

*Егорова Т.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АСР ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ

Висловлюються результати експериментального дослідження, синтезу системи управління тепловим режимом трубчастої печі на базі мікропроцесорного контролера.

Ключові слова: *трубчаста піч, тепловий режим, синтез управління, реальні похідні, бажана екстремаль.*

Излагаются результаты экспериментального исследования, синтеза системы управления тепловым режимом трубчатой печи на базе микропроцессорного контроллера.

Ключевые слова: *трубчатая печь, тепловой режим, синтез управления, реальные производные, желаемая экстремаль.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Энергетические кризисы, периодически сотрясающие мировую экономику, требуют поиска альтернативных источников энергии. Одним из решений является производство бензола, который может использоваться в качестве горючего, из побочного продукта (сырого бензола) получения кокса в металлургической отрасли.

Для получения сырого бензола и его регенерации в технологических циклах нефтеперерабатывающих, коксохимических и химических производств используются трубчатые печи. На коксохимических заводах их используют для нагрева органического поглотителя (каменноугольного масла) [1].

Недостатком процесса улавливания является большая вероятность экономического и экологического ущерба при несоблюдении температурных режимов и техники безопасности, к которым предъявляются высокие точностные требования.

Эксплуатируемые в настоящее время системы управления нагревом поглотительного масла в трубчатой печи не соответствуют предъявляемым требованиям из-за низкого качества регулирования, связанного с большими перерегулированиями и длительными переходными процессами при обработке внешних возмущений [2]. Поэтому возникает необходимость создания высокоэффективной автоматической системы.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время 95-98% автоматических систем регулирования промышленными объектами представлены одноконтурными системами с ПИ-регулятором [3]. Однако они не обеспечивают точного управления технологическими процессами, поскольку не используют весь вектор состояния объекта управления.

Как правило, на реальных технологических объектах измерению доступна только одна фазовая координата. Вместе с тем необходимо иметь информацию о недоступных прямому измерению (n-1) фазовых координатах. В этом случае вместо неизмеряемых координат в управлении используют производные регулируемого параметра. А поскольку в технике невозможно получать идеальные производные, возникает необходимость синтеза закона управления на базе реальных производных [4], используя для этого методы аналитического конструирования регуляторов (АКОР) [5].

Постановка задачи. Разработать метод оптимального управления объектом «трубчатая печь» на базе реальных производных с использованием методов оптимального управления.

Изложение материала и его результаты. В [4] математическая модель исследуемого объекта была определена в виде апериодического звена третьего порядка с передаточной функцией

$$W^*(p) = \frac{k'_{об}}{(T_1'p + 1)(T_2'p + 1)^2},$$

где $k'_{об} = 1$, $T_1' = 165c$, $T_2' = 70c$.

Движение объекта с учетом исполнительного механизма постоянной скорости описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2, \\ \dot{y}_2 &= y_3, \\ \dot{y}_3 &= \frac{1}{b_3} y_4 - \frac{b_2}{b_3} y_3 - \frac{b_1}{b_3} y_2 - \frac{1}{b_3} y_1, \\ \dot{y}_4 &= \frac{1}{T_{ум}} U. \end{aligned} \tag{1}$$

В качестве критерия оптимальности принимается квадратичный функционал

$$I = \int_0^{\infty} \left(a_1 y_1^2 + a_2 y_2^2 + a_3 y_3^2 + a_4 y_4^2 + a_5 U^2 + \right. \\ \left. + a_6 \dot{U}^2 + a_7 \ddot{U}^2 + a_8 \ddot{U}^2 + U^{(4)2} \right) dt \quad (2)$$

с производными по управлению до n -ой включительно (определяется порядком передаточной функции объекта).

Необходимо найти такое управление, чтобы на движениях замкнутой этим управлением системы доставлялся минимум функционала (2).

Вместо производных управления вводится переменная u :

$$\begin{aligned} y_5 &= U, \\ y_6 &= \dot{U}, \\ y_7 &= \ddot{U}, \\ y_8 &= \ddot{U}, \end{aligned} \quad (3)$$

и система (1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2, \\ \dot{y}_2 &= y_3, \\ \dot{y}_3 &= c_4 y_4 - c_3 y_3 - c_2 y_2 - c_1 y_1, \\ \dot{y}_4 &= m y_5, \\ \dot{y}_5 &= y_6, \\ \dot{y}_6 &= y_7, \\ \dot{y}_7 &= y_8, \\ \dot{y}_8 &= U_1. \end{aligned} \quad (4)$$

Структурная схема объекта, описываемого системой дифференциальных уравнений (4) приведена на рисунке 1.

Для этой системы критерий оптимальности (2) принимает вид квадратичного функционала

$$I = \int_0^{\infty} \left(\sum_{k=1}^8 a_k y_k^2 + U_1^2 \right) dt \quad (5)$$

и его экстремали $u_1(t)$, заданной в виде характеристического уравнения

$$p^8 + \gamma_8 p^7 + \dots + \gamma_2 p + \gamma_1 = 0. \quad (6)$$

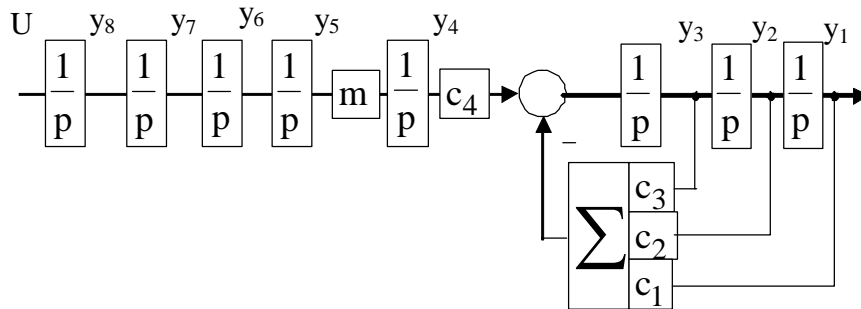


Рисунок 1 – Структурная схема объекта

Методом динамического программирования находится управление

$$U_1 = -A_{18}y_1 - A_{28}y_2 - \dots - A_{88}y_8 \quad (7)$$

для объекта (4).

Характеристическое уравнение замкнутой системы (4), (7) определяется выражением

$$\begin{aligned} & p^8 + p^7(A_{88} + c_3) + p^6(A_{88}c_3 + c_2 + A_{78}) + \\ & + p^5(c_1 + A_{88}c_2 + A_{78}c_3 + A_{68}) + \\ & + p^4(A_{88}c_1 + A_{78}c_2 + A_{68}c_3 + A_{58}) + \\ & + p^3(A_{78}c_1 + A_{68}c_2 + A_{58}c_3 + A_{48}m) + \\ & + p^2(A_{68}c_1 + A_{58}c_2 + A_{48}mc_3 + A_{38}mc_4) + \\ & + p(A_{58}c_1 + A_{48}mc_2 + A_{28}mc_4) + \\ & + A_{48}mc_1 + A_{18}mc_4 = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Характеристическое уравнение (8) определяет переходный процесс в замкнутой системе. Поэтому, чтобы обеспечить его желаемый характер, необходимо, чтобы заданная экстремаль (6) была решением уравнения (8), то есть выполнялись следующие условия:

$$\begin{aligned}
\gamma_8 &= A_{88} + c_3, \gamma_7 = A_{88}c_3 + c_2 + A_{78}, \gamma_6 = A_{88}c_2 + A_{78}c_3 + A_{68} + c_1, \\
\gamma_5 &= A_{88}c_1 + A_{78}c_2 + A_{68}c_3 + A_{58}, \gamma_4 = A_{78}c_1 + A_{68}c_2 + A_{58}c_3 + A_{48}m, \\
\gamma_3 &= A_{68}c_1 + A_{58}c_2 + A_{48}mc_3 + A_{38}mc_4, \gamma_2 = A_{58}c_1 + A_{48}mc_2 + A_{28}mc_4, \\
\gamma_1 &= A_{48}mc_1 + A_{18}c_4.
\end{aligned} \tag{9}$$

Из условия (9) находятся коэффициенты A_{i8} ($i = \overline{1 \div 8}$) оптимального управления (7).

Для реализации замкнутой системы (4), (7) необходимо измерение идеальных производных промежуточных координат

$$\begin{aligned}
\dot{y}_1 &= y_2, \\
\dot{y}_2 &= y_3, \\
\dot{y}_3 &= y_4,
\end{aligned}$$

что технически не реализуемо. Для формирования реальных производных [6] управление (7) приводится к виду

$$U^{(4)} + A_{88}U^{(3)} + A_{78}\ddot{U} + A_{68}\dot{U} + A_{58}U = -A_{48}y_4 - A_{38}y_3 - A_{28}y_2 - A_{18}y_1, \tag{10}$$

используя обозначения (3). Разрешив (10) относительно U , определяется закон управления как функция координат

$$U = \frac{-A_{48}y_4 - A_{38}y_3 - A_{28}y_2 - A_{18}y_1}{p^4 + A_{88}p^3 + A_{78}p^2 + A_{68}p + A_{58}}. \tag{11}$$

Управление (11) совместно с уравнениями объекта (1) определяют движение замкнутой системы, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

Полученная система была промоделирована с целью исследования работы системы оптимального управления трубчатой печи с программно реализованной моделью объекта в режиме реального времени на малоканальном многофункциональном микропроцессорном контроллере типа Ремиконт Р-130. Для выполнения технологического программирования разработана структура конфигураций системы оптимального управления нагревом масла в трубчатой печи. Также было проведено исследование работы системы с ПИ-регулятором, для которого были определены оптимальные параметры настройки на заданный показатель колебательности.

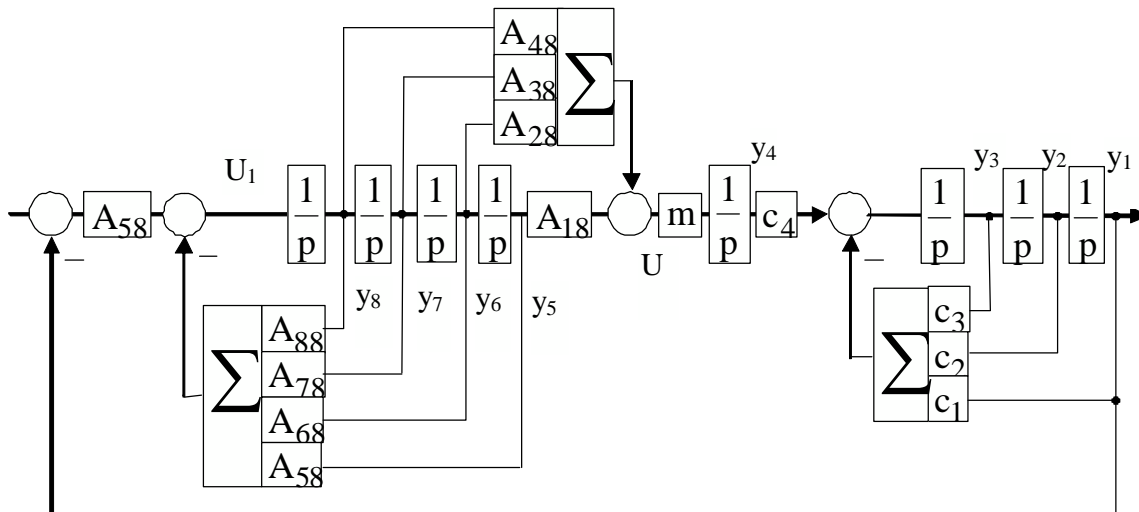


Рисунок 2 – Структурная схема системы регулирования

Результаты моделирования показали, что наилучшее качество регулирования обеспечивает АСР с оптимальным регулятором. Отработка задания АСР с оптимальным регулятором стабильно обеспечивает апериодический переходный процесс, длительность которого постоянна во всем диапазоне изменения задания. При отработке внешнего возмущения максимальное динамическое отклонение Δ в системе с оптимальным регулятором значительно меньше величины динамического отклонения у АСР с ПИ-регулятором (2% и 17% соответственно) (рисунок 3).

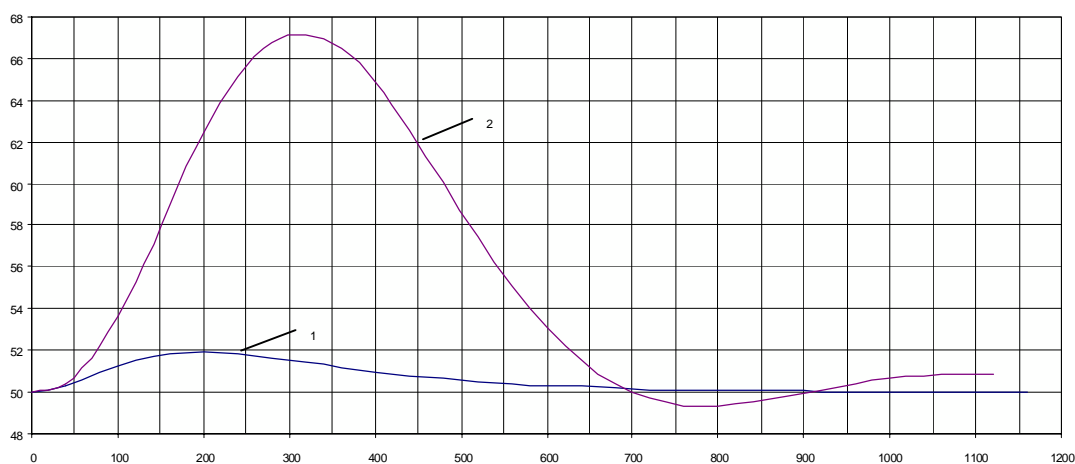


Рисунок 3 – Графики переходных процессов при действии возмущения в исследуемых АСР с оптимальным регулятором (кривая 1) и в АСР с ПИ-регулятором (кривая 2)

Выводы и направления дальнейших исследований. Из результатов моделирования следует, что использование всего вектора состояния объекта действительно улучшает качественные показатели замкнутой системы регулирования.

Однако недостатком разработанной процедуры синтеза является увеличение размерности рассчитанной системы до $(2n)$, что создает значительные вычислительные трудности. Целью дальнейших исследований является модификация данной процедуры синтеза.

Библиографический список

1. Гребенюк А.Ф., Коробчанский В.И., Власов Г.А., Кауфман С.И. Улавливание химических продуктов коксования. – Донецк: Восточный издательский дом, 2002. – 228с.

2. Сравнение методов настройки ПИ-регуляторов. *Comparison of PI controller tuning methods* Foley Michael W., Ramharack Navin R., Copeland Brian R. *hid. and Eng. Chem. Res.* 2005. 44, № 17, С. 6741-6750. Англ.

3. Жилияков В.И., Дрючин В.Г. Синтез систем управления режимами электроэнергетических систем/Изв. ВУЗов. Электричество, 1992, № 12, с. 6 – 10.

4. Токунова Т., Егорова Т. Синтез оптимальных систем на базе реальных производных// Контроль і управління в технічних системах КУТС–97. Книга за матеріалами 4 міжнародної науково технічної конференції м. Вінниця, 21-23 жовт. 1997р. -Вінниця: Універсум-Вінниця, 1997. т1.с.31-37.

5. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов. /Автоматика и телемеханика. – 1960. - №4. – с. 436-441.

6. Егорова Т.И. Экспериментальное определение математической модели трубчатой печи / Вісник Східноукр.держ.університету.-2000.- №1.-с.61-65.

Рекомендовано к печати к.т.н., проф. Паэрандом Ю.Э.