УДК 338.242 : 658.26 (477.54)

Н.Л.РЯБЧИКОВ, д-р техн. наук, Т.А.ОБОЛЕНСКАЯ, канд. техн. наук
Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков
Н.О.КОНДРАТЕНКО, канд. экон. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЯХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГОЗАТРАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассматривается задача математического программирования. С целью снижения числа конкурирующих вариантов используется метод Парето – отсеивание. На основе понятия мажорирования получена методика, позволяющая адаптивно решать задачи управления производством крупногабаритных изделий с одновременным учётом временных и энергетических затрат.

Производство крупногабаритного оборудования, такого, как роторы или рабочие колеса турбин связано со значительными затратами энергии. Дело в том, что технологический процесс требует в процессе изготовления обязательного непрерывного подогревания детали. Установленная мощность в случае изготовления изолированной детали определяется функцией времени, которая имеет в общем случае вид кусочно-непрерывной функции.

Несколько другой подход можно применить в случае, когда производятся сразу несколько крупногабаритных изделий. При этом возникает своеобразная интерференция затрат энергии, поскольку каждое подобное изделие формирует вокруг тепловое поле, которое при производстве изолированной детали имеет в основном отрицательные свойства. В случае расположения близ участка с другой деталью это поле превращается в положительный фактор, поскольку энергетическое поле первой детали положительно влияет на другое и наоборот. Научных методов учета такой интерференции с целью достижения энергосберегающего эффекта не существует.

В большинстве работ, которые вышли в 90-е годы прошлого века, рассматривается состав статей текущих затрат, куда входят затраты на материалы, энергию, подчеркивается необходимость их нормирования, снижения [1-4].

В работах, изданных в период перехода к трансформационной экономике, также преимущественно рассматриваются традиционные формы снижения затрат на материалы и энергию, определение их величины при расчетах себестоимости и эффекта [5-7].

Несмотря на значительно возросшие возможности современного математического моделирования, специальных работ, посвященных разработке методов учета энергозатрат при взаимном влиянии элементов, не обнаружено.

Целью настоящих исследований является разработка методов формирования энергосберегающих подходов при производстве энергозатратных изделий с учетом взаимного влияния деталей.

Взаимное влияние нескольких изделий будем выражать матрицей влияния

$$[C]=\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & ... & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & ... & C_{2n} \\ ... & ... & C_{ij} & ... \\ C_{n1} & C_{n2} & ... & C_{nn} \end{bmatrix},$$

где n – количество изделий, которые одновременно вырабатываются; C_{ij} – коэффициент влияния со стороны одной детали на другую, который зависит от вида детали и участка его расположения.

Установленный режим для каждого изделия характеризуется некоторыми временами выхода на этот режим. В общем случае скорость выхода на установленный режим может зависеть от тех же факторов, что и коэффициенты взаимного влияния. Коэффициенты скорости выхода на установленный режим также можно свести в матрицу

$$[k]=\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & ... & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & ... & k_{2n} \\ ... & ... & k_{ij} & ... \\ k_{n1} & k_{n2} & ... & k_{nn} \end{bmatrix}.$$

Процесс выхода на установленный режим при нагревании отдельного изделия может быть описан функцией экспоненты. В каждый момент времени установленная мощность для отдельной детали может быть уменьшена за счет интерференции со стороны других деталей. Начальный момент времени определяется важным условием $\tau_0=0$, конечный момент времени – максимальным значением, которое избирается из характерных параметров времени работы для каждой отдельной детали. Требованиям экономии энергии будет отвечать нахождение минимума этого значения

$$Q=\sum_{i=1}^{n} Q_i\left(\tau_{0i}-\tau_i\right)\to \min .$$

Максимально возможное время выполнения всех деталей системы отвечает последовательной работе, т.е. полному изготовлению сначала первой детали, за нею второй и так далее к последней. Очевидно, что этот вариант не будет оптимальным с точки зрения экономии энергозатрат в связи с тем, что отдельные детали не влияют положительно одна на одну в процессе изготовления. Кроме того, все дополнительные затраты (освещение рабочих мест, обслуживание и др.) увеличиваются пропорционально времени. Во всяком случае максимальное время

$$\tau_{\max} = \sum_{i=1}^{n} \tau_i \, .$$

Минимально возможное время изготовления системы крупногабаритных изделий может быть обеспечено при одновременном старте их выполнения и следующем их параллельном изготовлении. При этом суммарное время изготовления всех деталей равняется максимальному времени выполнения отдельной детали $\tau_{\min} = \max(\tau_{\text{и}})$.

Нас будут интересовать общие затраты энергии, которые определяются суммой конечных значений соответствующих функций для отдельных деталей, которые определяются путем решения системы дифференциальных уравнений

$$W = \sum_{i=1}^{n} Q_i^m \, .$$

Возможна другая постановка задачи оптимального управления. Учитывая то, что при изготовлении деталей довольно большими будут дополнительные затраты, будем минимизировать время, на протяжении которого изготовляются эти детали.

Таким образом, ставим задачи среди всех допустимых управлений, под действием которых система переходит из заданного начального состояния, когда на начало технологического процесса подаются заготовки в необходимое конечное состояние, если все детали изготовлены до конца, найти такое, для которого этот переход осуществляется в кратчайшее время.

Время, на протяжении которого осуществляется оптимальный переход из начальной к конечной точке, обозначим $t = T(x)$. Поскольку система имеет n координат $x_{01}, x_{02}, ..., x_{0n}$, то $T(x)$ выступает в функции n переменных $T(x) = T(x_{01}, x_{02}, ..., x_{0n})$. Поэтому имеет смысл вести речь о непрерывности и дифференцируемости этой функции.

В конечном итоге нас беспокоят затраты энергии, которые зависят от времени, израсходованной энергии на искомое время, накопленной энергии за счет создания теплового баланса с другими деталями. Для энергии, которая затрачена в данный момент для производства каждой детали, можно записать дифференциальное уравнение

$$\frac{dQ_i}{dt} = f_i\left(Q_1, Q_2, ..., Q_n, x_{01}, x_{02}, .., x_{0n}\right).$$

В качестве начальных параметров целиком можно взять условия $Q_1(0)=0$, $Q_2(0)=0$, …, $Q_n(0)=0$. Надо минимизировать время $x_0(t_F) = t_F = \int\limits_0^{t_F} dt$, необходимое для достижения конечной точки, путем выбора параметров $x_{01}, x_{02}, ..., x_{0n}$.

Таким образом возможна многокритериальная задача математического программирования. Традиционный подход к решению таких задач состоит в использовании тех или иных разделов скаляризации векторного критерия. Из них наиболее употребительны следующие.

Линейная свертка, в которой реализуется следующий алгоритм.

Пусть $f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, …, $f_m(\tau)$ – частные критерии оптимизации. Введем подмножества E_+ – совокупность номеров показателей, для которых увеличение численного значения улучшает критерий, E_- – совокупность номеров показателей, для которых увеличение численного значения ухудшает критерий.

Запишем теперь скалярный критерий следующим образом

$$F(\tau) = \sum_{i \in E_+} C_i f_i(\tau) - \sum_{i \in E_-} C_i f_i(\tau),$$

где C_i – положительные коэффициенты, определяющие важность соответствующих критериев.

Алгоритм расчета «близости к идеалу» предполагает выполнение таких действий.

Пусть $\tau_i^* = \arg extr f_i(\tau)$ – набор, который доставляет оптимальные значения i-му частному показателю (максимум для $i \in E_+$, минимум для $i \in E_-$).

Понятно, что τ_i^* для разных i, вообще говоря, не совпадет. Теперь для конкретного τ введем

$$R(\tau)=\left[\sum_{i=1}^{m}\left(f_i(\tau)-f_i\left(\tau_i^*\right)\right)^2\cdot C_i\right]^{1/2}.$$

Значение $R(\tau)$ определяет расстояние между точкой ($f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, …, $f_m(\tau)$) и точкой ($f_1(\tau_i^*)$, $f_2(\tau_i^*)$, …, $f_m(\tau_i^*)$) , соответствующее «идеалу». Другими словами $R(\tau)$ характеризует степень близости конкретного решения к идеальному, которое естественно недостижимо в силу различия между τ_i^* .

Принципиальный недостаток этих подходов состоит в необходимости оценивания весовых коэффициентов C_i, i=1,2,…,m, которое не может быть выполнено однозначно.

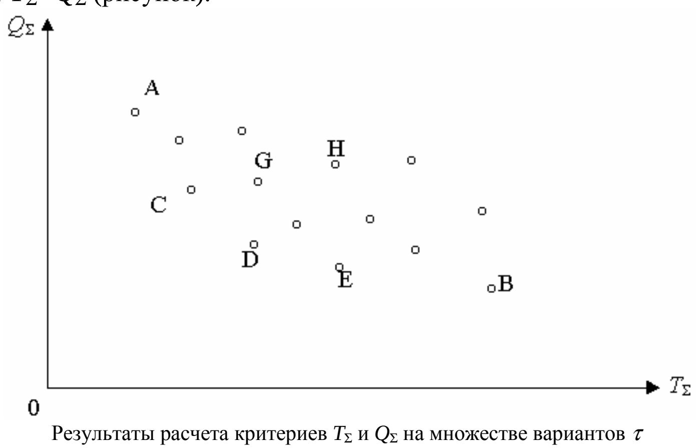
Рассмотрим другой подход к решению этой задачи.

Сформируем множество произвольных наборов τ_1, τ_2, …, τ_n, удовлетворяющих заданным ограничениям. Теперь в рассматриваемой задаче вычислим значения критериев T_Σ и Q_Σ на этих наборах и, кроме того, на наборах $\tau_T^*=\min\{T_\sum(\tau)\}$ и $\tau_Q^*=\min\{Q_\sum(\tau)\}$. При этом получим:

$$T_\sum\left(\tau_T^*\right),\ T_\Sigma(\tau_1),\ T_\Sigma(\tau_2),\ \ldots,\ T_\Sigma(\tau_n),\ T_\sum\left(\tau_Q^*\right);$$

$$Q_\sum\left(\tau_T^*\right),\ Q_\Sigma(\tau_1),\ Q_\Sigma(\tau_2),\ \ldots,\ Q_\Sigma(\tau_n),\ Q_\sum\left(\tau_Q^*\right).$$

Отобразим результаты вычислений в виде точек в системе координат T_Σ- Q_Σ (рисунок).



Результаты расчета критериев T_Σ и Q_Σ на множестве вариантов τ

Критерии T_Σ и Q_Σ очевидным образом противоречивы (минимизация суммарного времени выполнения работ T_Σ связана с необходимостью дополнительных энергетических затрат, и наоборот минимизация суммарного расхода энергии Q_Σ приводит к увеличению общего времени выполнения работ). Поэтому вариантам τ_T^* и τ_Q^* соответствуют «крайние» точки A и B.

С целью снижения числа конкурирующих вариантов используем метод Парето-отсеивания. Введем понятие мажорирования. Считаем, что некоторый конкретный вариант решения мажорирует некоторый другой вариант, если для первого из них значения обоих критериев не хуже, чем для второго, и при этом хотя бы одного из критериев – лучше.

В соответствии с этим определением вариант G мажорирует вариант H, а вариант C, в свою очередь мажорирует G и H. Ясно, что любой мажорируемый вариант неконкурентоспособен по сравнению с мажорирующим и поэтому может быть выведен из рассмотрения. Применение процедуры отсеивания неконкурентоспособных вариантов приводит к существенному сокращению их числа (например, из вариантов, отображенных на рисунке, после отсеивания останутся только варианты A, C, D, E, B).

Оставшееся в результате отсеивания множество вариантов называется Парето-оптимальным. Понятно, что варианты, соответствующие точкам $A\left(T_\sum\left(\tau_T^*\right), Q_\sum\left(\tau_T^*\right)\right)$ и $B\left(T_\sum\left(\tau_Q^*\right), Q_\sum\left(\tau_Q^*\right)\right)$ обязательно будут присутствовать в Парето – оптимальной совокупности. Пронормируем значения критериев T_Σ и Q_Σ, соответствующие точкам Парето-оптимального множества по формулам:

$$\widehat{T}_{\sum,i} = \frac{T_\sum(\tau_i)}{\max T_\sum(\tau_i)},\ \widehat{Q}_{\sum,i} = \frac{Q_\sum(\tau_i)}{\max Q_\sum(\tau_i)},\ i=1,2,\ldots,m. \qquad (1)$$

При этом получим последовательности

$\widehat{T}_\sum(\tau_1)$, $\widehat{T}_\sum(\tau_2)$, …, $\widehat{T}_\sum(\tau_{m-1})$, $\widehat{T}_\sum(\tau_m)$, $T_\Sigma(\tau)$=1,

$\widehat{Q}_\sum(\tau_1)$, $\widehat{Q}_\sum(\tau_2)$, …, $\widehat{Q}_\sum(\tau_{m-1})$, $\widehat{Q}_\sum(\tau_m)$, $Q_\Sigma(\tau)$=1.

Используем их для описания зависимости $\widehat{Q}_\sum(\widehat{T}_\sum)$.

Введем регрессионную модель

$$\widehat{Q}_\sum\left(T_\sum\right) = a_0 + a_1\widehat{T}_\sum + a_2\widehat{T}_\sum^2 + \ldots + a_d\widehat{T}_\sum^d. \qquad (2)$$

Неизвестные коэффициенты уравнения регрессии (2) найдем методом наименьших квадратов. Введем матрицу $\overline{H}$ и векторы $\overline{A}$ и $\overline{Q_{\Sigma}}$:

$$\overline{H}=\begin{pmatrix}1 & \widehat{T}_{\Sigma}(\tau_1) & \widehat{T}_{\Sigma}^2(\tau_1) & \ldots & \widehat{T}_{\Sigma}^d(\tau_1)\\ 1 & \widehat{T}_{\Sigma}(\tau_2) & T_{\Sigma}^2(\tau_2) & \ldots & \widehat{T}_{\Sigma}^d(\tau_2)\\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ 1 & \widehat{T}_{\Sigma}(\tau_m) & \widehat{T}_{\Sigma}^2(\tau_m) & \ldots & \widehat{T}_{\Sigma}^d(\tau_m)\end{pmatrix},\ \overline{A}=\begin{pmatrix}a_0\\ a_1\\ a_2\\ \ldots\\ a_d\end{pmatrix},\ \overline{Q_{\Sigma}}=\begin{pmatrix}\widehat{Q}_{\Sigma}(\tau_1)\\ \widehat{Q}_{\Sigma}(\tau_2)\\ \widehat{Q}_{\Sigma}(\tau_3)\\ \ldots\\ \widehat{Q}_{\Sigma}(\tau_m)\end{pmatrix}.$$

Тогда наилучший с точки зрения метода наименьших квадратов вектор A определяется соотношением $\widehat{A}=\left(H^T\cdot H\right)^{-1}H^T\cdot\widehat{Q}_{\Sigma}$.

Соотношение (2) позволяет осуществлять адаптивное управление временными и энергетическими затратами. Введем составной критерий

$$F\left(\widehat{T}_{\Sigma},\widehat{Q}_{\Sigma}\right)=\alpha\cdot\widehat{T}_{\Sigma}+(1-\alpha)\widehat{Q}_{\Sigma},\alpha\in[0{,}1]. \qquad (3)$$

Понятно, что изменением α может придавать больший вес либо временным, либо энергетическим затратам. Численное значение α можно некоторым разумным образом изменять (например, для работы в дневные часы, когда энергетические ресурсы лимитированы в большей степени, нежели временные, следует параметр α уменьшать, а в ночное время, наоборот – увеличивать). Подставляя в (3) соотношение (2) для d=2, получим

$$F\left(\widehat{T}_{\Sigma}\right)=(1-\alpha)a_0+\left(\alpha+(1-\alpha)a_1\right)\widehat{T}_{\Sigma}+(1-\alpha)a_2T_{\Sigma}^2. \qquad (4)$$

Минимизируя (4) по $\widehat{T}_{\Sigma}$, получим

$$\widehat{T}_{\Sigma}^*=-\frac{\alpha+(1-\alpha)a_1}{2(1-\alpha)a_2},\ \widehat{Q}_{\Sigma}^*=(1-\alpha)a_0-\frac{\left(\alpha+(1-\alpha)a_1\right)^2}{4(1-\alpha)a_2}.$$

Таким образом, получена методика, позволяющая адаптивно решать задачи управления производством крупногабаритных деталей с одновременным учетом временных и энергетических затрат.

1.Риски в современном бизнесе / И.Г.Грабовый и др. – М.: Аланс, 1994. – 200 с.

2.Идрисов А.Д., Картышев А.С., Постников А.В. Стратегическое планирование и анализ эффективности инвестиций. – М., 1997. – 272 с.

3.Економіка підприємств. В 2 т. Т.1 / За ред. С.Ф.Покропивного. – К.: Хвиля-Пресс. 1995. – 400 с.

4.Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 631 с.

5.Гамрат - Курек Л.И. Экономика инженерных решений в машиностроении. – М.:

Машиностроение, 1990. – 256 с.

6.Ипатов М.И., Проскуряков А.В., Семенов В.М. Снижение себестоимости машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 208 с.

7.Васильев В.Н., Садовская Т.Г. Организационно-экономические основы гибкого производства. – М.: Высшая школа, 1988. – 272 с.

Получено 24.02.2006

УДК 628.093

А.В.САПРЫКА, канд. техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Рассматриваются вопросы экономии электрической энергии в осветительных установках внутреннего и наружного освещения.

Основными потребителями электроэнергии в Украине являются города, в которых сегодня проживает 84% населения и сосредоточено большинство промышленных предприятий, при этом процесс урбанизации продолжается. Поэтому в последние годы придаётся большое значение экономии электроэнергии в связи с повышением её стоимости, недостатком энергоресурсов и увеличением потребления. Главными составляющими общей стоимости существующих систем освещения являются энергопотребление и расходы по техническому обслуживанию. Одним из значительных резервов экономии электроэнергии является ее рациональное использование в осветительных установках, так как на освещение за год используется больше 15% электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями Украины. При этом средняя эффективность преобразования энергии топлива в световую энергию составляет приблизительно 3%. На ближайшее время основой экономии электроэнергии должна стать замена малоэффективных ламп на более энергоэкономичные, так в жилом секторе лампы накаливания составляют почти 99%, на сельскохозяйственных предприятиях – более 83%, в промышленности – 44%, в общественно-административных – 40% [1]. В целом по стране этот показатель составляет 75%, тогда как в экономично развитых странах он не превышает 50%.

Такое положение делает задачу рационального использования электроэнергии актуальной. Целью данной работы является снижение затрат на искусственное освещение, относящихся к одной из важнейших проблем.

В связи с необходимостью экономии электроэнергии в осветительных установках возникает вопрос о влиянии этой экономии на