

# Физико-математические и технические принципы организации управления полиэнергетическими объектами и системами экологической безопасности ШАТЭК

В.Б.Гого, В.В.Вознесенский (КФ ДонГТУ)

## 1. Цели создания и общие принципы АСУ ШАТЭК

Создание АСУ ШАТЭК является сложной научно-технической и организационно-экономической задачей, решение которой в создавшихся условиях потребует значительных материальных и финансовых ресурсов.

Понятно, что затраты на АСУ ШАТЭК непосредственно отразятся на себестоимости получаемой энергии. Поэтому в качестве первоочередных задач наиболее эффективного использования ШАТЭК должны быть решены задачи организации надлежащей АСУ. При этом очень важно определить физико-технические принципы организации АСУ ШАТЭК на основе известных методологических положений теории автоматического управления [1,2,3].

Прежде всего, организация АСУ ШАТЭК – это далеко не создание электронно-технической системы. В природе своей – это социально-физическая система, в которой субъективные факторы играют весьма важную роль в объективном управлении. Поэтому уже на стадии постановки основных задач организации АСУ ШАТЭК необходимо исходить из физических принципов работы составляющих объектов, совместимости возможных и предлагаемых технических решений с социальной структурой производства, тем более, что речь идет о шахтах Донбасса. Необходимо выполнить разработку, в которой бы стыковались функции АСУ и работников ШАТЭК. Вопросы адаптации людей к новой системе управления в сложившихся и привычных условиях шахты должны быть учтены в принципах организации АСУ ШАТЭК. При этом не исключены варианты изменения физических, технических и организационных основ, закладываемых в методы управления технологическими процессами ШАТЭК.

Прежде всего, необходимо отметить, что в управлении ШАТЭК должны быть заложены физическая природа объектов и краеугольные положения АСУ: получение информации, анализ, принятие и реализация решения. Как наиболее вероятный вид – это интегрированная АСУ (ИАСУ), в которой объединено несколько АСУ отдельными технологическими процессами, в том числе и экологозащитными, (АСУТП) и АСУ производственных служб шахты

(АСУП), т.е. в конечном итоге необходимо говорить об организации ИАСУ ШАТЭК.

Важным принципом в организации АСУП ШАТЭК является выделение технологического объекта управления (ТОУ). Учитывая взаимные связи между технологическим оборудованием ШАТЭК и, собственно, шахты, принятой степени централизации управления, в качестве ТОУ правомерно рассмотреть: агрегаты и установки главного технологического процесса (котлы, паротурбины, электрогенераторы и т.д.); Производственный процесс предприятия со своим технологическим характером (добыча угля шахтой, его переработка обогатительным участком, его использование в ШАТЭК), в котором выбираются и согласуются режимы работы взаимосвязанных участков и объектов.

Учитывая рассмотренное выше, следует говорить об автоматизированном технологическом комплексе (АТК) для ШАТЭК. Роль такого комплекса заключается в обеспечении устойчивости технологического процесса, его реализуемости при выполнении требований экологической безопасности.

Цель управления ТОУ в структуре АТК ШАТЭК состоит в обеспечении максимального экономического эффекта, который определится соотношением между стоимостью выработанной электрической и тепловой энергии и затратами на ее производство.

Понятно, что для ШАТЭК непосредственно применить указанный экономический критерий управления ТОУ невозможно из-за его сложности. Поэтому имеет смысл упростить задачи, используя технико-экономические частные критерии управления, учитывающие особенности ТОУ.

Таковыми частными критериями могут быть: паропроизводительность при заданных требованиях к условиям эксплуатации оборудования; технико-экономическая эффективность, в частности энергетический, а точнее эксергический КПД технологического объекта управления; время осуществления технологического процесса получения электрической энергии и т.д.

Исходя из особенностей принятого частного критерия управления, ставится задача его максимизации или минимизации. Затем необходимо задать в форме равенства (неравенства) определенные ограничения - верхние (нижние) пределы управляющих воздействий и переменных. Жесткими будут физические ограничения, к примеру, температура пара, КПД паротурбины и др. Нарушить физические ограничения невозможно.

Информационная функция АСУ о состоянии ТОО ШАТЭК реализуется путем выполнения следующих задач: контроля параметров технологических процессов получения пара, генерирования электрической энергии, очистки дымовых газов; индикация (регистрация) параметров процессов по требованиям оператора или циклически; косвенные измерения и вычисления комплексных показателей, в том числе технико-экономических, определяющих функционирование ТОО; диагностика состояния оборудования, прогноз хода технологического процесса.

Управляющая функция АСУ в получении информации о состоянии ТОО состоит в следующем: оптимальное управление установившимися режимами получения пара, электрической энергии, степени очистки дымовых газов от вредных примесей; координация функциональных подсистем и оптимальное распределение ресурсов, к примеру, участка углеобогащения, топливоподачи, а в перспективе – газогенерации угля и др.; предотвращение (локализация) аварийных ситуаций в ШАТЭК.

Для рассматриваемого комплекса возможна структура вычислительно-информационно-управляющей системы по виду супервизорной [67]. Особенность этого управления состоит в том, что вычислительный комплекс включается в контур управления ШАТЭК и вырабатывает управляющие воздействия по изменению заданий системам автоматического регулирования. Задача супервизорного управления ШАТЭК – поддержание процесса угледобычи, парообразования, электрогенерации вблизи оптимальных параметров путем оперативного воздействия на них. При этом исключается субъективный фактор, т.к. роль операторов сводится к наблюдению. Оператор включается в систему только при нарушении нормальных (установленных) режимов работы контролируемых объектов.

## 2. Принципы аналитического описания тепловых объектов управления ШАТЭК.

На стадии теплотехнических расчетов объектов ШАТЭК можно с достаточной степенью точности получить уравнения статики. Описание динамики объектов ШАТЭК возможно, если в качестве аналогов взять процессы, происходящие на тепловых (угольных) электрических станциях и промышленных котельных.

Динамические свойства этих сходных объектов можно описать наиболее общими по форме дифференциальными уравнениями. Составление этих уравнений основано на физических законах, однозначно определяющих процессы в системах. Например, описание котлоагрегатов базируется на уравнениях теплового и материального балансов, уравнениях теплообмена и теплопроводности и т.д., которые имеют конкретное выражение основных физических законов — сохранения энергии, массы, количества движения, основ термодинамики и молекулярной физики.

При выборе математической модели теплотехнических объектов ШАТЭК необходимы определенные упрощения, которые бы не нарушали физические принципы их функционирования. Например, математическое описание котлоагрегата, паровой турбины, газоочистной установки и т.д., как модельных объектов, может быть в форме обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. Следовательно, для расчета автоматической системы регулирования (АСР) теплотехническими объектами ШАТЭК достаточно располагать линейной моделью, которая получается в результате линеаризации исходного нелинейного уравнения. Известны ряд методов построения математических моделей тепловых объектов на основе обыкновенных дифференциальных уравнений [4,5]. Построение математической модели, к примеру, теплообменников может быть осуществлено с учетом распределенности параметров [6]. Исходные уравнения, как известно, в частных производных, к примеру, уравнения энергии и сплошности среды, решаются с учетом уравнений состояния, граничных условий, дополнительных предположений. Решение в области изображений по Лапласу позволяет получить выражения передаточных функций распределенной системы. Коэффициенты этих передаточных функций определяются с использованием теплотехнических характеристик, к примеру, теплообменника [7] или газлифта [9].

### 3. Принципы математического описания термодинамических объектов и систем управления ШАТЭК

С позиции физико-математического подхода к термодинамическим объектам ШАТЭК они, как объект управления, характеризуются вероятностными, многомерными нелинейными системами дифференциальных уравнений в частных производных. При этом, решение основывается в большинстве на инерционной, детерминированной, стационарной мате-

математической модели с сосредоточенными параметрами, с использованием методов теории аналитических функций. Для уравнений статики и динамики возможна линеаризация уравнений вследствие того, что имеющиеся место нелинейности непрерывны и монотонны, а отклонения переменных ограничены. Математической основой линеаризации является разложение в ряд Тейлора. Если системы имеют нелинейности, линеаризация которых невозможна, то используются гармоническая, статистическая и другие методы линеаризации [8].

Рассмотрим, к примеру, дифференциальное уравнение инерционной линейной системы с сосредоточенными параметрами (в частности, для теплообменника):

$$y^{(n)}(t) + y^{(n-1)} + \dots + y'(t) + y(t) = k[x^{(m)}(t) + x^{(m-1)}(t) + \dots + x'(t) + x(t)], \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент передачи динамической системы;  $n \geq m$ .

Коэффициенты при производных, имеющие размерность времени, условно не учитываем. При решении (1) могут быть получены импульсные, переходные и частотные характеристики.

При воздействии  $x(t) = 1(t)$  из рассмотрения исключается скачок (к примеру, изменения давления в теплообменнике), а вводятся новые начальные значения координаты и ее производных для момента времени  $t = +0$ . В общем случае, можно сказать, что если начальные значения при приближении к  $t = 0$  слева равны:

$$y(-0), y'(-0), \dots, y^{(n-1)}(-0),$$

то начальные значения для  $t(+0)$  составят

$$y(+0) = y(-0); y'(+0) = y'(-0); \dots, y^{(n-m-1)}(+0) = y^{(n-m-1)}(-0); \text{ и т.д.}$$

Начальные значения  $t = +0$  определяют правую часть уравнения (1) в виде  $k \cdot 1(t)$  и оно решается известными приемами [7].

Передаточная функция системы получается более просто из уравнения (1) как отношение преобразованных по Лапласу выходной переменной и входной при нулевых начальных условиях:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} \quad (2)$$

Если подставить в (2) частные значения комплексной переменной  $p = j\omega$ , то получим комплексную частотную характеристику системы:

$$W(j\omega) = \operatorname{Re}W(j\omega) + j\operatorname{Im}W(j\omega). \quad (3)$$

Определение характеристики системы возможно преобразованием Фурье импульсной характеристики. Известна формула характеристики [7]:

$$W(j\omega) = \int_0^{\infty} w(t) e^{-j\omega t} dt = |W(j\omega)| \exp[-j\arctg \frac{\operatorname{Im}W(j\omega)}{\operatorname{Re}W(j\omega)}], \quad (4)$$

где  $\operatorname{Re}W(j\omega)$  — действительная часть характеристики;

$\operatorname{Im}W(j\omega)$  — мнимая часть характеристики.

Известен ряд типичных характеристик тепловых объектов регулирования, которые можно использовать в рассматриваемых уравнениях [7,8].

При построении математических моделей автоматических систем регулирования термодинамических объектов ШАТЭК удобно использовать простейшие системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений не выше второго порядка. К примеру, аналитическое выражение типовой характеристики интегрирующего линейного звена имеет вид:

$$y(t) = k \int_0^t x(t) dt. \quad (5)$$

Переходная характеристика  $kt \cdot 1(t)$ , а передаточная функция  $k(p)^{-1}$ . Тогда комплексная частотная характеристика:

$$W(j\omega) = k\omega^{-1} \exp(-j\frac{\pi}{2}). \quad (6)$$

Используя уравнение (2), получаем изображение по Лапласу выходной величины системы с передаточной функцией  $W(p)$ , т.е.:

$$y(p) = W(p) \cdot x(p). \quad (7)$$

При заданном входном параметре  $x(p)$  можно определить выходную величину  $y(t)$  во времени, используя известные методы операционного исчисления [7,9].

#### 4. Принципы оптимизации статических режимов работы объектов управления ШАТЭК.

Как известно, [5,6] статическая модель объекта управления

(3) где  $g$  - мгновенное значение показателя;  
 $T$  - интервал времени, при котором рассматривается задача управления.

(4) 5. Принципы оптимизации динамических режимов работы объектов управления ШАТЭК.

Подойдем к формулировке принципов оптимизации динамических режимов работы объектов управления ШАТЭК, сформулировав ряд задач, в частности, максимального быстрогодействия, когда необходимо за минимальное время перевести системы комплекса из одного состояния в другое (возможная вариация нагрузки паровой турбины в зависимости от энергопотребления в электрической и тепловой цепях). Вторая задача на минимальную стоимость производимой электрической и тепловой энергии, причем, минимизация затрат в заданном интервале времени.

Исходя из отмеченных задач, можно определить общую форму математической модели объекта управления ШАТЭК - векторное дифференциальное уравнение такого типа:

$$dy = f(y, u)dt, \quad (14)$$

где  $y$  - многомерный вектор выходных переменных;  
 $u$  - многомерный вектор управляющих воздействий;  
 $f$  - многомерная векторная функция векторных аргументов.

По физической сущности, заложенной во всех объектах ШАТЭК, а именно трансформации и передачи энергии, управляющие воздействия  $u(t)$  ограничиваются кусочно-непрерывными управлениями с ограниченными компонентами. Задача оптимизации при этом может быть определена следующим образом: отыскать такое значение  $u(t)$ , чтобы перевести объект (систему) из состояния  $y(0)$  в заданное состояние  $y(T)$ , т.е.

$$I = \int_0^T f_0[y(t), u(t)]dt = \min. \quad (15)$$

В конкретном случае можно использовать принцип максимума Понтрягина [6], который позволяет установить необходимые условия оптимальности. Физическая сущность конкретной задачи определяется

достаточность этих условий. Учитывая, что ряд физико-математических моделей объектов управления ШАТЭ нестационарны, то оптимизация может быть осуществлена методом динамического программирования [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борзенко И.М. Адаптация, прогнозирование и выбор решений в алгоритмах управления технологическими объектами. М.: Энергоатомиздат.-1984.
2. Дуэль М.А. Автоматизированные системы управления энергоблоками с использованием средств вычислительной техники. М.: Энергоиздат.-1983.
3. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. М.: Энергоатомиздат.-1986.
4. Построение математических моделей химико-технологических объектов/ Е.Г.Дудников, В.С.Балакирев, В.Н.Кривсунов, А.М.Цирлин. Л.:Химия.-1970.
5. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами, М.: Энергоатомиздат.-1985.
6. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат.-1986.
7. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник/ В.А.Григорьев, В.М.Зорин. М.: Энергоатомиздат.-1991.-с.588.
8. Строганов Р.П. Управляющие машины и их применение. М.: Высшая школа.-1986.
9. Гого В.Б. Разработка газлифтных систем, использующих отходящие газы предприятий угольной промышленности. Автореферат канд. диссертации, Донецк, ДПИ.-1985.