

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Д.Ю. Муромцев, Ю.Л. Муромцев, Л.В. Шаламова

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

Ключевые слова и фразы: ограничения на энергозатраты; принцип наследования; принцип совместимости; энергетическая эффективность.

Аннотация: Сформулирована задача оптимального выполнения производственного планового задания, в которой учтены ограничения на использование энергоресурсов в каждый момент времени и интегральные ограничения за весь период выполнения плана. Предложен метод решения задачи, использующий принципы наследования, максимальной совместимости и монотонности по энергетике.

Важным резервом снижения потребления ресурсов промышленными предприятиями является использование энергосберегающего планирования загрузки технологического оборудования. Прежде всего, это относится к предприятиям, имеющим цеха термообработки различных материалов и деталей. Большинство предприятий машиностроительной, химической, электронной промышленности, промышленности строительных материалов и других отраслей используют электрические печи, сушильные установки, гальванические ванны и другое энергоемкое оборудование, на которое приходится значительная доля платежей за электроэнергию.

В связи с ростом цен на энергоносители и обострением проблемы ресурсопотребления существующие методы планирования загрузки оборудования не обеспечивают выполнение требований энергетической эффективности [1]. Например, широко используемый метод Джонсона не учитывает при составлении плана выпуска продукции важные ограничения использования энергоресурсов [2].

В статье рассматривается задача планирования загрузки технологического оборудования, которая отличается от традиционных задач теории расписаний наличием двух видов ограничений на потребляемые энергоресурсы. Ограничения первого вида предусматривают допустимое использование ресурсов в каждый момент времени, а второго вида – интегральные, то есть требуется не превышать выделенный на определенный период времени лимит ресурсов.

Выполнение указанных ограничений необходимо для решения проблем устойчивого развития предприятий и обеспечения их энергетической эффективности.

1. Постановка задачи

Математически задача энергосберегающего планирования загрузки оборудования формулируется следующим образом. Задаются:

– модель парка технологического оборудования, включающего m видов аппаратов (машин)

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, \quad A_i = \langle l_i, V_{ai}, E_{ai} \rangle, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где l_i – число аппаратов i -го вида; V_{ai}, E_{ai} – функциональные и энергетические характеристики аппаратов i -го вида;

– множество моделей обрабатываемых деталей

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}, \quad D_j = \langle R_j, V_{dj}, E_{dj} \rangle, \quad j = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где R_j – множество «работ», которые надо выполнить с деталью вида D_j в аппаратах видов $A_i \in A$; V_{dj} – габаритные и другие функциональные характеристики деталей вида D_j , позволяющие определить соответствующий вид аппарата; E_{dj} – энергетические характеристики деталей вида D_j (температура и длительность термообработки);

– плановое задание на очередной период времени T

$$\Pi = \{V_{pj}\}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где V_{pj} – планируемый объем выпуска деталей j -го вида;

– оператор S_r , определяющий возможность выполнения работ $r \in R_j$ для детали вида D_j в аппарате вида A_i

$$S_r = \begin{cases} V_{zij}, & \text{если работа } r \text{ для } D_j \text{ в } A_i \text{ выполняется;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (4)$$

где $V_{zij} \in [0; V_{pj}]$ – объем загрузки деталей вида D_j в аппарат вида A_i ;

– оператор S_E , определяющий энергозатраты при выполнении работ с объемом загрузки V_{zij}

$$S_E: A \times D \rightarrow E_{\Pi}, \quad (5)$$

где E_{Π} – множество значений энергозатрат аппаратами при выполнении планового задания Π ;

– ограничения на энергозатраты в каждый момент времени t

$$\forall t \in T: Q_E(t) = \sum_{A_i \in A} E_t(A_i) \leq P_{\text{доп}}^t; \quad (6)$$

где T – множество моментов времени функционирования аппаратов; $E_t(A_i)$ – энергозатраты аппаратов вида A_i в момент времени t ; $P_{\text{доп}}^t$ – допустимая потребляемая мощность всеми функционирующими аппаратами в момент времени t ;

– интегральные ограничения за период T (на выделенный лимит энергопотребления)

$$Q_{ET} = \int_0^T Q_E(t) dt \leq E_{\text{доп}}^t, \quad (7)$$

где $E_{\text{доп}}^t$ – выделенный лимит энергии на время T ;

– минимизируемый функционал

$$F = c_1 \tilde{T}_n(G) + c_2 Q_{ET}(G) \rightarrow \min_G, \quad (8)$$

где \tilde{T}_n – время выполнения плана; c_1, c_2 – весовые коэффициенты; G – график выполнения планового задания.

Требуется спланировать выполнение планового задания (3) за время T в виде графика G загрузки оборудования, определяющего закрепление деталей за аппаратами и технологические цепочки работ, при котором выполняются необходимые ограничения (6), (7) и функционал (8) достигает минимального значения.

2. Алгоритм решения задачи

Если число видов аппаратов m значительно (более четырех-пяти) и N велико (десятки или сотни), то точных методов для оперативного решения задачи (1) – (8) не существует [2, 3]. Требование оперативности объясняется высокой вероятностью изменения планового задания (3) за время T и необходимостью многократного решения задачи.

В основу предлагаемого метода энергосберегающего планирования загрузки оборудования положены следующие принципы.

Принцип наследования. В новом плановом задании (3) выделяется часть Π_n , для которой имелось приемлемое решение в виде графика G_n на предыдущих временных интервалах планирования. Выделенная часть исключается из плана (3), и в последующем задача решается для скорректированного плана

$$\Pi_k = \Pi - \Pi_n. \quad (9)$$

Принцип максимальной совместимости. С помощью операторов (4), (5) для каждого компонента плана Π_k составляются списки наиболее предпочтительных аппаратов. При этом учитываются факторы функциональности (полноты заполнения рабочего объема) и энергетической эффективности (см. (1), (2)). Результаты определения показателей совместимости хранятся в базе данных информационной системы.

Принцип «монотонности по энергетике». В соответствии с данным принципом очередность термообработки разных типов деталей в аппарате A_i должна соответствовать либо повышению температурных режимов, либо понижению.

Принцип виртуализации (объединения). Разнотипные детали с одинаковыми режимами термообработки и близкие по размерам объединяются в один тип. Аналогично объединяются аппараты, модели которых по функциональным и энергетическим характеристикам существенно не различаются.

Алгоритм решения задачи (1) – (8), использующий данные принципы, содержит следующие основные этапы.

1. В соответствии с принципом наследования производится коррекция планового задания (3) и переход к плану Π_k .

2. Для скорректированного плана (см. (9)) производится объединение деталей в соответствии с принципом виртуализации.

3. Объединенные детали «закрепляются» за аппаратами с учетом показателей совместимости.

4. Определяется очередность термообработки деталей в соответствии с принципом «монотонности по энергетике». При этом для выполнения ограничения (6) детали разбиваются на две группы. Обработка деталей первой группы соответствует повышению температуры в аппаратах, а второй – понижению.

5. Проверяется выполнение ограничений (6), (7) и на время T выполнения планового задания. Если все ограничения выполняются, то полученный график G считается допустимым. Если при этом удельное значение функционала F/V_{Π} незначительно отклоняется от $F_{\Pi}/V_{\Pi,н}$, то график G является квазиоптимальным и на этом решение задачи заканчивается. Здесь $V_{\Pi}, V_{\Pi,н}$ – общий объем планового задания и объем планового задания, выделенного в соответствии с принципом наследования, соответственно; F_{Π} – значение функционала (8) для $V_{\Pi,н}$.

6. Если не выполняется ограничение (6), то перераспределяются группы деталей, выделенные на этапе 4. В случае невыполнения ограничения (7) выбирается другой вариант плана Π_{Π} (см. этап 1) с меньшим значением составляющей Q_E функционала F и затем этапы 2–5 повторяются. Число таких итераций заранее ограничивается.

Заключение

Рассмотренный алгоритм использован в информационной системе планирования работы цеха термообработки на предприятии электронного профиля. Введение ограничений на энергопотребление позволило сократить энергозатраты на 5 % и исключить случаи перерасхода выделяемого лимита. Алгоритм может найти применение при решении задач оптимального распределения энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве и других сферах.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МД-2025.2007.8.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51379–99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы. – Введ. 2000–09–01. – М. : Госстандарт России, 2004. – 20 с.
2. Чейз, Р.Б. Производственный и операционный менеджмент : пер с англ. / Р.Б. Чейз, Н.Дж. Эквилайн, Р.Ф. Якобе. – М. : Вильямс, 2001. – 704 с.
3. Танаев, В.С. Теория расписаний. Групповые технологии / В.С. Танаев, М.Я. Ковалев, Я.М. Шафранский. – Минск : ИТК НАН Беларуси, 1998. – 410 с.

Energy Saving Planning of Equipment Loading

D.Yu. Muromtsev, Yu.L. Muromtsev, L.V. Shalamova

Department “Designing of Radio Electronic and Microprocessor Systems”, TSTU

Key words and phrases: compatibility principle; energy efficiency; energy expenses restrictions; inheritance principle.

Abstract: The task of optimum implementation of production planned task is formulated; it takes into account restrictions of energy resources utilization at each moment of task implementation and integrals for the total period of plan implementation. The paper proposes the solution to the problem based on the principles of inheritance, maximum compatibility and monotony in energy.

Energiesparende Planung der Ausrüstungsbeladung

Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der optimalen Ausführung der Produktionsplanaufgabe, in der die Beschränkungen auf die Nutzung der Energieressourcen in jedem Moment der Zeit und die integrale Beschränkungen für die ganze Periode der Ausführung des Planes berücksichtigt sind, formuliert. Es ist die Methode der Lösung der Aufgabe, die die Prinzipien der Nachfolge, der maximalen Vereinbarkeit und der Energetikmonotonie benutzt wird, angeboten.

Planification de la charge de l'équipement conservant de l'énergie

Résumé: Est formulé le problème de l'exécution optimale de la tâche de production prévue par le plan dans laquelle sont prises en compte les restrictions sur l'utilisation des ressources énergétiques dans chaque moment du temps ainsi que celles intégrales de toute la période de l'exécution du plan. Est proposée la méthode de la solution du problème utilisant les principes d'héritage, de la compatibilité maximale et de l'uniformité par l'énergétique.
