

составит не более одного отопительного периода (для рассматриваемой станции этот период составит 4 мес.). Срок окупаемости существенно зависит: от вида сжигаемого топлива (уголь, газ, мазут); стоимости сжигаемого топлива; удельных расходов топлива на выработку и отпуск продукции (электроэнергии); себестоимости продукции (электроэнергии).

Как видно на рис. 7, значения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии при использовании разработанной схемы с отводом тепла от обратной сетевой воды во всем диапазоне температур наружного воздуха значительно ниже, чем при схеме без отвода тепла. Разработанная схема на теплофикационном турбоагрегате типа Т-115-8,8 ЛМЗ позволяет снизить удельные расходы топлива

на 3,5...13,85 % в зависимости от  $t_{н.в.}$ . Данное обстоятельство позволяет существенно экономить топливо на выработку и отпуск электроэнергии.

#### Выводы

Разработана схема подогрева воздуха котлов обратной сетевой водой, позволяющая существенно улучшить показатели работы ТЭС. На исследуемой станции с теплофикационным турбоагрегатом типа Т-115-8,8 ЛМЗ внедрение предложенной схемы позволит снизить удельные расходы топлива на 3,5...13,85 % в зависимости от температуры наружного воздуха. Низкий срок окупаемости (около 4 мес.) подчеркивает эффективность и рациональность внедрения предлагаемых схемных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиршфельд В.Я. Режимы работы и эксплуатации ТЭС. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.: ил.
2. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.: ил.

3. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.: ил.
4. Антонова А.М., Вагнер М.А., Калугин Б.Ф. Общая энергетика. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 387 с.

Поступила 01.09.2008 г.

УДК 681.5.013

## АЛГОРИТМ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ МНОГОСЕКЦИОННЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А.Н. Грибков, С.В. Артемова

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

E-mail: crems@crems.jesby.tstu.ru

*Рассмотрен алгоритм ресурсосберегающего управления динамическими режимами в многосекционных сушильных установках, который возможно использовать в информационно-управляющей системе для синтеза оптимальных управляющих воздействий в реальном времени. Приведены постановка задачи ресурсосберегающего управления и пример ее решения для пятисекционной сушильной установки.*

#### Ключевые слова:

*Ресурсосберегающее управление, сушильная установка, метод синтезирующих переменных.*

#### Введение

Сушка широко распространенный энергоемкий процесс в химической, металлургической, машиностроительной и других отраслях промышленности. Во многих случаях сушка является одним из важнейших этапов производства, определяющих не только качество готовой продукции, но и технико-экономические показатели производства в целом. Затраты на электроэнергию и различные виды топлива (теплоносителей) для большинства предприятий этих отраслей относятся к числу основных и становятся сопоставимыми с затратами на сырье. Одним из методов снижения энерго-ресурсопотребления и повышения качества выпускаемой продукции является создание и внедре-

ние информационно-управляющих систем (ИУС) сушильными установками. Проблеме создания систем энергосберегающего управления посвящено множество работ Л.С. Понтрягина, Р. Беллмана, А.Д. Александрова, И.П. Баумштейна, В.П. Мешалкина и др.

Важным этапом создания ИУС является разработка ее алгоритмического обеспечения, позволяющего решать задачи ресурсосберегающего управления динамическими режимами многосекционных сушильных установок. Как объекты управления такие установки имеют ряд особенностей: большие затраты энергоресурсов, высокие требования к точности поддержания требуемых температурных режимов, необходимость учета взаимного

влияния секций друг на друга, наличие случайных возмущений в каналах управления и измерения и т. д., которые должны быть учтены на этапе проектирования алгоритмического обеспечения ИУС.

### 1. Постановка задачи оптимального ресурсосберегающего управления

Для решения задач оптимального ресурсосберегающего управления, сушильную установку можно рассматривать как многомерный объект, имеющий несколько входов и выходов. Основной его особенностью является необходимость учета взаимного влияния соседних секций (зон) друг на друга.

Рассмотрим постановку задачи оптимального управления на примере  $n$ -зонной конвективной вальце-ленточной сушильной установки СВЛ 0,6-1,2 НК-30 [1]. Сушилка вальце-ленточная (СВЛ) представляет собой коридор, в котором размещены продуктовый пластинчатый и скребковый конвейеры. Коридор разделен на секции. В каждой секции обеспечивается подогрев воздуха в паровом калорифере. Сушилка спроектирована таким образом, что характерные участки кинетической кривой процесса сушки соответствуют отдельным зонам. Каждая зона может иметь свои конструктивные особенности и работать самостоятельно при любом заданном гидродинамическом и температурном режимах [2]. Упрощенная схема сушильной установки приведена на рис. 1.

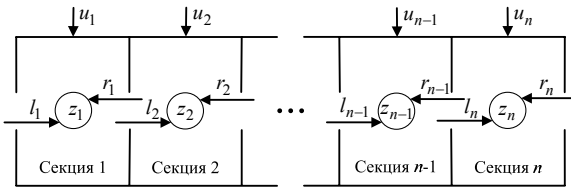


Рис. 1. Упрощенная схема  $n$ -секционной СВЛ

На данной схеме  $z_i, i=\overline{1,n}$  – фазовая координата (температура в центре  $i$ -ой зоны, °С);  $u_i$  – управляющее воздействие (степень открытия крана подачи пара в калорифер  $i$ -ой секции, %);  $l_i, r_i$  – возмущающие воздействия со стороны соседних секций СВЛ слева и справа.

Динамику многозонного объекта можно представить множеством моделей, описывающих динамические режимы отдельных секций

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}. \quad (1)$$

Модель  $i$ -ой секции представляет собой систему дифференциальных уравнений

$$m_i: \quad \dot{z}_i = A_i z_i(t) + B_i u_i(t) + C_i l_i(t) + D_i r_i(t), i = \overline{1,n},$$

$$l_i(t) = z_i(t) - z_{i-1}(t), r_i(t) = z_i(t) - z_{i+1}(t),$$

здесь  $A_i, B_i, C_i, D_i$  – матрицы параметров модели для  $i$ -ой зоны;  $z_i(t)$  – фазовая координата  $i$ -ой зоны.

Необходимо перевести объект, описываемый моделью (1), из начального состояния в конечное

$$z_i(t_i^0) = z_i^0 \rightarrow z_i(t_i^k) = z_i^k, \quad (2)$$

при ограничении на управляющее воздействие в каждый момент времени

$$\forall t \in [t_i^0, t_i^k]: u_i(t) \in [u_n, u_n], \quad (3)$$

с минимумом функционала

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^n J_i = \sum_{i=1}^n \int_{t_i^0}^{t_i^k} |u_i(t)| dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

при этом необходимо обеспечить выполнение условия

$$t_1^k = t_2^k = \dots = t_n^k, \quad (5)$$

т. е. конечное значение времени разогрева у всех секций должно совпадать для обеспечения одновременного завершения динамических режимов во всех зонах. Различие во времени окончания разогрева  $t_i^k$  зон обусловлено тем, что калориферы, установленные в секциях СВЛ, отличаются своими техническими характеристиками и, следовательно, изменяются параметры моделей динамики  $m_i$  для каждой секции.

Для численного решения задачи задаются массивы исходных данных

$$R_i = \{A_i, B_i, C_i, D_i, z_i^0, z_i^k, u_n, u_n, t_i^0, t_i^k\},$$

определяются оптимальная управляющая программа

$$u_i^*(\bullet) = (u_i^*(t), t \in [t_i^0, t_i^k])$$

и траектории изменения фазовых координат

$$z_i^*(\bullet) = (z_i^*(t), t \in [t_i^0, t_i^k] / u_i^*(t)),$$

соответствующие каждой зоне.

### 2. Алгоритм ресурсосберегающего управления

Для решения поставленной задачи (1)–(5) предлагается использовать комбинированный алгоритм ресурсосберегающего управления на основе принципа максимума Понтрягина, динамического программирования и метода синтезирующих переменных [3], который включает в себя следующие этапы:

- 1) На основе результатов полного анализа, путем подбора оптимального значения  $t_i^k$  рассчитываются оптимальные программы управления для каждой секции СВЛ

$$u_i^*(t) = \begin{cases} \gamma_1, & t \in [t_i^0, t_i^1), \\ \gamma_2, & t \in [t_i^1, t_i^2), i = \overline{1,n}, \\ \gamma_3, & t \in [t_i^2, t_i^k], \end{cases}$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \in [u_n, u_n]$ ,  $t_i^1, t_i^2$  – времена переключения. Выбор только трех уровней управления обусловлен необходимостью реализации управляющих воздействий в реальном времени, т. к. при этом обеспечивается оперативный расчет времен переключения с помощью метода синтезирующих переменных.

- 2) Определяется максимальное конечное время разогрева

$$t_{\max}^k = \max \{t_i^k\}, i = \overline{1,n}.$$

- 3) Вычисляются времена начала разогрева для каждой секции относительно  $t_{\max}^k$ :

$$t_i^h = t_{\max}^k - t_i^k.$$

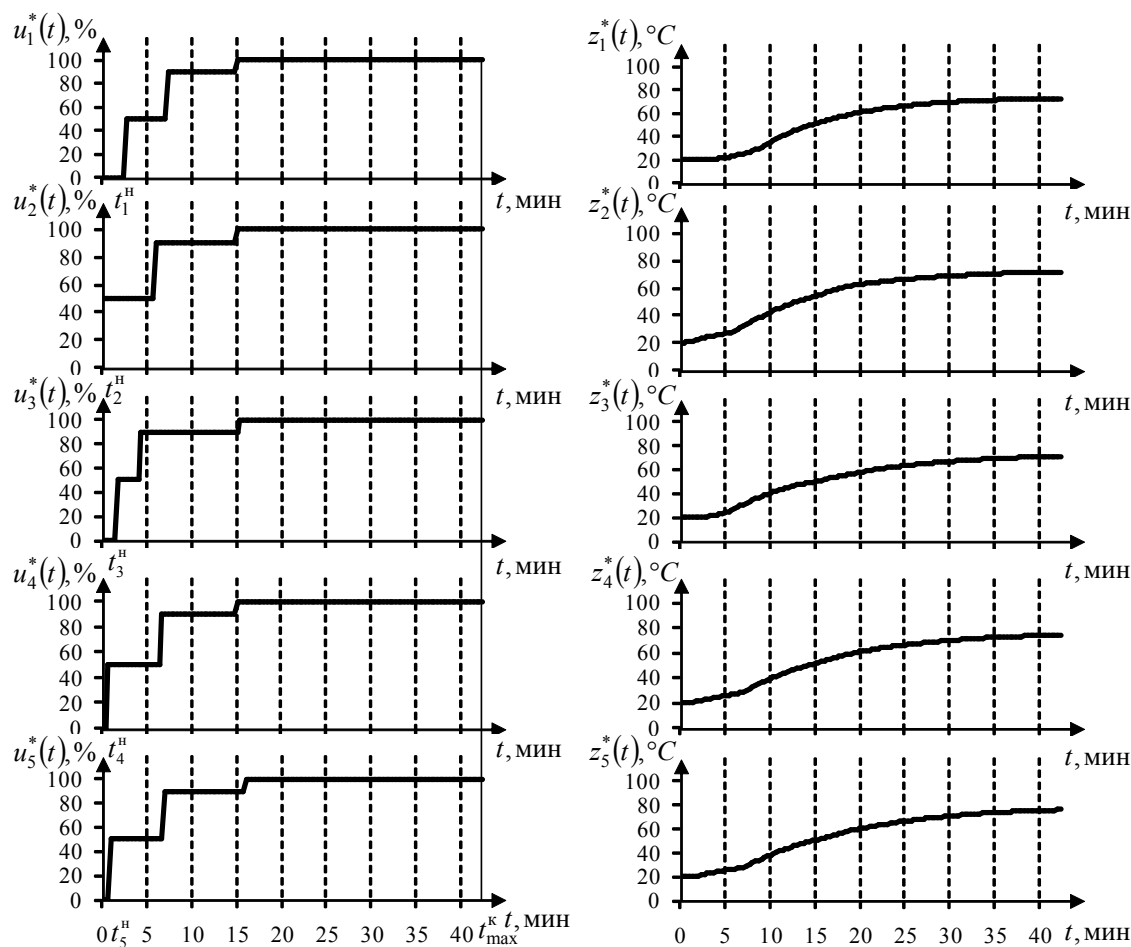


Рис. 2. Графики управляющих воздействий и фазовых координат для пятисекционной СВЛ

4) В результате получившееся множество программ  $\{u_1^*(\bullet), u_2^*(\bullet), \dots, u_n^*(\bullet)\}$ , реализуемых на рассчитанных интервалах времен  $[t_i^k, t_{\max}^k]$ , позволяет минимизировать функционал  $J_2$  по всем секциям совместно и обеспечивает выполнение условия (5).

Графики оптимальных управляющих воздействий и фазовых координат, полученные с применением вышеописанного алгоритма, для оптимального управления пятисекционной сушильной установкой показаны на рис. 2.

#### Выводы

1. Предложенный алгоритм обеспечивает оперативное решение задачи ресурсосберегающего

управления и синтез оптимальных управляющих воздействий в реальном времени, что позволяет реализовать его в информационно-управляющей системе динамическими режимами многосекционных сушильных установок.

2. Важными особенностями алгоритма являются учет взаимного влияния секций друг на друга и возможность получения решения задачи оптимального управления, которое обеспечит завершение динамических режимов во всех секциях сушилки одновременно.
3. Реализация оптимального управления в соответствии с рассмотренным алгоритмом позволяет получить экономию энергоресурсов 5...10 % за счет снижения потерь в окружающей среде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемова С.В., Грибков А.Н. Задача ресурсосберегающего управления динамическими режимами многосекционных сушильных установок // Информационные системы и процессы: сб. науч. тр. – Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена: Изд-во «Нобелистика», 2005. – Вып. 3. – С. 142–145.
2. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1970 – 432 с.

3. Муромцев Д.Ю. Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами. – Тамбов; М.; СПб.; Баку; Вена: Изд-во «Нобелистика», 2005. – 202 с.

Поступила 29.10.2008 г.