

УДК 658.513

**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

В.К. Исаев

Центральный аэрогидродинамический институт

Россия, Жуковский МО

Е.Н. Хоботов

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Россия, 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

*Учреждение российской академии наук Институт проблем управления им. В.А.**Трапезникова РАН*

Россия, 117997, ГСП-7, В-342, Москва, Профсоюзная, 65

E-mail: e_khobotov@mail.ru

Предлагаются модели и методы выбора оборудования для создания производств, в состав которых может входить несколько производственных систем и участков. Для сокращения времени выбора оборудования предлагаются алгоритмы, в которых производится распараллеливание расчетов в моделях выбора оборудования.

Ключевые слова: модели, оборудование, линейное программирование, теория расписаний, планирование, производственные системы, проектирование.

**PARALLEL CALCULATIONS IN THE PROBLEMS OF
EQUIPMENT CHOICE FOR DISCRETE MANUFACTURES / V.K.**

Isaev, E.N. Khobotov (Central Aerohydrodynamic Institute, Institute of Control Sciences of RAS, Bauman Moscow State Technical University. Moscow, Russia). The models and methods for choice of equipments for creation of new enterprises which consist of some manufacturing systems are considered. Moreover the algorithms based on the idea of parallel calculations for reducing time of equipments choice are proposed in the paper.

Key words: model, equipment, linear programming, scheduling theory, planning, manufacturing systems, designing

Введение

В настоящее время проблемы выбора оборудования при создании новых, а также при модернизации уже действующих производств начинают вызывать повышенный интерес, который обусловлен тем, что удачный выбор оборудования позволяет создавать рентабельные и конкурентоспособные производства, а устранение ошибок и просчетов, связанных с выбором оборудования, уже в процессе работы потребует весьма значительных расходов.

Для выбора оборудования производственных систем и участков (ПСиУ) были разработаны эффективно работающие методы и модели [1-3]. Однако в тех случаях, когда требуется выбрать оборудование для предприятия, в состав которого входит несколько ПСиУ, использование известных моделей и методов вызывает весьма значительные затруднения из-за большой размерности и сложности возникающих задач. Выбор оборудования для создаваемого или модернизируемого предприятия путем формирования отдельных ПСиУ, оборудование для которых может выбираться с помощью известных моделей и методов [1-3], также вызывает значительные затруднения. Такие затруднения связаны с определением исходной информации для выбора оборудования ПСиУ, которые должны входить в состав создаваемого предприятия, а также с проблемой согласования производительности ПСиУ по обработке последовательно обрабатываемых деталей.

В связи с этим для выбора оборудования создаваемых предприятий и производств требуется разработка специальных моделей и методов.

В данной работе предлагаются идеи и принципы построения моделей и методов выбора оборудования для создания производств, в состав которых может входить несколько ПСиУ. Кроме того, для сокращения времени выбора оборудования обсуждаются принципы создания алгоритмов, в которых организуется распараллеливание расчетов предлагаемых моделей.

1. Задача выбора оборудования для предприятий

Рассмотрим более подробно постановку задачи выбора оборудования для предприятий с дискретным характером производства.

Пусть задан типовой «портфель заказов», содержащий известное количество изделий различных типов, которые должны быть последовательно изготовлены на создаваемом предприятии в течение заданного интервала времени. Для каждого изготавливаемого

изделия известен состав комплектующих его деталей и узлов, последовательность и время установки всех деталей и узлов в собираемое изделие. Кроме того, для каждой комплектующей детали любого изделия известны технологические маршруты обработки, которые включают типы используемого оборудования, последовательность обработки на этом оборудовании, время обработки и время переналадки оборудования. Считается известным и множество оборудования, из которого может выбираться оборудование для создаваемого производства.

Оборудование и технологические маршруты обработки деталей требуется выбирать таким образом, чтобы при заданных ограничениях на стоимость приобретаемого оборудования максимизировать прибыль от обработки производственной программы в течение заданного интервала времени и минимизировать затраты на обслуживание оборудования системы за это время.

2. Принципы построения моделей и методов выбора оборудования

Рассмотрим основные принципы построения моделей и методов, которые позволят выбирать оборудование для обработки комплектующих деталей собираемых изделий на производствах, в состав которых входит несколько ПСиУ.

Предположим, что типы оборудования, которое может быть использовано для обработки комплектующих деталей, уже распределены по ПСиУ предприятия. Такое распределение может быть произведено различными способами, например, по технологическому принципу. Возможны и другие принципы распределения типов оборудования по ПСиУ, а также ситуации, когда одни и те же типы оборудования входят в различные ПСиУ.

Здесь следует отметить, что различные способы распределения типов оборудования по ПСиУ предприятия, в общем-то, приведут к различным производственным структурам создаваемого предприятия. В связи с этим весьма полезным будет рассмотрение различных принципов распределения типов оборудования по ПСиУ, формирование на основе таких распределений оборудования различных структур создаваемых предприятий и выбора из них наиболее подходящей.

В связи с этим будем считать, что типы оборудования, которое может быть использовано при создании предприятия, уже каким-то образом уже распределены по ПСиУ предприятия.

Модели выбора оборудования для создаваемого предприятия предлагается строить в соответствии с принципами построения систем распределенного моделирования [4]. Согласно этим принципам строится координирующая модель и модели выбора оборудования для каждой ПСиУ.

Модели выбора оборудования ПСиУ строятся в соответствии с принципами построения подобных моделей, изложенных в работах [1-3], и могут быть представлены в следующем виде.

Оптимизируемый функционал такой модели может быть представлен следующим образом:

$$\tilde{J}_{il} = \min \left\{ \beta_{1il} \sum_{j \in \tilde{J}_l} b_j z_{jl}^i + \beta_{2il} \sum_{j \in \tilde{J}_l} \tilde{t}_{jl}^i + \beta_{3il} \sum_{j \in \tilde{J}_l} \sum_{v \in I_{ijl}} \sum_{k=1}^{K_{vjl}} n_{iv} \theta_{ivlj}^k \tilde{c}_{ivlj}^k + \gamma_{il} S_{il} \right\} \quad (1)$$

где β_{pil} ($p=1, \dots, 4$) – весовые коэффициенты, \tilde{J}_l – множество типов оборудования, которое может быть включено в состав l -й ПСиУ или участка, b_j – стоимость обслуживания j -го оборудования, z_{jl}^i – количество единиц j -го оборудования, которое целесообразно включить в состав l -й ПСиУ для обработки деталей i -го изделия, \tilde{t}_{jl}^i – вспомогательные переменные, \tilde{c}_{ivlj}^k – стоимость обработки v -й детали i -го изделия на j -м оборудовании l -й ПС или участка по k -у технологическому маршруту, θ_{ivlj}^k –

целочисленные переменные типа $(0,1)$, n_{iv} – размер v -й партии деталей i -го изделия, L – количество типов производимых изделий ($i=1,\dots,L$), M – количество ПСиУ, которое включено в состав предприятия ($l=1,\dots,M$), γ_{il} – весовые коэффициенты, s_{il} – вспомогательные переменные.

Балансовые ограничения на время использования оборудования, включаемого в состав l -й ПСиУ, имеют следующий вид:

$$\sum_{v \in I_{ijl}} \sum_{k=1}^{K_{vit}} (n_{iv} \theta_{ivl}^k t_{ivlj}^k + \hat{\theta}_{ivlj}^k \tau_{ivlj}^k) - \tilde{t}_{jl}^i \leq z_{jl}^i \hat{T}_i \mu_{jl}^i, \quad (2)$$

где I_{ijl} – множество комплектующих деталей i -го изделия, которое обрабатывается на оборудовании j -го типа l -й ПСиУ, K_{vit} – количество технологических маршрутов, по которым может обрабатываться v -я деталь i -го изделия на l -м ПС или участке, t_{ivlj}^k – время обработки v -й детали i -го изделия на j -м оборудовании l -го ПС или участка по k -у технологическому маршруту, τ_{ivlj}^k – время переналадки j -го оборудования l -го ПСиУ для обработки v -й детали i -го изделия по k -у технологическому маршруту, $\hat{\theta}_{ivlj}^k$ – целочисленные переменные типа $(0,1)$, \hat{T}_i – время сборки i -го изделия, μ_{jl}^i – коэффициент загрузки j -го оборудования l -й ПСиУ, который желателен при обработке i -го изделия.

Величина θ_{ivl}^k равна единице, если детали v -го типа для i -го изделия обрабатываются на l -м ПСиУ по k -у технологическому маршруту и нулю в противном случае.

Для упрощения модели будем предполагать, каждая деталь любого изделия может обрабатываться на любом ПСиУ только по одному технологическому маршруту, который может быть выбран из известного множества технологических маршрутов, определяемого технологией обработки детали. Для учета этого условия в модель вводятся ограничения следующего вида:

$$\sum_{k=1}^{K_{vit}} \theta_{ivl}^k = 1, \quad (3)$$

Если детали v -го типа для i -го изделия обрабатываются на j -м оборудовании l -й ПСиУ по k -у технологическому маршруту, то все оборудование j -го типа этой ПСиУ должно переналаживаться и величина $\hat{\theta}_{ivlj}^k$ должна быть отличной от нуля. Предположение о переналадке всего оборудования j -го типа позволяет определить в соответствии с (2) избыточное количество оборудования этого типа, которое затем уточняется. Для учета этого фактора в модель включаются ограничения:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_{ivlj}^k - \theta_{ivl}^k &\geq 0, \\ \hat{\theta}_{ivlj}^k + \hat{M}(1 - \theta_{ivl}^k) - z_{jl}^i &\geq 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где \hat{M} – достаточно большая величина, превышающая количество оборудования в создаваемой ПСиУ.

Ограничение на стоимость оборудования, включаемого в состав l -й ПСиУ, имеет вид:

$$\sum_{j \in J_l} d_j z_{jl}^i \leq \hat{D}_{il}, \quad (5)$$

где d_j – стоимость единицы j -го оборудования, \hat{D}_{il} – переменные, определяющие стоимость оборудования l -й ПС или участка, которое может использоваться для обработки комплектующих деталей i -го изделия.

Для согласования работы этих моделей с координирующей моделью в модели выбора оборудования ПСиУ предприятия вводятся следующие ограничения:

$$\begin{aligned}
D_l - \hat{D}_{il} + \tilde{u}_{il} &\geq 0, & \tilde{u}_{il} &\geq 0, \\
y_{jl} - z_{jl}^i + \bar{u}_{jl}^i &\geq 0, & \bar{u}_{jl}^i &\geq 0, \\
\sum_{j \in \tilde{J}_l} \bar{u}_{jl}^i + \tilde{u}_{il} &\leq s_{il},
\end{aligned} \tag{6}$$

где y_{jl} и D_l параметры, которые определяются в процессе расчета координирующей модели, \tilde{u}_{il} , \bar{u}_{jl}^i – вспомогательные переменные.

В модели (1)-(6) переменными являются z_{jl}^i , \hat{D}_{il} , $\hat{\theta}_{ivlj}^k$, θ_{ivl}^k , \tilde{t}_{jl}^i , s_{il} , \tilde{u}_{il} , \bar{u}_{jl}^i , а постоянными параметрами, которые определяются в процессе расчета координирующей модели и передаются в модели выбора оборудования ПСиУ, являются y_{jl} и D_l .

Рассмотрим теперь принципы построения координирующей модели.

Оптимизируемый функционал для координирующей модели имеет следующий вид:

$$J = \min \left\{ \alpha_1 \sum_{l=1}^M \sum_{j \in \tilde{J}_l} b_j y_{jl} + \tilde{\gamma} \tilde{s} \right\}, \tag{7}$$

где α_1 и $\tilde{\gamma}$ – весовые коэффициенты, L – количество типов производимых изделий, M – количество ПСиУ предприятия, b_j – стоимость обслуживания j -го оборудования, y_{jl} – переменная, которая определяет количество единиц j -го оборудования, которое включается в состав l -й производственной системы (ПС) или участка, \tilde{J}_l – множество типов оборудования, которое может быть включено в состав l -й ПС или участка, \tilde{s} – вспомогательные переменные.

Затраты на оборудование, включаемое в состав ПСиУ предприятия, не должны превышать средства \tilde{D} , выделенные для создания предприятия. Поэтому в координирующую модель включается следующее ограничение:

$$\sum_{l=1}^M D_l \leq \tilde{D}, \quad D_l \geq 0, \tag{8}$$

где D_l – переменные, определяющие средства, выделяемые на приобретение оборудования для l -й ПС или участка.

Ограничения, позволяющие организовать совместную работу моделей выбора оборудования для ПСиУ, включаются в координирующую модель и могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned}
D_l - \hat{D}_{il} + \hat{u}_{il} &\geq 0, & \hat{u}_{il} &\geq 0, \\
y_{jl} - z_{jl}^i + u_{jl}^i &\geq 0, & u_{jl}^i &\geq 0, \\
\sum_{i=1}^L \sum_{l=1}^M \left\{ \sum_{j \in \tilde{J}_l} u_{jl}^i + \hat{u}_{il} \right\} &\leq \tilde{s},
\end{aligned} \tag{9}$$

где \hat{u}_{il} , u_{jl}^i – вспомогательные переменные, y_{jl} – переменные, определяющие количество единиц оборудования j -го типа, которое включается в состав l -й ПС или участка, а z_{jl}^i и \hat{D}_{il} – параметры, которые определяются в процессе расчета моделей выбора оборудования для ПСиУ.

3. Принципы построения параллельных алгоритмов для расчета моделей выбора оборудования

Рассмотрим теперь более подробно идеи и принципы распараллеливания вычислений, которое может осуществляться при решении таких задач на многопроцессорных вычислительных средствах.

Модели выбора оборудования для каждой ПСиУ на всех итерациях согласования моделей выбора оборудования могут вычисляться независимо друг от друга, а координирующая задача может решаться только после расчета всех моделей выбора оборудования ПСиУ. В связи с этим появляется возможность создания алгоритма расчетов такой задачи, в котором модели выбора оборудования для ПСиУ будут рассчитываться параллельно на различных процессорах и передавать полученную информацию для решения координирующей задачи. После решения координирующей задачи производится пересчет моделей выбора оборудования для ПСиУ с новыми данными, полученными из решения координирующей задачи.

Каждый расчет моделей выбора оборудования могут вычисляться независимо друг от друга. Поэтому распараллеливание вычислений при решении таких задач позволит существенно сократить время вычислений.

Для выбора оборудования ПСиУ, входящих в состав создаваемого предприятия, с помощью описанных выше моделей может быть предложен алгоритм, использующий параллельные вычисления, который состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Производится распределения типов доступного для создания предприятия оборудования по ПСиУ предприятия. Следует переход к Шагу 2.

Шаг 2. Рассчитываются модели (1)-(5) при весовых коэффициентах γ_{il} равных нулю и модель (7)-(8) при весовом коэффициенте $\tilde{\gamma}$ равном нулю. Расчеты моделей (1)-(5), как уже отмечалось выше, могут производиться одновременно на разных процессорах многопроцессорных вычислительных средств. Если хотя бы одна из этих задач не имеет решения, то и исходная задача выбора оборудования предприятия при этих исходных данных также не имеет решения. В противном случае следует переход к Шагу 3.

Шаг 3. Рассчитываются модели (1)-(6) при весовых коэффициентах γ_{il} равных единице и модель (7)-(9) при весовом коэффициенте $\tilde{\gamma}$ равном единице. Причем при расчете модели (7)-(9) в качестве параметров z_{jl}^i и \hat{D}_{il} берутся значения переменных z_{jl}^i и \hat{D}_{il} , которые определяются в результате расчета моделей (1)-(6).

При расчете моделей (1)-(6) в качестве параметров y_{jl} и D_l выбираются значения переменных y_{jl} и D_l , которые вычисляются на предыдущей итерации метода. Здесь также расчеты моделей (1)-(6) могут производиться одновременно на разных процессорах многопроцессорных вычислительных средств.

Такое использование переменных, полученных при расчете одних моделей, в качестве параметров для расчетов других моделей будет осуществляться в процессе работы всего алгоритма и дополнительно оговариваться дальше не будет. Следует переход к Шагу 4.

Шаг 4. Если величина суммы $\left(\tilde{s} + \sum_{i=1}^L \sum_{l=1}^M s_{il} \right)$ окажется меньше заданной величины ε , которая определяет точность получаемого решения, то процесс вычислений прекращается. В противном случае производится переход к Шагу 5.

Шаг 5. Производится расчет модели (7)-(9) при весовом коэффициенте $\tilde{\gamma}$ равном $\tilde{\gamma} := m\tilde{\gamma}$, где m – положительная величина строго большая 1. При новом значении $\tilde{\gamma}$ по результатам расчета модели определяется величина \tilde{s} и следует переход к Шагу 6.

Шаг 6. Производится расчет моделей (1)-(6) с весовыми коэффициентами γ_{il} равными $\gamma_{il} := \tilde{m}\gamma_{il}$, где \tilde{m} – положительная величина строго большая 1. При новых значениях γ_{il} по результатам расчетов моделей определяются величины s_{il} и следует переход к Шагу 4.

Расчеты моделей (1)-(6) здесь также могут производиться одновременно на разных процессорах многопроцессорных вычислительных средств.

6. Заключение

В работе предлагаются параллельные алгоритмы для выбора оборудования при создании новых предприятий с дискретным характером производства.

Разработка таких алгоритмов позволит значительно сократить время выбора оборудования для создаваемых производств, а также избежать ошибок и просчетов, связанных с выбором оборудования, устранение которых уже в процессе работы предприятия может потребовать весьма значительных расходов.

Литература

1. *Хоботов Е.Н.* Использование оптимизационно-имитационного подхода для моделирования и проектирования производственных систем. I // *АиТ.* 1999. № 8. С. 163-176.
2. *Хоботов Е.Н.* Использование оптимизационно-имитационного подхода для моделирования и проектирования производственных систем. II // *АиТ.* 1999. № 9. С. 154-161.
3. *Хоботов Е.Н.* Моделирование в задачах реинжиниринга производственных систем // *АиТ.* – 2001. № 8, 168-178 стр.
4. *Хоботов Е.Н.* Построение систем распределенного моделирования. Сборник трудов ИСА РАН «Динамика неоднородных структур», – 2009. Том 44. С. 204-214.

