

6. **Жосан А.А.** Концепція моделі динамічного об'єкта керування як потоку вхідних і вихідних даних. Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць, випуск 22, Кривий Ріг, 2008 (жовтень), стор. 154-157.

Рукопис подано до редакції 07.03.14

УДК 681.5

А.А. ЖОСАН, канд. техн. наук, доц., Е. С. КИРСАНЬ, аспірант
Криворожский национальный университет

УПРАВЛЕНИЕ ЗОНОЙ ПЕЧИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ, С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛЯТОРА, ОСНОВАННОГО НА КОНЦЕПЦИИ ДУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В статье рассматривается метод получения адекватного состояния объекта с распределенными в пространстве параметрами. Параметры объекта изменяются и не являются стационарными. Приведен пример управления объектом с распределенными параметрами при изменении параметров входа и получение управляющих данных.

Ключевые слова: модель, дуальный подход, матрица входов-выходов, расширенная матрица.

Проблема и ее связь с научными и практическими целями. Разработка методов расчета систем с распределенными параметрами является гораздо более трудной проблемой, нежели аналогичная проблема для систем с сосредоточенными параметрами, поскольку приходится иметь дело с дифференциальными уравнениями в частных производных при учете сложных реальных краевых условий, характеризующих работу аппарата или объекта в процессе эксплуатации. При этом некоторые системы могут быть описаны как линейными, так и нелинейными уравнениями в частных производных с коэффициентами, являющимися функциями пространственных координат и времени. Аналитические краевые условия могут быть определены на множествах различного вида: односвязных, многосвязных, открытых, замкнутых, ограниченных и неограниченных (линии, поверхность, объем и т. д.). Поэтому помимо трудностей получения аналитического решения возникают осложнения вследствие большого объема вычислений. Однако такой способ усложняет возможности обобщения анализа на другие системы или изменившиеся условия. Кроме того, при этом не всегда есть уверенность, что замена непрерывных уравнений конечно-разностными, приспособленными для машинного счета, приводит к результатам, приближающимся к точному решению. В соответствии с этим возникает необходимость в разработке таких методов расчета и моделирования, при которых управление системой было максимально приближенным к ее реальному состоянию и получать максимально точные результаты.

Анализ исследований и публикаций. Задачи по автоматическому управлению стационарными объектами с сосредоточенными параметрами довольно хорошо изучены, существует много статей, монографий и учебников [1-5], разработаны достаточно эффективные методы для расчета таких систем. Одним из объектов с распределенными параметрами, являются промышленные термические печи. Существует достаточно большое количество статей [6-12], в которых описываются промышленные печи, различные как по конструкции, так и по конфигурации. Разработаны их математическое описание. Однако в последнее время, особый интерес представляют разработки методов получения моделей систем с распределенными параметрами не требующие в качестве исходных данных о геометрических и физических параметрах печи и обрабатываемого материала.

Для этих [13-17] и большинства других работ, несмотря на различные методы получения моделей, характерным есть попытки создания аналитических глобальных во времени и пространстве тепловых процессов.

Постановка цели. Разработать метод, позволяющий решать задачу управления объектом с распределенными параметрами путем использования регулятора, в основе которого лежит идеология дуального управления.

Изложение материала и результаты. Рассматриваемые модели содержат в себе различ-

ные параметры, такие как давление, температура, вязкость, трение и т. д. Для получения таких математических моделей необходимо иметь достаточно полные знания физики процессов. Кроме того, в уравнения известных моделей входят значения геометрических и теплотехнических параметров, которые в ходе эксплуатации печи остаются неизменными. На практике это не соответствует реальным условиям. Практически невозможно адекватно учесть нелинейность характеристик объекта управления.

Для преодоления указанных проблем, в настоящей работе предлагается использование принципа дуального управления сформулированного А.А.Фельдбаумом [18-19].

В работе [20] приведен алгоритм работы дуального регулятора, основная идея которого заключается в формировании расширенной матрицы из дискретных значений управляющего воздействия и выходной реакции. Обработка этой матрицы по предложенному алгоритму, позволяет определить управляющее воздействие.

В настоящей работе, предпринята попытка проверить указанный алгоритм дуального управления применительно к печи с распределенными параметрами. В качестве объекта, который управлялся регулятором, выступал макет нагревательной печи, состоящей из 7 зон нагрева. На рис.1 предоставлен чертеж макета, на базе которого проводились все эксперименты.

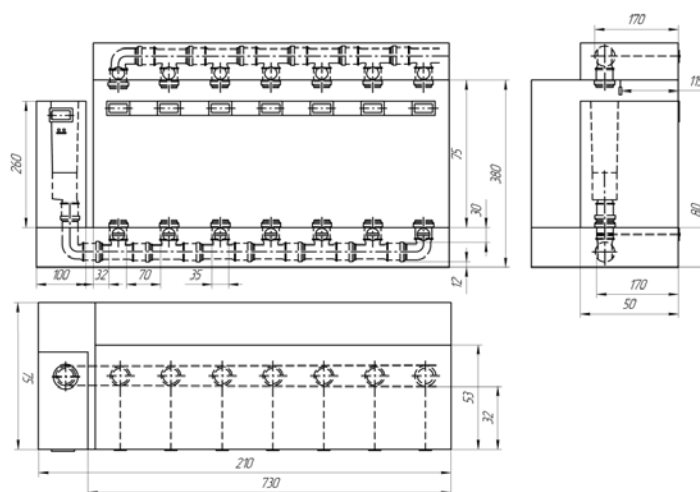


Рис. 1. Чертеж макета печи с распределенными параметрами

В каждую зону имеется подвод теплоносителя, количество которого регулируется уровнем открытия заслонки. Контроль температуры выполняется цифровыми датчиками Dallas ds18b20, которые функционируют с контроллером Arduino 2560 Mega. Измерение температуры производится в каждой зоне. Также, смоделирован неконтролируемый отток теплоносителя.

Для подтверждения того, что макет является моделью печи с распределенными параметрами, были сделаны эксперименты, которые заключались в том, чтобы показать что в каждой зоне макета, возможно установить различные значения температуры. Эти графики представлены на рис. 2.

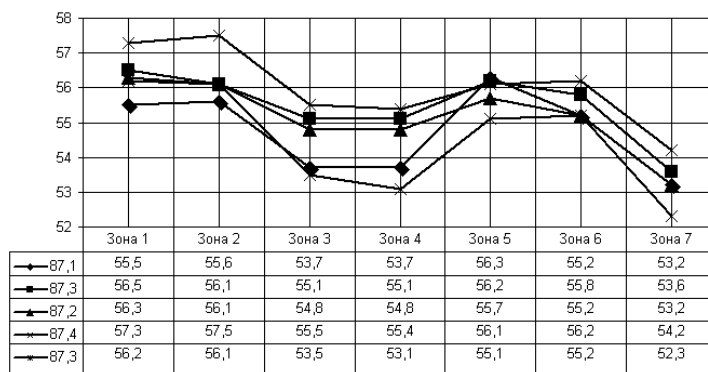


Рис. 2 Результаты исследования по все протяженности печи

Для управления макетом, была написана программа, в основе которой лежала идеология дуального управления с регулятором полученным с расширенной матрицы, состоящей из двух строк [19] было получено выражение (1) для управляющего воздействия.

$$U[n] = U[n-1] \frac{x[n+1]}{x[n]} - \frac{(U[n-2] \cdot x[n] - U[n-1] \cdot x[n-1]) \cdot (x[n-1] \cdot x[n+1] - x^2[n])}{(x[n-2] \cdot x[n] - x^2[n-1]) \cdot x[n]} \quad (1)$$

где U – уровень открытия заслонки, для подачи теплоносителя в зону, x – значение температуры, n – номер интервала дискретности.

Из (1) видно, что закон управления не зависит от свойств объекта управления.

Использование дуального регулятора проводилось в пределах одной зоны и в регулятор вводились данные этой зоны.

Температура остальных зон непосредственно не учитывалась так как и отток тепла.

Для синтеза такого регулятора не требовались знания о свойствах материала, печи, а также возмущающего действия на объект.

Печь рассматривается как некий "черный ящик" [21], природа которого неизвестна, а известны значения вход-выход.

Эксперименты проводились в одной зоне печи.

Очевидно, что величина температуры в одной секции содержит информацию о температуре в других зонах печи и о расходах теплоносителя.

Эти рассуждения находятся в полном соответствии с теоремой Такенса [22-23] о возможности реконструкции «черного ящика» по одномерной реализации выходных данных.

С учетом всех этих условий, были сделаны эксперименты.

Эксперимент заключался в том, что на регулятор подавались начальные условия системы: значение температуры на начало эксперимента;

и уровень открытия заслонки.

Задавались условия для работы:

количество интервалов для обучения регулятора;

желаемое значение температуры в заданной зоне;

количество рабочих интервалов.

После запуска, и выполнения всех условий, имеем следующие значения, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Заданное значение t_3 , °C	Начальное значение t , °C	Измеренные значения t , °C
36	18	18,06
		19,75
		21,12
		22,5
		23,81
		24,87
		25,94
		26,87
36	18	27,75
		28,56
		29,31
		30,06
		30,81
		31,56
		32
		32,69
		33,31
		33,75
		34,31
		34,81
		35,38
		35,88
36,38		
36,25		
35,94		

На рис. 3 приведен график результатов исследования.

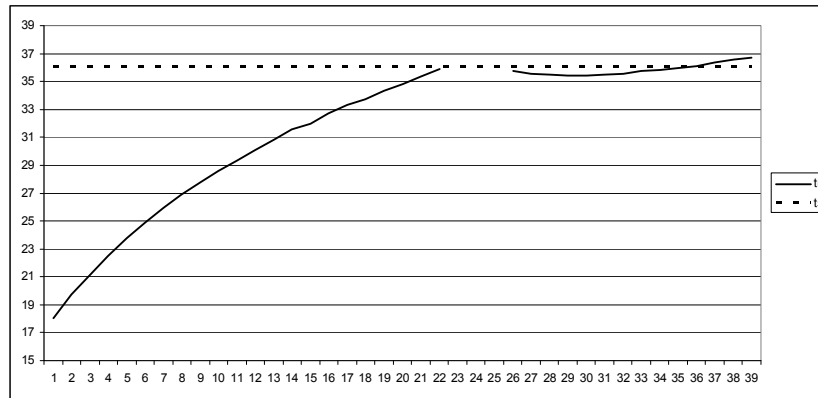


Рис. 3 Результати дослідження по одній зоні печі

Как видно из рис. 3, температура дошла до заданного значения, после, был внесен объект (стальная пластина) для нагрева, на этапах с 25 по 35 температура упала, в связи с нагревом материала. После, температура под воздействием регулятора выровнялась до заданного значения. Максимальное значение ошибки при эксперименте составило $\sim 2\%$ ($t_z=35$, $t_{max}=36,69$). Ошибка датчика температуры составляет $\pm 0,01$ °C.

Вывод и направление следующих исследований. Дуальный алгоритм регулятора не содержит параметров объекта, что обеспечило высокое качество процесса управления нелинейным объектом. В дальнейшем планирует применить данную методику к управлению по всем 7 зонам объекта и контролировать график температур по всей печи.

Список литературы

1. Воронов А.А., Титов В.К., Новогранов Б.Н. Основы теории автоматического регулирования и управления. М.: Высшая школа, 1977. -519с.
2. Зайцев Г.Ф., Костюк В.И., Чинаев П.И. Основы автоматического управления и регулирования. Киев: Техніка, 1977. -472с.
3. Полоний Г.Н. Уравнения математической физики. М.: Высшая школа, 1964. -560с.
4. Тратнер К.Дж. Интегральные преобразования в математической физике, М.: Гостехиздат, 1956. -204с.
5. Арутюнов В. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: учебник для вузов / В. А. Арутюнов, В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников. – М. : Металлургия, 1990. –240 с.
6. Миткалинный В.И. Металлургические печи: Атлас / Миткалинный В.И., Кривандин В.А., Морозов В.А. и др. – М.: Металлургия, 1987. С.267, С.25-53
7. Самохвалов Г.В. Электрические печи черной металлургии / Самохвалов Г.В., Черныш Г.И. – М.: Металлургия, 1984. С.452, С.83-149.
8. Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии. – М.: Металлургия, 1989.
9. Глинков М.А. Основы общей теории печей. – М.: Металлургия, 1962.
10. Матрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т II. – М.: Металлургия, 1978.
11. Хоу Чэн Лян. Современное состояние и перспективы развития высокопроизводительных регенеративных печей в КНР // "Металлургическая теплотехника". Сборник научных трудов Государственной металлургической академии Украины. В 2-х томах. Т. 1 – Днепропетровск: ГМетАУ, 1999. – 214 с.
12. Губинский В.И., Лу Чжун-У. Теория пламенных печей. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.
13. Гнездов Е.Н., Нагорная О.Ю., Математическая модель радиационного теплообмена в проходной печи со стержневыми нагревателями
14. Ткачев В.С., Мурза С.Я., ПГАСА Разработка математической модели печи обжига фарфора
15. Качан Ю. Г., Николенко А. В., Степкин В. В., Моделирование процесса нагрева металла в методической печи, /ХПИ, Интегрированные Технологии и энергосбережение . – 2007. - No2 – с.74-76.
16. Окуно Е., Маудзаки С., Кунимото К., Исояма М. и др, Разработка математических моделей для оценки распределения шихты в условиях безконусной загрузки в доменной печи.// Тецу – то – хагане . – 1987. – Т 73, No 1. – С . 91–98.
17. Бровкин В. Л., Вехник В. А. Математическая модель тепловой работы проходных печей // Gospodarka cieplna i eksploatacja pieców przemysłowych: VI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna. – Poraj k. Cze stochowy, Polska, 7-10.X.1998. –S.47-54.
18. Фельдбаум А.А. Теория дуального управления - I / Фельдбаум А.А. // Автоматика и телемеханика: сб. науч. трудов – М: изд. АН СССР. – Вып. 10. – С. 1240-1249.
19. Фельдбаум А.А. Теория дуального управления - II / Фельдбаум А.А. // Автоматика и телемеханика: сб. науч. трудов – М: изд. АН СССР. – Вып. 11. – С. 1453-1453.
20. Жосан А.А. Разработка алгоритмов дуального управления центробежным дезинтегратором руд / Жосан А.А. // Дис. канд. техн. наук: 05.13.07 / Криворожский технический ун-т. - Кривой Рог, 1998. - 127л. - Библиогр.: л.

104-110.

21. **Безручко Б.П., Смирнов Д.А.** Математическое моделирование и хаотические временные ряды. - Саратов: ГосУНЦ "Колледж", 2005. – 263-264.

22. **Takens F.** On the numerical determination of the dimension of an attractor. In: Dynamical systems and bifurcations (Eds. L.J. Braaksma, H.W. Broer and F. Takens). Lect. Notes in Math. 1125, Springer, Heidelberg. 1985

23. **Takens F.** Detecting Strange Attractors in Turbulence // Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics. Berlin., 1981. Vol. 898. P. 366 – 381.

Рукопись поступила в редакцію 11.03.14

УДК 621.313

В.В. КАНЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., О.Р. ТКАЧУК, магістрант
Криворізький національний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА ОЦІНКОЮ ДИНАМІЧНОГО МОМЕНТУ

Розглянуто актуальну тему синтезу і дослідження системи асинхронного ЕП зі скалярним частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту, аналіз характеристик синтезованої САК методом математичного моделювання.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для різних механізмів виникає необхідність регулювання частоти і напруги по певному закону, відповідному вигляду механічної характеристики і технологічним вимогам виконавчого механізму. Розроблена система асинхронного ЕП з частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту є астатичною за навантаженням і може бути рекомендована до застосування у широкому колі промислових механізмів. Переваги таких систем перед іншими відомими астатичними системами скалярного частотного управління полягають перш за все у більшій простоті реалізації: замість 1 - 3 внутрішніх контурів регулювання струму або напруги достатньо організувати регулювання величини динамічного моменту за умови оцінювання його величини за допомогою спостерігачів стану.

Аналіз досліджень та публікацій. У приводах загального призначення з асинхронними двигунами звичайного виконання, а також у високошвидкісних установках використовується перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму і з автономним інвертором.

Для індивідуальних і багато рухомих нереверсивних приводів загального призначення малої і середньої потужності з діапазоном регулювання частоти до 20 і для високошвидкісних приводів з номінальною, частотою 200 - 2000 Гц і тим же діапазоном регулювання доцільний перетворювач з автономним інвертором напруги [1]. Для індивідуальних нереверсивних і реверсивних приводів і приводів, що працюють в напруженому і повторно-короткочасному режимі, при діапазоні регулювання до 20:1, незалежно від потужності раціональне вживання перетворювача з автономним інвертором струму. Для приводів, що вимагають широкого регулювання швидкості (понад 20:1), незалежно від потужності, може бути використаний перетворювач з автономним інвертором напруги з широко-імпульсною модуляцією [1].

Оптимізація статичних і динамічних режимів електроприводів змінного струму може бути досягнута в замкнутих системах управління. Найбільш універсальними системами частотного управління є такі, в яких стабілізуються або регулюються три величини: потік (струм), швидкість і абсолютне ковзання (не рахуючи внутрішніх контурів стабілізації напруги або струму). У статичному режимі така система, що працює з інвертором напруги, містить два контури стабілізації - потоку і швидкість [2]. При обмеженні моменту і в перехідних режимах діє контур стабілізації абсолютного ковзання.

При частотному управлінні високошвидкісними АД зазвичай першочерговими виявляються вимоги, що пред'являються до динамічних властивостей приво-ду, - найчастіше вимога пуску