое множество заказов $N_1 = N \setminus P_1$, для которого также найдем решение аналогичной задачи. Процесс будет повторяться до тех пор, пока множество N_k не станет пустым.

Предлагаемый алгоритм решения задачи основан на методе ветвей и границ и алгоритме решения одного класса задач целочисленного программирования [2].

Рассмотрим математическую модель и методы решения задачи оптимального выбора комплекта приспособлений, возникающей в подсистеме технологической подготовки производства в системе управления гибкого участка механообработки для деталей корпусного типа. Перед подачей на станок корпусные детали должны быть предварительно установлены на специальных площадках, паллетах. Для их крепления используются комплекты приспособлений, устанавливаемые заранее на паллетах. Смена комплекта приспособлений на паллете является достаточно трудоемкой операцией, в связи с чем, и возникает задача выбора комплектов, допускающих по возможности установку максимально возможного числа деталей на паллете без смены комплекта приспособлений.

Обозначим через $N = \{1, 2, ..., n\}$ – множество типов корпусных деталей, поступающих на обработку. Каждому из типов деталей i, $i \in N$, для установки на паллете требуется комплект приспособлений $J_i \subseteq S$, где множество $S = \{1, 2, ..., s\}$ содержит полный перечень типов приспособлений, имеющихся в секции монтажа и загрузки паллет. Обозначим через R максимальное число позиций на паллете, где могут быть установлены приспособления. Тогда задача состоит в разбиении множества деталей N на группы деталей таким образом, чтобы для одной группы обеспечивалась установка максимально возможного числа деталей на паллете без смены комплекта приспособлений.

Данная задача может быть решена поэтапно. Пусть m_i – количество деталей типа i, $i \in N$. Следует отыскать такое подмножество $T \subseteq S, |T| \leq R$, что

$$\sum_{J_i \subseteq T} m_i \to \max$$

Все детали, для которых $J_i \subseteq T$ составят первую группу P_1. Выбросив из множества N детали первой группы, получим новое множество деталей $N_1 = N \setminus P_1$, для которого также найдем решение аналогичной задачи. Процесс будет повторяться до тех пор, пока множество N_k не станет пустым.

Построенный алгоритм решения задачи основан на методе ветвей и границ и максимально учитывает специфику решаемой задачи.

Задача оперативно-календарного планирования и регулирования обеспечивает гибкость планирования расчетов, возможность оперативно и качественно реагировать на возмущающие воздействия производственной среды, что в конечном итоге обеспечивает повышение коэффициента использования дорогостоящего технологического оборудования ГПС.

Рассматриваемый комплекс математических моделей и программная реализация задачи оперативно-календарного планирования и регулирования обладает высоким уровнем адаптации к изменяющейся производственной ситуации, гибкостью в выборе размера интервала планирования, моделей и методов расчета, возможностью своевременной корректировки сформированного расписания работы ГПС.

В задаче выделяется три этапа. На первом этапе формируется производственная программа ГПС на планируемый период. В зависимости от конкретной ситуации для каждой партии деталей m, $m = 1, 2, \ldots, M$, включаемых в программу на данный плановый период, планируется одна или несколько деталеопераций j, $j = 1, 2, \ldots, J^m$. Размеры партий запуска $p_{mj}x_{mj}$ по каждой деталеоперации j берутся кратными размерам p_{mj} транспортных партий, x_{mj} – определяемое количество транспортных партий. Для расчета используются следующие величины: директивный план выпуска n_m, трудоемкость $t_{ij}^m > 0$ обработки одной детали m на j-ой деталеоперации на i-м оборудовании, коэффициент напряженности выпуска L_m, число различных единиц оборудования I, требующихся согласно технологическому маршруту J^M для обработки партий деталей на участке, фонды f_i, $i = 1, 2, \ldots, I$, рабочего времени технологического оборудования, величина задела z_m и количество деталей y_{mj}, находящихся в незавершенном производстве по j-ой деталеоперации для партии деталей m. При этом может быть обеспечено либо функционирование оборудования с наивысшей производительностью, либо равномерность загрузки оборудования. Математическая модель задачи может быть представлена в следующем виде:

$$\sum_{m=1}^{M} L_m \sum_{j=1}^{J^m} x_{mj} p_{mj} \to \max$$

при ограничениях:

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J^m} t_{ij}^m x_{mj} p_{mj} \le f_i, i = 1, 2, ..., I,$$

$$x_{m1} \le min\ \{(n_m - z_m) / p_{m1}, q_m / p_{m1}\}, m = 1, 2, ..., M,$$

$$x_{m,j+1} \le (y_{mj} + x_{mj})p_{mj} / p_{m,j+1}, j = 1, 2 ,..., J^m - 1, m = 1, 2, ..., M,$$

$$x_{mj} \ge 0, \text{целое}, j = 1, 2, ..., J^m , m = 1, 2 ,..., M.$$

На втором этапе строится граф взаимосвязи операций согласно сформированной производственной программе, граф сменно-суточных заданий. Вершины графа представляют собой деталеоперации, каждая из которых связывается с двумя другими вершинами: одна из которых является следующей деталеоперацией технологического маршрута данной партии, а вторая является деталеоперацией другой партии, выполняемой на том же технологическом оборудовании вслед за рассматриваемой деталеоперацией. На дугах графа откладываются либо время пролеживания детали перед следующей деталеоперацией, либо время простоя технологического оборудования до начала выполнения следующей технологической операции.

Задача регулирования, решаемая на третьем этапе, состоит в нахождении минимальных локальных резервов времени партий деталей и общих резервов расписания, а также в выполнении корректирующих действий, позволяющих устранить рассогласование реального состояния производственного процесса с планируемым. Знание резервов расписания позволяет определить порог чувствительности системы оперативного управления, а также выработать стратегию корректировки расписания работы оборудования в течение заданного интервала времени. Диапазон возможных корректировочных действий достаточно широк и включает в себя как простые операции сдвига деталеопераций за счет имеющихся локальных резервов, так и сложные операции репланирования сменно-суточных заданий, связанные с построением нового графа расписания. Регулирование осуществляется в реальном режиме времени на основании информации, поступающей от технологических объектов, хранящейся в базе данных и поступающей от оператора.

Для решения задачи построен комплекс точных и приближенных алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотсков Ю. Н., Струсевич В. А., Танаев В.С. Математические модели и методы календарного планирования. Мн. 1994.

2.Hirabayshi P., Suzuki H. Optimal tool module design problem for NC machine tools // Journal Operation Research Society. 1989. V. 27, №3, p.205.