

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В. П. Розен, канд. техн. наук., Н. В. Прокопец, асп. (НТУУ “КПИ”)

Освітлені питання автоматизації керування електроспоживанням промислових підприємств. Досліджені загальні принципові закономірності побудови автоматизованих систем керування електроспоживанням, які ґрунтуються на використанні математичних моделей технологічних процесів та об'єктів керування. Проведено синтез структури автоматизованої системи керування електроспоживанням промислового підприємства.

С переходом к рыночной экономике повысилась актуальность вопросов управления электропотреблением на промышленных предприятиях. Для снижения затрат на электрическую энергию промышленным предприятиям необходимы эффективные автоматизированные системы управления электропотреблением, учитывающие положения тарифной системы, особенности технологического процесса, характеристики используемого оборудования.

Создание эффективной системы управления электропотреблением промышленного предприятия, соответствующей указанным требованиям, является сложной научно-технической проблемой. В первую очередь должны быть решены две основные задачи – выявить текущий ресурс управления электропотреблением и обеспечить оптимальный режим его использования. Для решения этих задач необходимы достаточно глубокие знания системы электропотребления промышленного предприятия (объекта управления) и ее функционирования в циклах технологического процесса.

С точки зрения возможностей использования в системах управления электропотреблением ресурс управления можно классифицировать по степени связи с технологическим процессом. В общем случае связь может рассматриваться как сильная или слабая.

Использование ресурса управления, имеющего слабую связь с технологическим процессом, не оказывает непосредственного влияния на параметры и состояние технологического процесса. Управление электропотреблением с использованием такого ресурса известно как управление с помощью потребителей-регуляторов. В системах управления потребители-регуляторы устанавливаются заранее, поэтому при реализации функций управления решается только задача обеспечения оптимального режима работы потребителей-регуляторов. Управление электропотреблением с помощью потребителей-регуляторов хорошо исследовано и широко применяется на промышленных предприятиях [1–4].

Использование ресурса управления, имеющего сильную связь с технологическим процессом, не исключает возможного изменения состояния и

параметров технологического процесса. Такой тип управления требует жесткой привязки к конкретным технологическим процессам и оборудованию.

До настоящего времени создание эффективных систем управления электропотреблением такого типа было проблематичным. Это объясняется, в первую очередь, высокой сложностью и стоимостью их реализации, повышенным риском принимаемых решений. Исследования в направлении разработки и создания подобных систем управления практически не проводились.

В настоящее время в связи с значительными достижениями в области вычислительной и измерительной техники, цифровой связи возможности создания на промышленных предприятиях эффективных систем управления указанного типа значительно возросли. Современные технические средства обеспечивают приемлемые с экономической точки зрения решения по реализации систем управления, поддерживающих алгоритмы управления, основанные на использовании математических моделей технологических процессов и объектов управления. Такие системы управления позволяют выявлять и использовать скрытые технологические ресурсы управления электропотреблением и существенно снизить риски принимаемых решений.

Настоящая статья посвящена исследованию общих принципиальных закономерностей построения систем управления электропотреблением, основанных на использовании математических моделей технологических процессов и объектов управления.

Задача может быть представлена в следующем виде.

1. Имеется технологический процесс, состояние (фаза) которого в рамках решения конкретной технико-экономической задачи последовательно изменяется во времени

$$\varphi = F(t),$$

где φ – вектор фазы.

2. Протекание процесса проходит с потреблением электрической энергии. Параметры потребления определяются текущим состоянием процесса:

$$p = U(\varphi),$$

где p – вектор потребляемой мощности (номинальное значение).

3. Текущий ресурс управления электропотреблением определяется допустимым изменением потребляемой мощности в пределах от $p - \Delta p^1$ до $p + \Delta p^{11}$, где $\Delta p^1 = f^1(\varphi)$ и $\Delta p^{11} = f^{11}(\varphi)$.

4. Необходимо обеспечить оптимальный (с точки зрения требований технологического процесса и с учетом суточных зонных тарифов на электрическую энергию) режим потребления электрической энергии.

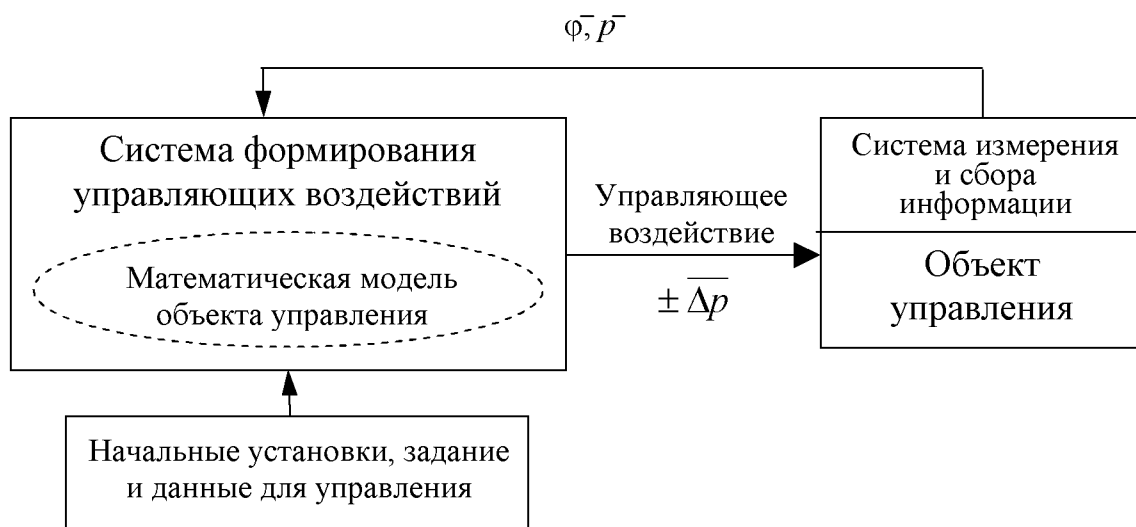
В общем случае в качестве ресурсов управления электропотреблением технологического процесса можно рассматривать:

допускаемое уменьшение/увеличение скорости технологического процесса $V = \frac{d\varphi}{dt}$ на отдельных отрезках технологического цикла;

скрытые потенциальные возможности технологического процесса, позволяющие формировать ресурс управления путем целенаправленного создания и накопления технологических резервов электропотребления.

Обобщенная структурная схема системы управления электропотреблением промышленного предприятия, ориентированная на решение указанной задачи, приведена на рисунке. Система функционирует следующим образом.

Система измерения и сбора информации о состоянии и поведении объекта управления предоставит информацию о текущей фазе технологического процесса φ и текущем потреблении p . Анализируя информацию о текущей фазе и текущем потреблении объекта управления, система формирования управляющих воздействий, в соответствии с заданием и исходными данными для управления, формирует управляющее воздействие $\pm \Delta p$.



Обобщенная структурная схема системы управления электропотреблением

Определение текущего ресурса управления и формирование управляющих воздействий осуществляется с помощью математической модели объекта управления, которая является основной составляющей системы формирования управляющих воздействий. Текущее состояние технологического процесса (в том числе результаты управляющих воздействий) контролируется на соответствие расчетным значениям, определяемым с помощью математической модели объекта управления. Непрерывно контролируется также состояние системы электропотребления объекта.

Элементом, обеспечивающим привязку рассматриваемой структуры к конкретному объекту, является математическая модель объекта управления. Создание такой модели является задачей идентификации. С позиций системного анализа указанная задача включает:

- качественный анализ структуры и свойств объекта управления;
- синтез структуры функционального оператора;
- оценку параметров функционального оператора по экспериментальным данным.

В рамках рассматриваемой структуры объект управления представляется частью системы электропотребления промышленного предприятия, обеспечи-

вающей энергетическую составляющую технологического процесса. В общем случае система электропотребления промышленного предприятия может быть представлена совокупностью токоприемников (или групп токоприемников), характеризующихся следующими параметрами:

- потребляемой мощностью;
- влиянием на технологический процесс;
- характеристикой управления потребляемой мощностью – дискретная (вкл/выкл) или плавная.

Функция влияния на технологический процесс связывает текущую потребляемую мощность токоприемника с параметрами технологического процесса. В некоторых случаях целесообразно устанавливать функцию влияния для группы токоприемников. Связь всей системы электропотребления объекта с технологическим процессом отображается с помощью технологического оператора T . Технологический оператор преобразует вектор входных переменных системы электропотребления объекта p в вектор выходных переменных v :

$$v = T(p).$$

В качестве входных переменных должны быть приняты текущие потребляемые мощности токоприемников, выходных переменных – параметры технологического процесса, связанные функциональной зависимостью с p и определяющие состояние технологического процесса. В большинстве случаев уровень потребляемой мощности определяет интенсивность протекания процессов. Поэтому в качестве выходных параметров должны приниматься скорости изменения фазовых состояний $V = \frac{d\varphi}{dt}$ элементарных составляющих технологического процесса.

В общем случае технологический оператор представляет собой суперпозицию элементарных технологических операторов, характеризующих влияние токоприемников на элементы технологического процесса.

Синтез структуры функционального оператора состоит в математическом выражении функциональных соотношений между параметрами, входящими в структуру технологического оператора. В результате каждому элементарному технологическому оператору ставится в соответствие элементарный функциональный оператор с параметрами, достаточно близкими к истинным значениям. Элементарные функциональные операторы необходимо агрегировать в общий результирующий функциональный оператор $v = \Phi(\varphi, p)$, отражающий функциональное преобразование пространства оценок входных переменных $\{p\}$ и пространства оценок переменных состояний технологического процесса $\{\varphi\}$ в пространство оценок выходных переменных. В состав результирующего функционального оператора могут входить теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения между указанными параметрами. С математической точки зрения они могут быть представлены конечными алгебраическими или трансцендентными уравнениями, обыкновенными дифференциальными уравнениями, дифференциальными уравнениями в частных производных,

интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями. Физическая реализация математической модели – комплекс программ ЭВМ.

Наиболее сложным (в техническом отношении) элементом описываемой структуры является система сбора информации о состоянии и поведении объекта управления. Система должна обеспечивать формирование информации о текущей фазе технологического процесса и текущем потреблении (вектор фазы и вектор потребления). Координаты вектора фазы и вектора потребления должны устанавливаться при построении математической модели объекта управления. Вектор фазы формируется показаниями датчиков технологического процесса, вектор потребления – показаниями датчиков потребления, в качестве которых могут использоваться электронные счетчики электрической энергии, обеспечивающие непрерывное измерение электрической мощности. Вектор потребления может быть также сформирован на основе информации, получаемой от автоматизированной системы контроля и учета энергии (АСКУЭ), если она имеется на объекте управления.

Информация, предоставляемая системой измерения и сбора информации, должна оцениваться по критериям точности, достоверности и быстродействия. Требования к этим показателям устанавливаются при разработке технического проекта системы управления электропотреблением.

Выводы

Рассмотренный в статье синтез структуры системы управления электропотреблением основывается на выделении энергетической составляющей технологического процесса, определении каналов ее функционального влияния на технологический процесс и построении ее математической модели. Описанный метод позволяет существенным образом оптимизировать структурные решения систем управления электропотреблением при сохранении жесткого контроля над основными параметрами технологического процесса, необходимого для снижения риска принимаемых решений.

Результаты проведенных исследований могут рассматриваться как база для разработки структур систем управления электропотреблением промышленных предприятий, ориентированных на конкретные типы технологических процессов и конкретное оборудование.

1. Праховник А. В., Калинин В. П., Экель П. Я. К управлению электропотреблением в условиях дефицита энергоресурсов // Изв. ВУЗов СССР. Энергетика – 1986. – № 10. – С. 12–15.

2. Праховник А. В. Автоматизация управления электропотреблением: Киев: Вища школа, 1986. – 76 с.

3. Калинин В. П. Комплексне управління електричним навантаженням виробничих споживачів // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1999. – № 2.

4. Калинин В. П. Алгоритмічні методи управління електроспоживанням // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. – 1999. – № 1.