

# СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Задача построения системы управления рассматривается для некоторого обобщенного объекта, обладающего свойствами, характерными для большинства промышленных предприятий – потребителей электрической энергии. При разработке и создании системы управления математическому моделированию подвергается часть объекта управления, обеспечивающая энергетическую составляющую технологическо-го процесса (ТП), а именно, система электропотребления объекта, т.е. оригинальная часть объекта управления, а сам технологический процесс со всеми его типовыми и индивидуальными особенностями моделированию не подвергается и учитывается при формировании управляющих воздействий параметром, который легко может быть обобщен для многих типов технологических процессов, – текущим состоянием (фазой). Алгоритм управления реализуется на интервале времени, соответствующем технологическому циклу.

## Постановка задачи

1. Технологический цикл задан временем начала цикла –  $T_0$  и временем окончания цикла –  $T_y$ , ТП на протяжении интервала времени от  $T_0$  до  $T_y$  последовательно проходит фазовые состояния от  $\varphi_0$  до  $\varphi_y$ . Изменение скорости ТП

$V = \frac{d\varphi}{dt}$  в установленных пределах не оказывает

влияние на качественную составляющую ТП.

2. Целью оптимизации электропотребления является уменьшение стоимости электрической энергии, потребленной ТП за время  $T_y$ . Оптимизация должна осуществляться за счет

изменения мощности потребления ТП на различных участках  $T_y$  в соответствии с разницей цен на электрическую энергию в различных зонах суток.

При этом энергия, потребленная ТП за время цикла  $\mathcal{E}_y$  и время цикла  $T_y$ , не должна существенно изменяться (авторы исходят из того, что значения  $\mathcal{E}_y$  и  $T_y$  являются оптимальными).

В общем случае, уровень потребляемой мощности определяет интенсивность (скорость) протекания ТП, т.е.:

$$\frac{d\varphi}{dt} = F(p) \quad (1)$$

Управление, осуществляемое увеличением/уменьшением текущей потребляемой мощности ТП, приводит к увеличению/уменьшению скорости протекания ТП. Таким образом, в зонах суток с низкой ценой электрической энергии система управления будет увеличивать скорость протекания ТП, а в зонах с высокой ценой – соответственно уменьшать.

Ресурс управления потребляемой мощностью ТП определяется возможностью изменения скорости протекания ТП внутри технологического цикла. Возможные изменения скорости определяются максимально допустимым отклонением от опорного значения  $V_0(t)$

(где  $t \in [T_0, T_y]$ ). В качестве опорного значения может быть принято оптимальное значение скорости ТП, установленное без учета изменения цены на электрическую энергию в течение технологического цикла. Опорному значению скорости протекания ТП соответствует опорное

значение потребляемой мощности  $P_o(t)$ .

Реализация оптимального управления потреблением ТП обеспечивается решением следующих задач:

- определение текущего ресурса управления  $A(t)$ ;
- оптимальное использование ресурса управления на интервале времени  $T_u$ .

Определение текущего ресурса управления система управления должна осуществлять с помощью математической модели системы электропотребления ТП. Математическая модель является элементом структуры системы управления, содержащим всю необходимую информацию об электропотреблении объекта управления в течение технологического цикла. Использование математической модели для определения текущего ресурса управления  $A(t)$  будет рассмотрено отдельно в следующих статьях.

Для решения задачи оптимального использования ресурса управления на интервале  $T_u$  необходимо найти критерий принятия решения по использованию текущего ресурса управления для каждого момента времени интервала  $T_u$ . При этом в каждый момент времени необходимо учитывать историю процесса, будущие возможности управления ресурсом электропотребления, изменение условий управления. Нахождение такого критерия является серьезной научно-технической проблемой, для которой трудно найти общее решение [1–5]. Однако существует другой, более простой, путь решения задачи.

Так как к моменту начала цикла  $T_o$  известны возможности и условия управления то может быть применена процедура планирования функции управления. При планировании производится предварительное распределение использования ресурса управления  $A(t)$  на

интервале  $T_u$ . Возможности управления определяются на основании данных о распределении ресурса управления  $A(t)$  на интервале  $T_u$ , заложенных в математической модели системы электропотребления объекта управления. В качестве условий управления должна быть принята информация о текущих требованиях технологического характера, которые могут быть учтены в исходной ориентации математической модели, а также информация о расположении интервала  $T_u$  относительно тарифных зон суток и тарифы на электрическую энергию.

Информация о расположении интервала  $T_u$  может быть задана временем начала технологического цикла  $T_o$ .

Стратегия процедуры планирования функции управления, учитывающая тарифы на электрическую энергию в различных зонах суток, приведена в таблице.

Учитывая информацию о распределении ресурса управления на интервале  $T_u$ , данные о границах тарифных зон суток, тарифы на электрическую энергию система управления рассчитывает планируемый алгоритм управления, соответствующий критерию минимизации стоимости электрической энергии на интервале  $T_u$ . Схема формирования планируемого алгоритма управления представлена на рис.1.

Кроме планируемого алгоритма управления электропотреблением на интервале  $T_u$  может быть рассчитано достижимое значение прибыли от реализации функций оптимального управления на интервале  $T_u$ .

Экономическая прибыль предприятия, полученная в результате реализации функции управления потреблением электрической мощности в течение технологического цикла, может быть определена следующим образом:

Таблица

Стратегия процедуры планирования функции управления

Зона минимальной цены	Зона средней цены	Зона максимальной цены
В данной зоне работа СУ должна быть направлена на увеличение потребления ТП для накопления ресурса управления электропотреблением или ликвидации отставания фазового состояния ТП от оптимального.	В данной зоне СУ может осуществлять как накопление, так и использование ресурса управления, в зависимости от текущего состояния ТП.	В данной зоне СУ необходимо снижать потребление ТП, используя возможности, созданные в предыдущих зонах или возможности ТП.

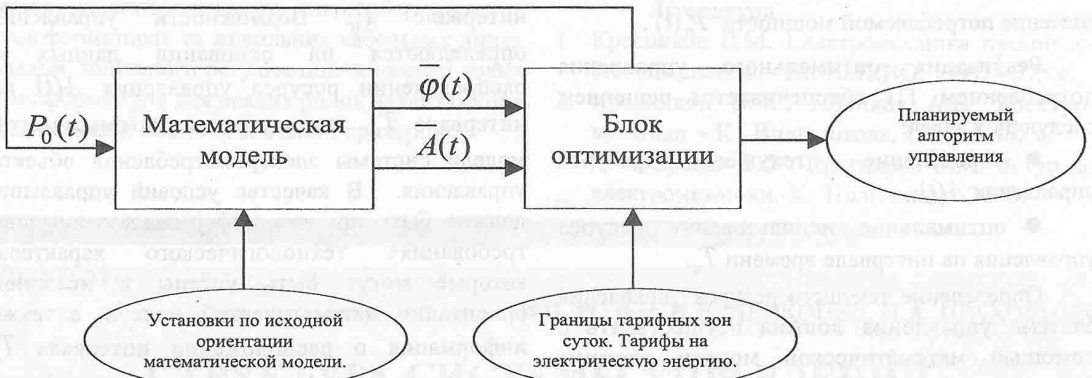


Рис.1. Схема формирования планируемого алгоритма управления

$$\Pi = C_o - C \quad (2)$$

где  $C_o$  – стоимость электрической энергии, потребленной ТП за время технологического цикла  $T_o$  при существующих начальных условиях и без применения функции управления потребляемой мощностью в соответствии с изменением цены на электрическую энергию в течение технологического цикла;

$C$  – стоимость электрической энергии, потребленной ТП за время  $T_y$  при использовании планируемого алгоритма управления потребляемой мощностью.

Стоимость элетрической энергии за время технологического цикла  $T_y$  может быть выражена следующим образом:

$$C_o = \int_{T_0}^{T_y} P_0(t) \cdot \zeta(t) \cdot dt, \quad (3)$$

$$C = \int_{T_0}^{T_y} P(t) \cdot \zeta(t) \cdot dt, \quad (4)$$

где  $P(t), P_o(t)$  – законы изменения текущей потребляемой мощности с использованием и без использования функции управления потребляемой мощностью в соответствии с изменением цены на электрическую энергию в течение технологического цикла соответственно;

$\zeta(t)$  – закон изменения цены на электрическую энергию за время технологического цикла  $T_y$ .

С учетом приведенных соотношений (2), (3) и (4) получим выражение для определения

достижимого значения прибыли от реализации функций оптимального управления на интервале  $T_y$ :

$$\begin{aligned} \Pi &= \int_{T_0}^{T_y} P_0(t) \cdot \zeta(t) \cdot dt - \int_{T_0}^{T_y} P(t) \cdot \zeta(t) \cdot dt = \\ &= \int_{T_0}^{T_y} \zeta(t) \cdot (P_0(t) - P(t)) \cdot dt \quad (5) \end{aligned}$$

Планируемый алгоритм управления электропотреблением определяет стратегию работы системы управления в условиях реального времени. В определенной мере, планируемый алгоритм управления служит критерием принятия решения при формировании управляющих воздействий в каждый момент времени интервала  $T_y$ .

Другим источником информации, используемым системой управления при формировании управляющих воздействий, являются данные о текущем состоянии объекта управления, получаемые от системы измерения и сбора информации. Анализируя эти данные, система управления контролирует текущее состояние объекта управления и его реакцию на управляющие воздействия. При этом все непредвиденные отклонения от запланированного режима протекания ТП учитываются путем коррекции планируемого алгоритма управления. При расхождении реальных данных о состоянии объекта управления с расчетными значениями (полученными с помощью математической модели), превышающем допускаемое значение, процесс оптимального управления электропотреблением прерывается и управление осуществляется по критерию снижения аварийности. При этом система управления

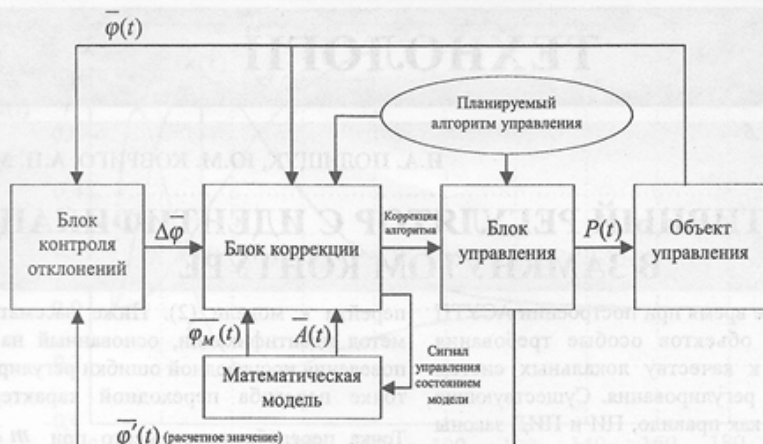


Рис.2. Схема реализации функции оптимального управления электропотреблением

оповещает персонал о возможности возникновения аварийной ситуации и дает рекомендации о ее предотвращении. Схема реализации функции оптимального управления электропотреблением представлена на рис.2.

Управление электропотреблением осуществляется в соответствии с планируемым алгоритмом управления. На блок контроля отклонений поступает информация о текущем состоянии объекта управления –  $\bar{\varphi}(t)$  от системы измерения и сбора информации и расчетное значение текущего состояния объекта –  $\bar{\varphi}_2(t)$ , соответствующее алгоритму управления. При наличии отклонения  $\Delta\bar{\varphi} = \bar{\varphi}(t) - \bar{\varphi}_p(t)$ , превышающего установленное значение, блок коррекции с помощью математической модели анализирует текущее состояние объекта управления, разрабатывает корректирующее воздействие и корректирует алгоритм управления.

#### Выводы

1. Установленные границы и выделенные независимые переменные обеспечивают необходимую полноту описания задачи, которая может быть классифицирована как задача оптимизации.
2. Применение планирования, основанного на учете известных возможностей и условий управления, позволяет упростить решение задачи оптимального управления в условиях реального времени.
3. Планирование функции управления, непрерывный контроль отклонения состояний

объекта управления от расчетных значений, коррекция алгоритма управления, основанная на моделировании текущих состояний объекта управления и корректирующих воздействий на математической модели, являются основными решениями, составляющими суть рассмотренного метода управления и обеспечивающими его простоту, надежность и эффективность.

Целесообразно продолжить разработку данного метода с последующей ориентацией его на реальные физические объекты.

#### Литература

1. Розен В.П., Прокопец Н.В. Структура системы управления энергопотреблением, использующая математическую модель объекта управления// Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": 36. Наук. Праць - К., 2003. - Вип. 9. - С.118 - 122.
2. Праховник А.В., Калинин В.П., Эпель П.Я. К управлению электропотреблением в условиях дефицита энергоресурсов// Изв. Вузов СССР. Энергетика - 1986-№10. -С12-15.
3. Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Регсдел. Оптимизация в технике. "Мир", Москва - 1986 - В двух книгах.
4. Праховник А.В., Автоматизация управления электропотреблением: "Вища школа", Киев - 1986. - 76 с
5. Калинин В.П. Алгоритмічні методи управління електроспоживанням. Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. - 1999. - №1.