

10. Постановления Верхнеднепровского уездного земского собрания. (XXI очередного). Верхнеднепровск. Типография Любовского и Гинцбурга. 1912. 838 с.
11. Постановления Верхнеднепровского уездного земского собрания. (XXII очередного). Верхнеднепровск. Типография Любовского и Гинцбурга. 1913. 1248 с.
12. Постановления Верхнеднепровского уездного земского собрания. (XXIII очередного). Верхнеднепровск. Типография Любовского и Гинцбурга. 1913. 1158 с.
13. Постановления Верхнеднепровского уездного земского собрания. (IX очередной сессии). Верхнеднепровск. Типо-Литография Ф.И. Розенфельда. 1900. 381 с.
14. Постановления II-го очередного уездного земского собрания Верхнеднепровск. Типография Я.Н. Губермана. 1893. 303 с.
15. Постановления VIII очередного уездного земского собрания. Верхнеднепровск. Типография Я.Н. Губермана. 1899. 392 с.
16. **Петров А.Н.** Первоисточники – чистые родники. Книга первая. Днепропетровск, 2011. 184 с.
17. **Петров А.Н.** Первоисточники – чистые родники. Книга вторая. Днепропетровск, 2011. 184 с.
18. Россия. Полное географическое описание нашего отечества. Настольная и дорожная книга. Под ред. В.П. Семенова Тянь-Шанского. Т. 14. Новороссия и Крым. Издание А.Ф. Девриена. С. - Петербург, 1910. 1017 с.
19. Адрес-календарь Екатеринославской губернии на 1910 год. Издание Екатеринославского Губернского Статистического Комитета. Екатеринослав, Типо-литография Губернского Правления, 1910. 446 с.
20. Екатеринославский адрес-календарь. Екатеринослав. 1916. Издание губернской типографии. 478 с.
21. Отчет сельскохозяйственной выставки, состоявшейся 12-13 сентября 1904 г. в с. Саксагани.
22. Енциклопедія Криворіжжя: 230-річчю з дня заснування Кривого Рогу присвячується. – У 2-х т./Упоряд. В.П. Бухтіяров.-Кр.Ріг: «ЯВВА», 2005. Т. 1.-704 с., Т. 2.-816с.
23. Земельні банки Новоросійського краю. Фонд 249: Земський банк Херсонської губернії, Опис 1 (1864-1920). <http://www.myslenedrevo.com.ua/uk/Sci/HistSources/SouthUkrBanks/Odesa/F249-1/Files1401-1500.html>
24. Список фабрик и заводов России. Торговый Дом Л. и Э. Метцель и Ко. «Центральная контора Объявлений». Москва, С.-Петербург, Варшава. 1910. 1418 с.
25. Вся Россия. Русская книга промышленности, торговли, сельского хозяйства и администрации. Адрес-календарь Российской империи. Том первый. Издание А.С.Суворина, 1900. 1446 с.
26. Вся Россия. Русская книга промышленности, торговли, сельского хозяйства и администрации. Адрес-календарь Российской империи. Том первый. Издание А.С.Суворина, 1899. 1483 с.
27. Торгово-промышленная Россия. Справочная книга для купцов и фабрикантов. С.-Петербург, тип. А.С. Суворина, 1899. 1604 с.
28. Указатель фабрик и заводов Европейской России. Материалы для фабрично-заводской статистики. С.-Петербург, типография В. Киршбаума, 1894, 826 с.
29. Фабрики и заводы всей России. Сведения о 31,523 фабриках и заводах. Книгоиздательство Т-ва Л.М. Фиш, Киев, 1913. 1687 с.
30. По Екатерининской железной дороге. Выпуск I-й (Введение и часть первая). Издание Управления Екатерининской железной дороги. Екатеринослав, Товарищество «Печатня С.П. Яковлева», 1903. 132 с.
31. Трехверстная Военная-Топографическая карта Российской империи. Вторая половина XIX – начало XX в. Листы: ряд XXVII, лист 11; ряд XXVII, лист 12; ряд XXVIII, лист 11; ряд XXVIII, лист 12.

Рукопись поступила в редакцию 05.03.14

УДК 62-503

А.А. ЖОСАН, канд. техн. наук, доц., С.І. ЛІПАНЧИКОВ, аспірант
Криворізький національний університет

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ НЕПАРАМЕТРИЧНОГО ДУАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТА ПЕРШОГО ПОРЯДКУ.

В цій статті наведено опис та результати випробувань одного з підходів до складання непараметричних систем керування технологічним процесом, який, за думкою авторів, є перспективним. Було проведено випробування такої системи при відпрацюванні завдань у вигляді поліноміальних, експоненціальних та кусково-лінійних функцій. На відміну від широко розповсюджених ПІ- та ПІД-регуляторів, похибка регулювання в такій системі не перевищувала 4.5% без зміни структури та параметрів регулятора.

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

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для виконання завдання керування будь-яким технологічним процесом ключовою задачею є складання її математичної моделі. На даний момент більшість підходів до складання математичних моделей об'єктів керування ґрунтуються на складанні їх рівнянь, елементами яких є деякі параметри системи, значення яких прийняті рівними деяким значенням. Але, в реальних умовах виробництва

такий підхід є далеким від ідеального, адже значення таких параметрів найчастіше за все змінюються в ході технологічного процесу (ТП). Таким чином, постає необхідність у вдосконаленні існуючих підходів шляхом застосування непараметричного підходу до складання математичної моделі.

Аналіз досліджень і публікацій. В роботі [1] приведено опис основних принципів непараметричних систем керування. В [2] описано деякі основні аспекти синтезу непараметричних регуляторів. Але, в обох джерелах для одержання непараметричної моделі використовується інтеграл Дюамеля, що складає розділ лінійної теорії керування. У цьому випадку принцип суперпозиції не дійсний. Це означає, що одержані результати не можуть бути вірними у випадку систем з векторними входом та виходом. Крім того, такі моделі не є глобальними як у часі так і у просторі стану керованої системи. Необхідно віддати належне авторові роботи [1], який одним з перших виклав своє усвідомлення реальних проблем синтезу моделей об'єктів керування, яке адекватно відображає дійсний стан речей. У цілому напрямок досліджень, пов'язаний з розвитком непараметричних систем керування, до яких можна віднести зусилля з розвитку нейромережових структур, є позитивним. Вказані підходи є фактично різновидами дуального підходу [3, 4].

Постановка завдання. В даній роботі поставлена задача продемонструвати на чисельних прикладах досить високу ефективність непараметричного дуального алгоритму регулювання, ідея якого була представлена у роботах [5, 6].

Викладення матеріалу та результати. *Опис концепції.* Для полегшення розуміння результатів даної роботи, без необхідності для читача пошуків змісту робіт [5, 6], наводимо основні ідеї алгоритму дуального непараметричного регулятора.

У якості моделі об'єкта керування було обрано різницеве рівняння виду

$$X[n+1] = aX[n] + bU[n], \quad (1)$$

де a та b – коефіцієнти, зміна яких не передбачена і у синтезоване рівняння регулятора не входять.

Дані перебігу виробничого процесу вимірюються через постійний проміжок часу $dt = const$. У результаті одержуємо розширену матрицю виду

$$\begin{matrix} X[n+1] & X[n] & U[n] \\ X[n] & X[n-1] & U[n-1] \\ X[n-1] & X[n-2] & U[n-2] \end{matrix}, \quad (2)$$

де n – номер інтервалу часу довжиною dt ; $X[n+1]$, $X[n]$, $X[n-1]$, $X[n-2]$ – значення вихідної змінної X на відповідних кроках (інтервалах дискретності часу); $U[n]$, $U[n-1]$, $U[n-2]$ – значення керуючої дії на відповідних кроках (інтервалах дискретності часу).

При цьому $X[n+1]$ – бажане (задане) значення вихідної величини об'єкта керування на "майбутньому" $[n+1]$ – му інтервалі часу, $U[n]$ – значення керуючої дії, що повинна забезпечити вказане бажане значення вихідної величини.

Нумерація інтервалів враховує умову фізичної реалізації.

Для заповнення розширеної матриці початковими даними необхідно провести навчання регулятора шляхом подачі на його вхід відповідної кількості (у даному випадку двох: $U[n-1]$, $U[n-2]$) у принципі довільних дій, та реєстрації вихідної реакції об'єкта.

Таким чином, усі значення дій (окрім $U[n]$), що входять до розширеної матриці (2), відомі за результатами вимірів на попередніх інтервалах дискретності або задані.

Залишається визначити керуючу дію $U[n]$. Це досягається за допомогою алгоритму, що представляє собою модифікований алгоритм Гауса, або інший відповідно модифікований алгоритм, що включає приведення лівої нижньої підматриці другого порядку розширеної матриці (2) до трикутного виду з відповідними перетвореннями значень керуючих дій у рядках, що відповідають вказаній підматриці.

У результаті одержується нова перетворена підматриця розширеної матриці.

Далі ця матриця зводиться до перших двох елементів верхнього рядка розширеної матриці (2). Лівий елемент цього рядка після такого перетворення є значення керуючої дії $U[n]$.

Після закінчення періоду навчання перше одержане значення $U[n]$ є вже робочим. Матриця

(2) на кожному наступному кроці поновлюється новими даними про стан об'єкта керування ("старі дані забуваються") та визначається наступне значення керуючої дії у відповідності із заданим бажаним значенням вихідної дії $X[n+1]$.

Слід зауважити, що розмірність матриці (2) може варіюватись у відповідності з порядком об'єкта керування, незалежно від того чи він є лінійний, чи нелінійний. Більше того ця варіація може відбуватися у ході процесу керування, що звільняє від проблеми аналітичного визначення порядку та структури моделі об'єкта керування.

Причому цей алгоритм легко програмується для об'єкта будь якого порядку у результаті чого одержуються конкретні числові значення керуючої дії.

Для наведеного простого прикладу задля наочності було виконано перетворення матриці (2) та одержано рівняння керуючої дії у аналітичній формі.

Керуючий вплив $U[n]$ розраховується за наступної формулою

$$U[n] = U[n-1] \cdot [X[n+1]/X[n]] - [U[n-2] * X[n]] - U[n-1] * X[n-1] * [X[n-1] * X[n+1] - X[n] * X[n]] / [X[n-2] * X[n] - X[n-1] * X[n-1] * X[n]]. \quad (3)$$

Крок інтервалу дискретності dt не входить у рівняння регулятора (3) безпосередньо. Ця величина визначається частотою опитування датчиків. Зміна dt впливає на зміну значень матриці (2) і таким чином враховується.

Було проведено випробування алгоритму регулювання (3) для різних законів заданої величини $X[n+1]$: постійне, лінійно наростаюче, що убуває, наростаюче за законами параболи різних ступенів, наростаюче за законами експоненти.

З теорії автоматичного керування добре відомо, що при використанні пропорційно-інтегруючих регуляторів необхідно було б кожного разу змінювати конструкцію регулятора, щоб похибка регулювання прямувала до нуля у безкінечному часі.

Та й то це стосується лише заданих поліноміальних законів вихідної дії.

Крім того, якщо параметри об'єкта керування змінювалися б у часу або у просторі (наприклад у залежності від вихідної дії), необхідно було б змінювати параметри такого регулятора. Інакше похибка керування прямує до безкінечності.

Як видно з алгоритму непараметричного дуального регулятора (3), його конструкція не містить таких понять, як коефіцієнти регулятора і ніяк не пов'язана із формою бажаного закону керування.

Це означає фактично інваріантність до вказаних факторів, що є його додатковою перевагою.

Зазначимо, що при керуванні нестабільним об'єктом проблема мінімізації похибки у випадку традиційних регуляторів дуже загострюється.

Далі приведено результати чисельного моделювання роботи непараметричного дуального регулятора при наявності перелічених вище проблем.

Ці результати дають змогу порівняти роботу такого регулятора з традиційними регуляторами та зробити відповідні висновки.

Для перевірки роботи алгоритму на вхід ОК було подано декілька сигналів різного виду:

постійний сигнал (константа) (рис. 1а);

сигнал, що змінюється за певним законом (рис. 1б);

квадратична парабола (рис. 1в);

парабола 4-го ступеню (рис. 1г);

експонента (рис. 1д)

Керуючі впливи та вихідні сигнали при відповідних вхідних діях.

На рис. 1(а-д) в графічному вигляді приведено реакцію системи на відповідні вхідні дії.

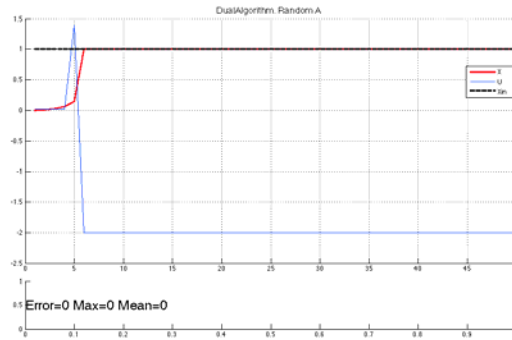


Рис. 1а. Керуючий вплив U , сигнал завдання X_{in} , вихідний сигнал X при поданні постійного вхідного сигналу

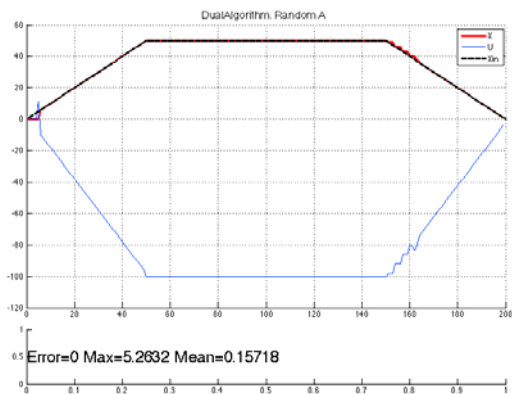


Рис. 1б. Керуючий вплив U , сигнал завдання X_{in} , вихідний сигнал X при поданні вхідного сигналу, що змінюється за заданим законом

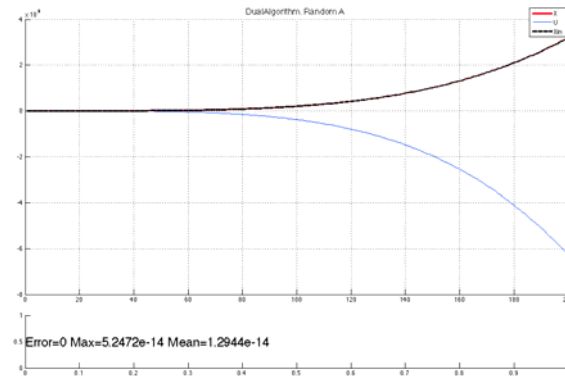


Рис. 2в. Керуючий вплив U , сигнал завдання X_{in} , вихідний сигнал X при поданні квадратичної параболи в якості вхідного сигналу

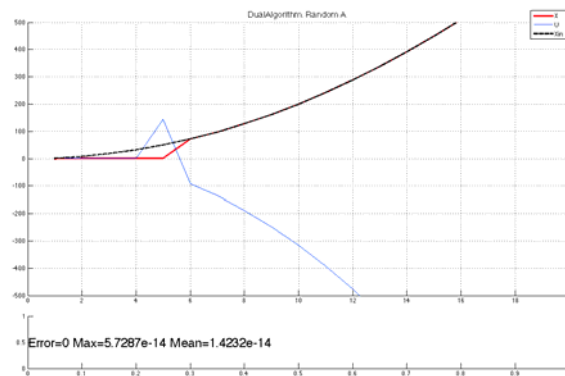


Рис. 3г. Керуючий вплив U , сигнал завдання X_{in} , вихідний сигнал X при поданні параболи 4-го ступеню в якості вхідного сигналу

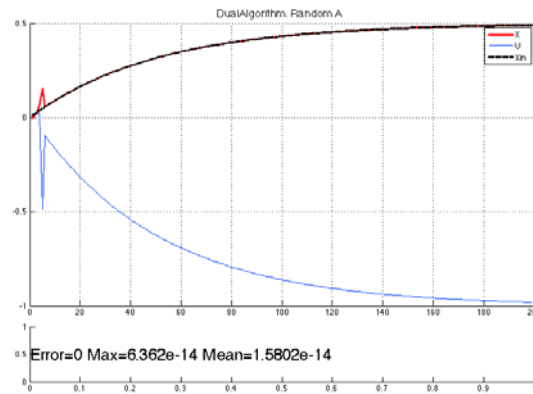


Рис. 4д. Керуючий вплив U , сигнал завдання X_{ip} , вихідний сигнал X при поданні експоненціального сигналу в якості вхідного

У всіх описаних випадках коефіцієнт a був прийнятий $a=10$, тобто об'єкт керування є нестійким.

У нижній частині вікна приведено значення похибки регулювання при використанні описуваного алгоритму. Ця похибка досягає нуля при поданні на вхід постійного сигналу.

Максимального значення похибка досягає в разі подання на вхід системи вхідного сигналу, значення якого змінюється за певним (трапецієподібним) законом.

Таблиця 1

Похибки роботи запропонованої непараметричної системи при різних вхідних діях

Вхідна дія	Відносна помилка (%)		
	Мінімальна	Максимальна	Середня
Постійна (константа)	0	0	0
Закон	0	5.2632	0.15718
Квадратична парабола	0	5.7287e-14	1.4232e-14
Парабола 4-го ступеню	0	5.2472e-14	1.2944e-14
Експонента	0	6.362e-14	1.5802e-14

Слід відмітити, що на початкових кроках на приведених графіках спостерігаються певної величини сплески керуючого впливу. Це характерно для етапу навчання, що є нормальним явищем. Для кожного з продемонстрованих випадків кількість навчальних кроків дорівнювала 5 одиницям.

В подальшому планується дослідження описуваного алгоритму при обмеженні величини керуючої дії та її приросту за одиницю часу (крутизни росту).

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонований алгоритм непараметричного дуального керування має суттєві переваги перед традиційними ПД-регуляторами, забезпечуючи практично нульову похибку на протязі короткого часу при різних законах зміни вихідної дії та параметрів у широкому діапазоні навіть в області нестійкості не потребуючи при цьому зміни структури регулятора та його переналаштування.

Регулятори такого типу вигідно відрізняються від нейрорегуляторів малою короткою навчальною послідовністю.

Список літератури

1. А.В. Медведєв О теории непараметрических систем управления / Медведєв А.В. // Вестник Томского государственного университета: сб. науч. трудов – Томск: издательство Томского государственного университета. – Вып 22. – С. 6-19.
2. А.А.Н. Пупков К синтезу многоканального непараметрического регулятора многомерных линейных динамических систем / Пупков А.Н. // Вестник Томского государственного университета: сб. науч. трудов – Томск: издательство Томского государственного университета. – Вып 22. – С. 20-24.
3. А.А. Фельдбаум Теория дуального управления - I / Фельдбаум А.А. // Автоматика и телемеханика: сб. науч. трудов – М: изд. АН СССР. – Вып. 10. – С. 1240-1249.
4. А.А. Фельдбаум Теория дуального управления - II / Фельдбаум А.А. // Автоматика и телемеханика: сб. науч. трудов – М: изд. АН СССР. – Вып. 11. – С. 1453-1453.
5. Zhosan A.A. Development of dual control algorithms by centrifugal ore disintegrator. Thesis for conferring scientific degree of master of technical on speciality 05.13/07 - «Automation of technological processes» - Krivoy Rog Technical University, 1998.

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-