

И.В. Тюрин

## ОБЩАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

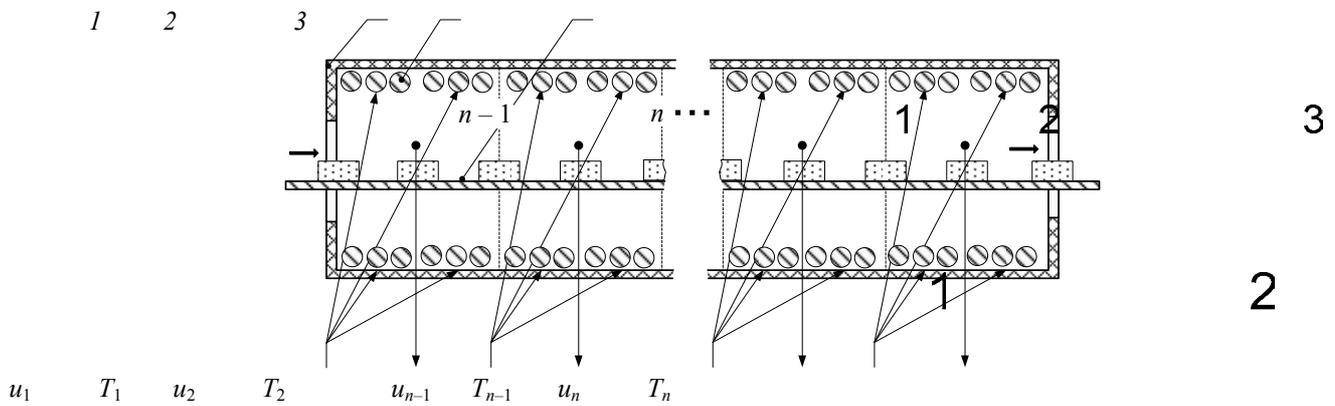
Проблема энергосбережения в последние годы вышла на одно из первых мест в вопросах обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции при минимальной ее себестоимости. Кроме того, после подписания Россией Киотского протокола, проблема снижения вредных выбросов в атмосферу промышленными предприятиями и электростанциями приобретает особую значимость. Одним из путей решения указанных задач, является оптимальное управление энергоемкими объектами.

**МНОГОЗОННЫЕ ПЕЧИ С ЭЛЕКТРОНАГРЕВОМ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В РАДИО-ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НАПРИМЕР, ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ. ТАКИЕ ПЕЧИ ЯВЛЯЮТСЯ ТИПИЧНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ИМЕЮТ РЯД ОСОБЕННОСТЕЙ. К НИМ ПРЕЖДЕ ВСЕГО ОТНОСЯТСЯ БОЛЬШИЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ, ВЫСОКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДДЕРЖАНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ, СИЛЬНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПЕРЕМЕННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В СОСЕДНИХ УЧАСТКАХ ПЕЧИ, ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО УПРАВЛЯЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ЖЕСТКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ, ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОТДЕЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕЧИ. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ РЕШЕНИЕ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗЕРВОВ ПО СНИЖЕНИЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ И УМЕНЬШЕНИЮ ДОЛИ БРАКА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ.**

Важным резервом снижения энергопотребления печей является оптимальное управление (ОУ) переходными режимами с учетом начальных условий и запаздывания. Большинство существующих алгоритмов управления не учитывают теплоаккумулирующие способности конструкции аппаратов с электронагревом и неточность задания начальных условий, что ведет к перерасходу энергии в динамических режимах. Теоретические исследования показывают, что при оптимальном управлении нагревом уменьшение затрат энергии в динамических режимах может находиться в пределах 10...25 % по сравнению с традиционным управлением. Необходимо отметить, что энергосберегающее управление характеризуется плавным протеканием тепловых процессов, а это ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации оборудования.

Для решения задач оптимального управления (ЗОУ) функционированием печей требуются математические модели, адекватно описывающие протекающие в них динамические процессы. Так как многозонные печи являются тепловыми объектами с распределенными параметрами, то модель динамики должна отражать изменение температуры во времени в каждой точке печи.

В качестве объекта управления рассматривается  $n$ -зонная электрическая печь, упрощенная схема которой приведена на рис. 1. Внутри печи движется платформа с обрабатываемыми заготовками. Температуры  $T_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  в каждой зоне управляются напряжениями  $u_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , подаваемыми на нагревательные элементы (ТЭНы).



**Рис. 1** Схема  $n$ -зонной электрической печи:

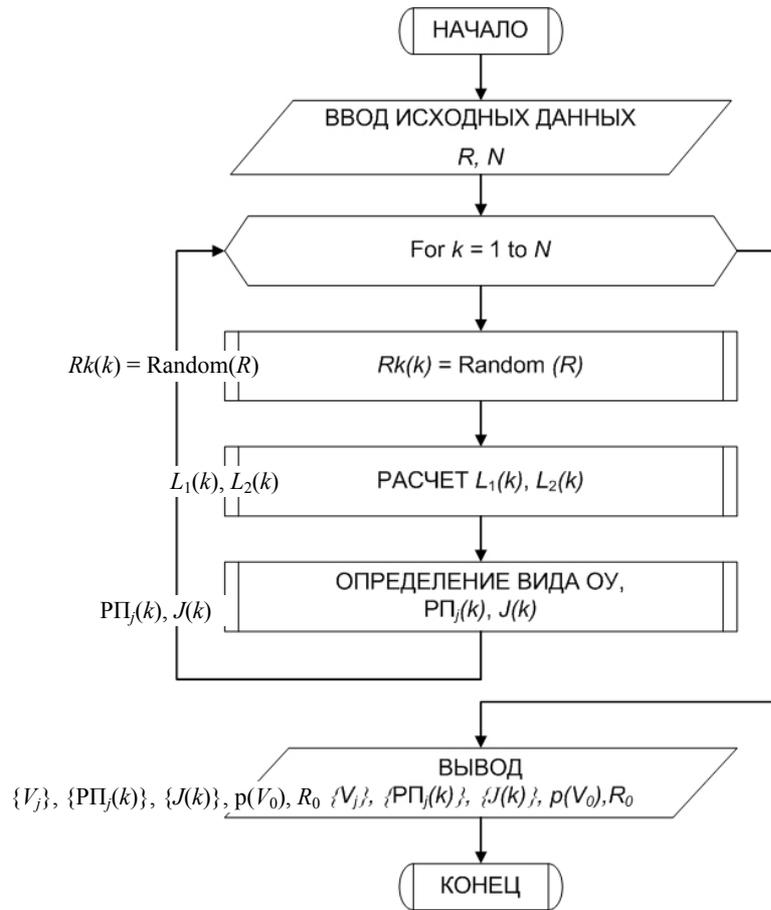
1 – каркас печи; 2 – нагревательные элементы;

3 – движущая платформа с заготовками

Решение задач синтеза оптимального управления является заключительным этапом создания алгоритмического обеспечения управления печью [1]. Исходными данными являются диапазоны возможных изменений параметров объекта, границ управляющих воздействий, начального и конечного значений вектора фазовых координат, начало и конец временного интервала, границ динамического запаздывания по каналу управления и возмущения, т.е. результаты идентификации модели динамики объекта, представленные в виде массива реквизитов  $R$ , а также модели ЗОУ, представленной в виде четверки  $\langle M_{ik}, F, S, O \rangle$ , где  $M_{ik}$  – модель динамики для  $i$ -ой зоны на  $k$ -м температурном интервале;  $F$  – минимизируемый функционал;  $S$  – стратегия реализации ОУ;  $O$  – ограничения. В состав модели ЗОУ включаются формулы расчета синтезирующих переменных, соотношения для определения границ областей видов ОУ, формулы для расчета параметров ОУ, траекторий изменения фазовых координат и значений функционалов.

Общая задача синтеза ОУ применительно к конкретной модели ЗОУ формулируется следующим образом. На основе результатов полного анализа с использованием синтезирующих переменных в заданном диапазоне возможного изменения компонентов массива  $R$  в реальных условиях эксплуатации печи требуется определить встречающиеся виды функций программного управления и соотношения для расчета параметров ОУ, т.е. создать алгоритмическое обеспечение. Таким образом, требуется найти все возможные виды функций ОУ для указанных интервальных значений исходных данных, а также соотношения, позволяющие проверять существование решения ЗОУ и определять вид управления, формулы расчета параметров ОУ, траектории изменения фазовых координат и значения минимизируемого функционала. Блок-схема алгоритма решения данной задачи представлена на рис. 2.

Поле исходных данных для программы расчета изменения оптимальных управляющих воздействий вводится в виде массива переменной длины  $R$  интервальных значений параметров задачи, а также задается число вычислительных экспериментов решения ЗОУ  $N$ . Далее в цикле случайным образом осуществляется выбор из интервалов конкретных значений данных и расчет для них ОУ. Другими словами, формируется массив  $Rk$ , компонентами которого служат случайно выбранные элементы массива  $R$ . Далее, используя значения элементов сформированного массива  $Rk$ , рассчитываются значения синтезирующих переменных  $L_1$  и  $L_2$ . Следующий арифметический блок определяет вид функции ОУ, значения параметров и функционала. По результатам каждого прохода цикла накапливается информация о видах



**Рис. 2** Блок-схема алгоритма решения общей задачи синтеза ОУ

функции ОУ в виде множества  $\{V_j\}$ , рассчитанных параметров  $\{РП_j\}$ , величин функционала  $\{J(k)\}$ , а также подсчитывается вероятность отсутствия решения ЗОУ  $p(V_0)$  и значения реквизитов  $R_0$ , при которых ЗОУ не имеет решения. Эти данные передаются в блок вывода. Рассмотренная задача решается с использованием ЭВМ разработчиком алгоритмического обеспечения ЗОУ.

В заключении следует отметить, что приведенные в данной статье результаты реализованы в автоматизированных системах управления многозонными печами с электронагревом на ОАО "Котовский завод "Алмаз" и ФГУП "Тамбовский завод "Октябрь".

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Муромцев Д.Ю., Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П. Синтез энергосберегающего управления много-стадийными процессами комбинированным методом // Автоматика и телемеханика, 2002. № 3. С. 169 – 178.