

УДК 681.5.015.8:519

А.І. КУБРАК, І.М. ГОЛІНКО, В.Г. ТРЕГУБ

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА ЗА ЙОГО РЕАКЦІЄЮ НА ВХІДНИЙ СИГНАЛ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

Розглядається метод розрахунку динамічних характеристик об'єкта у системі автоматичного керування. Метод дозволяє розраховувати імпульсну та перехідну характеристики об'єкта керування за його реакцією на вхідний сигнал довільної форми із контролем вихідного сигналу. Запропонований метод розв'язку поставленої задачі чисельно реалізується із використанням інтегралу Дюамеля. Розглянуто приклад програмної реалізації запропонованого алгоритму при моделюванні перехідних процесів у системі керування. Метод може використовуватися розробниками систем автоматичного керування для ідентифікації об'єкта та адаптивної настройки системи керування.

Ключові слова: динамічні характеристики, об'єкт керування, система керування, ідентифікація.

Вступ

Основним джерелом інформації про динамічні характеристики технологічних об'єктів систем автоматизації є результати коректно поставленого експерименту. Експериментувати із окремим технологічним апаратом, відключивши його від системи автоматичного керування (САК) в процесі експлуатації (коли апарат знаходиться в робочому режимі) практично неможливо. Вартість такого експерименту буде високою, окрім цього це неприпустимо з міркувань безпеки.

В процесі пусконаладжувальних робіт САК регулятори налагоджуються “у першому наближенні” за спрощеними методиками [1], які, зрозуміло, не гарантують високої якості функціонування але дозволяють підтримувати технологічний режим.

Експеримент, який можна ставити на системі, що уже функціонує, можливий лише шляхом внесення контрольованих збурень з наступним аналізом реакції системи на ці збурення. Такий експеримент дозволяє якісно оцінити динамічні властивості об'єкта керування (ОК) та коректно налагодити систему керування за певним критерієм.

Постановка завдання

У роботах [2, 3] нами був розглянутий алгоритм розрахунку параметрів регулятора за імпульсною характеристикою ОК. Застосування запропонованого алгоритму передбачає наявність масиву ординат імпульсної або перехідної характеристики ОК в якості вхідної інформації та дозволяє автоматизувати процес адаптації параметрів регулятора для діючої САК за певним критерієм. Розглянемо алгоритм визначення динамічних характеристик ОК

шляхом співставлення вхідного та вихідного сигналів ОК для одноконтурної САК, рис. 1.

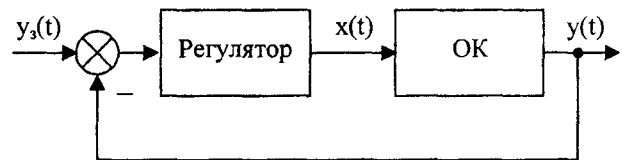


Рис. 1. Структура одноконтурної САК, $u_3(t)$ – сигнал завдання, $x(t)$ – сигнал керування, $y(t)$ – вихідний сигнал ОК

Визначення динамічних характеристик ОК

Згідно із визначенням перехідної характеристики САК перед початком експерименту має знаходитися в усталеному режимі (“нульові початкові умови”). Далі, змінюємо завдання системи $u_3(t)$ та фіксуємо вхідний та вихідний сигнали ОК у формі масивів із кроком дискретизації dt . Будемо позначати елементи масиву вхідного сигналу як

$$x_z = Xs[z] \quad (1)$$

та елементи масиву вихідного сигналу як

$$y_z = Hs[z], \quad 0 \leq z \leq L, \quad (2)$$

тут L – кількість точок спостереження у масиві.

Наше завдання полягає у формуванні імпульсної характеристики ОК

$$g_z = Ga[z]. \quad (3)$$

Вихід ОК, тобто сигнал $y(t)$ – це згортка вхідного сигналу $x(t)$ із $g(t)$ – імпульсною характеристикою ОК [4]

$$y(t) = \int_0^t g(t-\tau) x(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Розглянемо формування імпульсної характеристики ОК (рис. 2, а) із використанням залежності (4), яку ще називають інтегралом Дюамеля. Нехай маємо вхідний сигнал $x(t)$ у вигляді послідовності його значень (дискрет) із кроком dt так як показано на рис. 2 б.

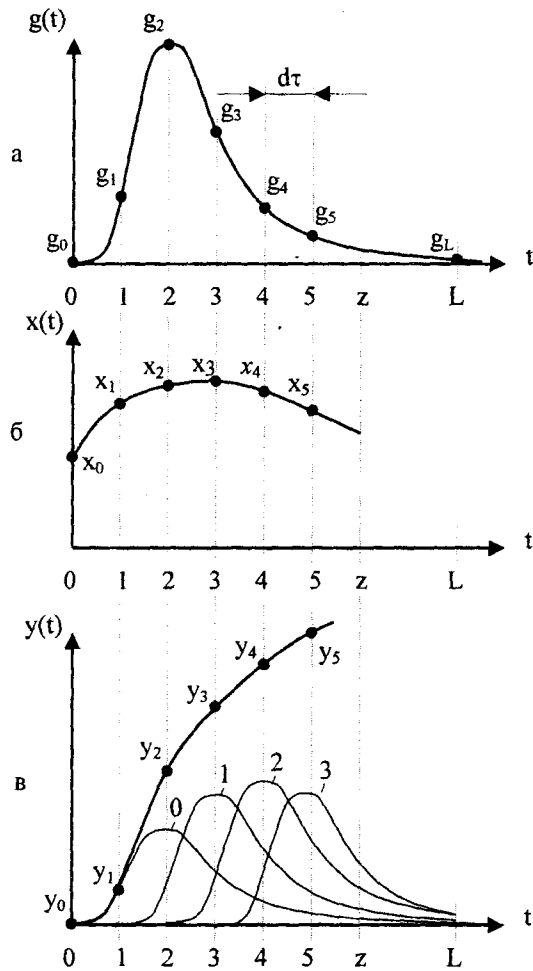


Рис. 2. Графічне представлення послідовного визначення ординат g_z імпульсної характеристики ОК

Криві 0, 1, 2, 3, ... (див. рис. 2 в) представляють добуток $g(t-s \cdot dt) \cdot x_s \cdot dt$, де індекс s дорівнює номеру кривої, а крива $y(t)$ є сумою цих кривих.

Отже, для $t=0$ маємо

$$y_0 = x_0 \cdot g_0 \cdot dt,$$

звідки

$$g_0 = (y_0/dt)/x_0.$$

При $t = dt$ маємо

$$y_1 = (x_1 \cdot g_0 + x_2 \cdot g_0)/dt,$$

$$\text{звідки} \quad g_1 = (y_1/dt - x_1 g_0)/x_0.$$

При $t = 2dt$ маємо

$$y_2 = (x_2 \cdot g_0 + x_1 \cdot g_1 + x_0 \cdot g_2)/dt,$$

$$\text{звідки} \quad g_2 = (y_2/dt - [x_2 g_0 + x_1 g_1])/x_0.$$

І в загальному випадку, розраховуючи сигнал y_z як суму реакцій на послідовність прямокутних імпульсів шириною dt та висотою x_s (при $t = s \cdot dt$), отримуємо розрахункову залежність

$$g_z = \begin{cases} \frac{y_0}{dt \cdot x_0}, & \text{якщо } z = 0; \\ \frac{y_z/dt - \sum_{s=1}^z x_s \cdot g_{z-s}}{x_0}, & \text{якщо } 1 \leq z \leq L. \end{cases} \quad (5)$$

Паралельно із формуванням масиву Ga за залежністю (5) визначаємо масив ординат перехідної характеристики Ha за рекурентною формулою

$$h_z = h_{z-1} + g_z dt, \quad (6)$$

яка впливає із відомої залежності між $h(t)$ та $g(t)$

$$h(t) = \int_0^t g(t) dt.$$

Отримані формули (5) та (6) програмно реалізовані на мові Паскаль у процедурі `GtaHta`.

```

procedure GtaHta(X, Y: CoefL;
                 var Ga, Ha: CoefL);
var z, s: integer;
    Sum: real;
begin
  Ga[0] := Y[0]/(dt*X[0]);
  for z:=1 to L do
    begin
      Sum:=0;
      for s:=1 to z do
        Sum:=Sum+X[s]*Ga[z-s];
      Ga[z] := (Y[z]/dt-Sum)/X[0];
      Ha[z] := Ha[z-1]+Ga[z]*dt;
    end;
  end;

```

Для процедури `GtaHta` передаються масиви вхідного X та вихідного Y сигналів ОК за яким вона розраховує масиви імпульсної Ga та перехідної Ha характеристик ОК. Крок дискретизації за часом dt є глобальний ідентифікатор, який визначається в основній програмі відповідно до оператора $dt := D/L$, тут D – час спостереження перехідного процесу у САК, L – кількість точок спостереження ($0 < L < 601$). Тип для масивів X , Y , Ga , Ha вибирався із урахуванням кроку дискретизації dt (`type CoefL=array[0..601] of real`). Таким чином, для діючої САК на основі контролю у часі зміни вхідного та вихідного сигналів ОК за залежністю

(5) та (6) можна визначити імпульсну та перехідну характеристику.

На рис. 3 показано результати ідентифікації ОК із використанням щойно розглянутого алгоритму при ступінчатій одиничній зміні завдання. Отриманий перехідний процес забезпечується наступними характеристиками динамічних ланок у САК:

$$W_p(p) = 2 \left(1 + \frac{1}{30p} \right),$$

$$W_{OK}(p) = \frac{1}{30p^2 + 15p + 1} e^{-5p}.$$

На рис. 3 г співставлено "точну" (базову) перехідну характеристику (крива 1) та отриману в результаті ідентифікації (крива 2).

Аналіз алгоритму показує, що він залишається справедливим не лише для випадку, коли $x(t)$ та

$y(t)$ є результатом реакції на ступінчате збурення завдання САК. Результати ідентифікації справедливі для будь-якої зміни завдання системи.

Рис. 4 демонструє перехідний процес у САК (динамічні властивості системи керування не змінювалися) при імпульсній зміні сигналу завдання ($A = 1,5; \omega = 0,02$)

$$y_3 = \begin{cases} A \cdot \cos(\omega \cdot t), & \text{якщо } t \leq 1,5\pi/\omega; \\ 0, & \text{якщо } t > 1,5\pi/\omega. \end{cases}$$

Звертаємо увагу читача на одну особливість розглянутого алгоритму. По-перше, виходячи із залежності (5) важливо щоб $x_0 \neq 0$. По-друге, як видно із (5) значення x_0 суттєво впливає на точність усіх ітераційних розрахунків. Для підвищення точності ідентифікації величину $x(t)$ при $t = 0$ бажано мати від-

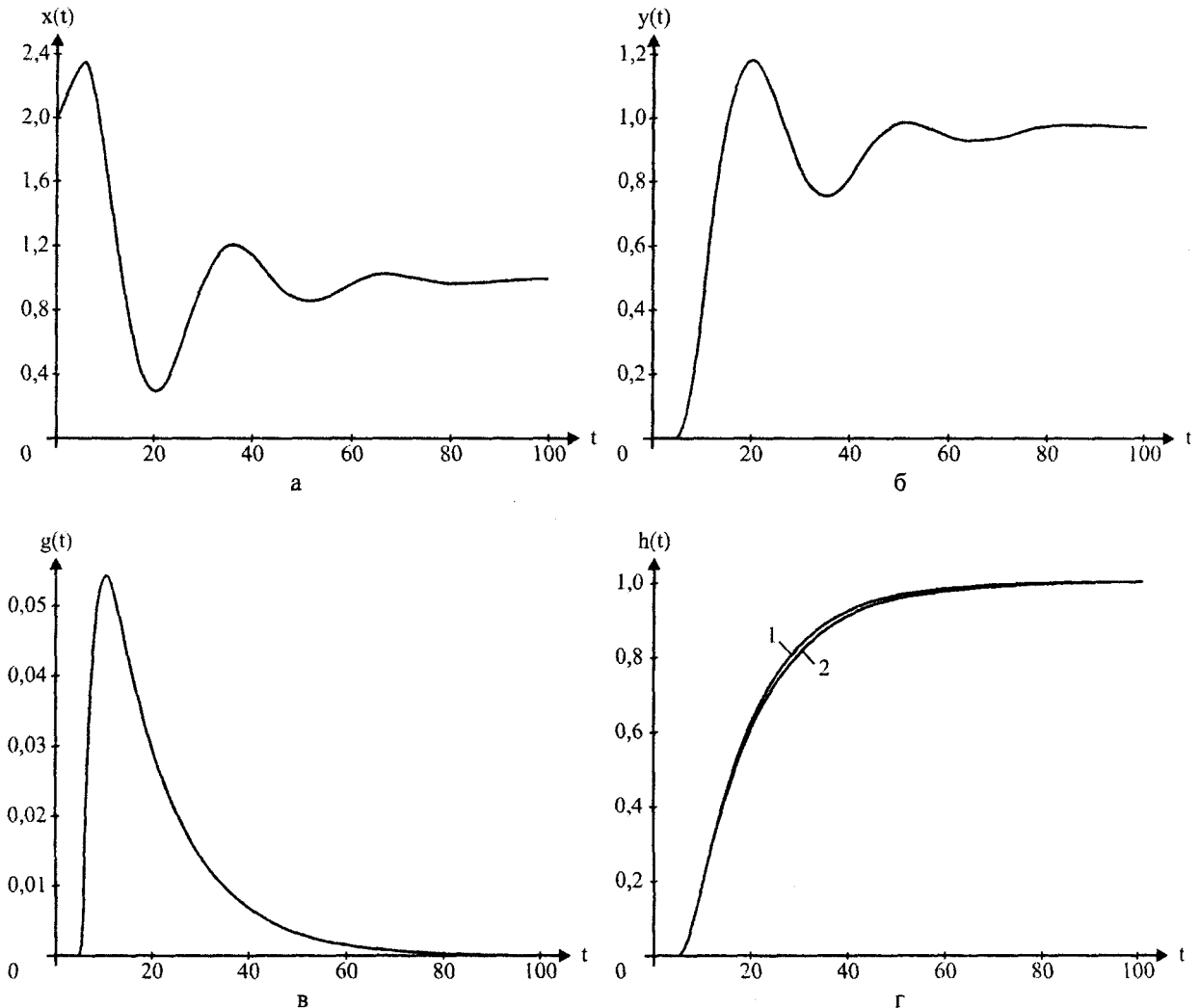


Рис. 3. Результати ідентифікації ОК за реакцією САК на ступінчасту зміну завдання регулятора; а – вхідний сигнал ОК; б – вихідний сигнал САК; в – знайдена імпульсна характеристика ОК; г – базова (крива 1) та знайдена (крива 2) перехідна характеристика ОК

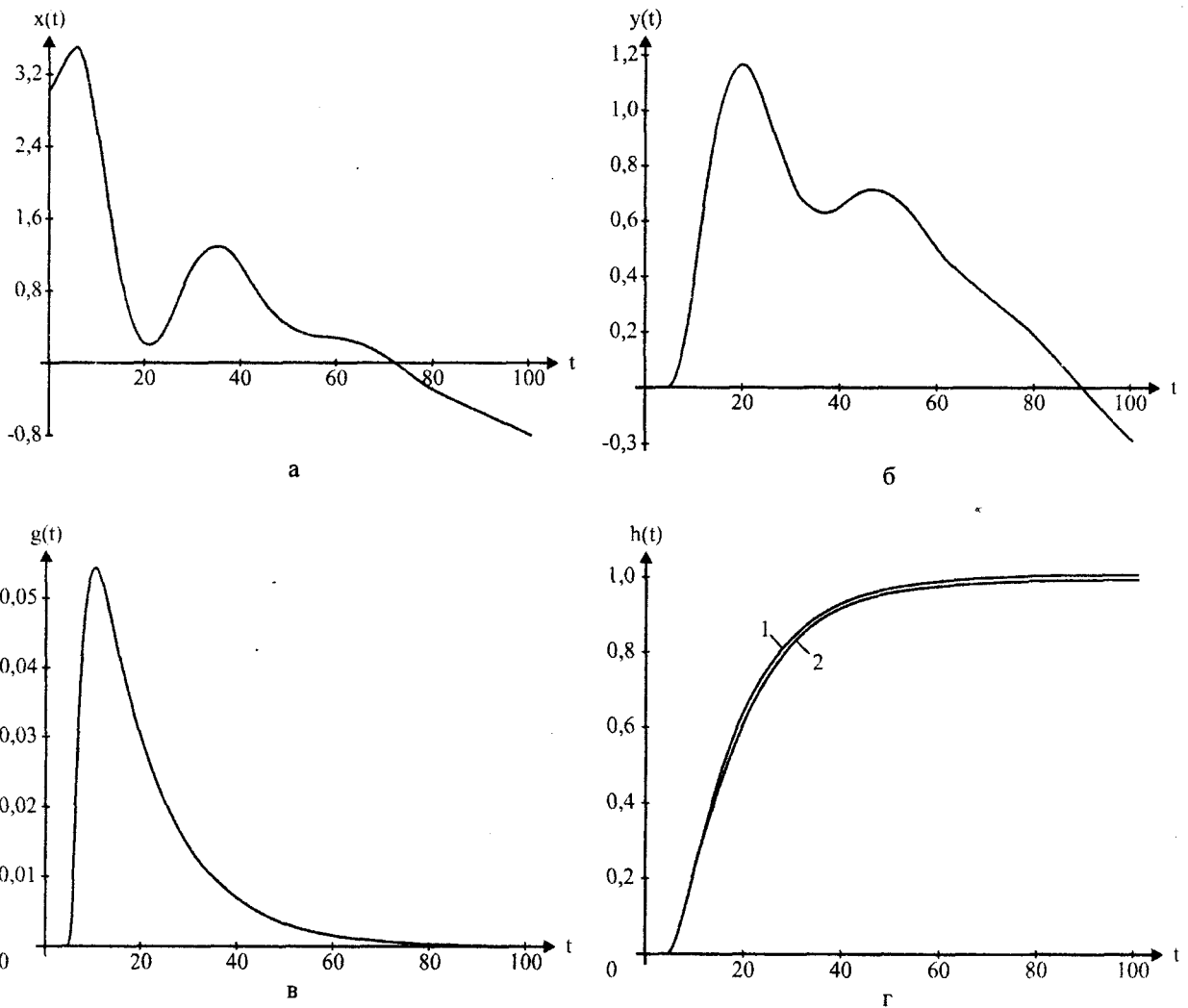


Рис. 4. Результати ідентифікації ОК за реакцією САК на імпульсну зміну завдання регулятора; а – вхідний сигнал ОК; б – вихідний сигнал САК; в – знайдена імпульсна характеристика ОК; г – базова (крива 1) та знайдена (крива 2) перехідна характеристика ОК

носно великою, бо навіть невелика абсолютна похибка при визначенні малого x_0 буде суттєво спотворювати розрахунки g_z для залежності (5). Також не потрібно забувати про “нульові” початкові умови.

Висновки

Для запропонованого алгоритму ідентифікації ОК автори проводили дослідження при різних сигналах зміни завдання. За результатами досліджень можна зробити висновок, що даний метод дає хороші результати ідентифікації, причому закон зміни завдання може бути будь-яким, при цьому тривалість часу ідентифікації повинна бути не меншою за час перехідного процесу ОК.

Як видно із рис. 3, 4 точність ідентифікації є цілком прийнятною. Використання збуджуючого

впливу на систему у формі відносно коротких імпульсів тієї, чи іншої форми дозволяє зменшити ймовірні негативні наслідки експерименту на хід технологічного процесу в ОК. Треба лише потурбуватися про те, щоб сигнали ОК (x та y) суттєво перевищували рівень технологічних завод, які можуть накладатися на корисні сигнали.

Як альтернативу, можна запропонувати використання даного алгоритму ідентифікації під час технологічної зміни завдання у системі автоматичного керування. У цьому випадку паралельно із переходом технологічної системи на новий режим роботи проходить ідентифікація ОК без додаткових тестових збуджень.

На думку авторів перспективним напрямком досліджень є розробка адаптивної системи із запропонованим алгоритмом ідентифікації.

Література

1. Ключев А.С. *Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справочное пособие* / А.С. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.

2. Голінко І.М. *Аналіз гібридної системи керування за імпульсною характеристикою об'єкта* / І.М. Голінко, Ю.М. Ковриго // *Наукові вісті Націо-*

нального технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2010. – № 2. – С. 30–33.

3. *Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. НТУ "ХПІ" / редкол.: Є.І. Сокол та ін. – Х.: НТУ "ХПІ", 2010. – Вип. 57. – 288 с.*

4. Дорф Р. *Современные системы управления: пер. с англ.* / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

Поступила у редакцію 28.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій А.П. Ладанюк, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА ПО ЕГО РЕАКЦИИ НА ВХОДНОЙ СИГНАЛ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

А.И. Кубрак, И.М. Голинко, В.Г. Трезуб

Рассматривается метод расчета динамических характеристик объекта в системе автоматического управления. Метод позволяет численно рассчитывать импульсную и переходную характеристики объекта управления по его реакции на входной сигнал произвольной формы с контролем выходного сигнала. Предложенный метод решения поставленной задачи численно реализуется с использованием интеграла Дюамеля. Рассмотрен пример программной реализации предложенного метода при моделировании переходных процессов в системе управления. Метод может использоваться разработчиками систем автоматического управления для идентификации объекта и адаптивной настройки системы управления.

Ключевые слова: динамические характеристики, объект управления, система управления, идентификация.

DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF PROCESS USING ITS REACTION TO THE INPUT SIGNAL OF ANY FORM

A.I. Kubrak, I.M. Golinko, V.G. Tregub

The process dynamic characteristics method of calculation in automatic control system is considered. The method allows to obtain numerically pulse and transitive characteristics of process on the base its reaction at input signal of any form with the control of a output signal. The offered method decision of the problem is realized numerically with use of Duhamel integral. The example of the offered algorithm program realization is considered modeling of transients in a control system. The method can be used by developers of automatic control systems for identification of object and control system adaptive adjustment.

Keywords: dynamic characteristics, control object, control system, identification.

Кубрак Анатолій Іванович – канд. техн. наук, проф., проф. кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «КПІ», Київ, Україна.

Голінко Ігор Михайлович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «КПІ», Київ, Україна, e-mail: igor.golinko@conislab.net.

Трезуб Віктор Григорович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «КПІ», Київ, Україна.