

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 681.5.015.8:519

І.М. Голінко, Ю.М. Ковриго

## АНАЛІЗ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗА ІМПУЛЬСНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ОБ'ЄКТА

### Вступ

Для того щоб успішно запроєктувати автоматичну систему керування (АСК), насамперед потрібно зрозуміти, як функціонує технологічний об'єкт, визначити структуру системи керування та вибрати критерій її функціонування. Далі необхідно сформулювати математичну модель системи. На наступному етапі синтезу АСК застосовуються методи теорії керування для визначення структури та параметрів регулятора [1, 2]. Незалежно від того, які методи синтезу застосовуються (експрес-методи, частотні чи методи простору станів) у будь-якому випадку дослідник повинен мати у своєму розпорядженні адекватну математичну модель об'єкта керування (ОК).

Традиційно математичний опис ОК зводиться до визначення передатної функції каналу регулювання [3]. Проте визначення структури апроксимуючої передатної функції має суб'єктивний характер. У першу чергу на вибір структури моделі впливають уподобання дослідника, наявні в його розпорядженні алгоритми, програмне та комп'ютерне забезпечення. Усе це вносить у процес синтезу додаткові невизначеності, що значною мірою впливає на якість розв'язання задачі.

### Постановка задачі

Метою даної статті є зменшення суб'єктивних факторів при проектуванні АСК. Як уже зазначалося, на стадії апроксимації аналітичних або експериментальних даних за рахунок внесення додаткових похибок погіршується якість моделі, тому бажано, по можливості, обійти етап апроксимації.

Таким чином, розглядається підхід до розрахунку перехідних процесів в одноконтурній АСК, де джерелом інформації про динамічні властивості ОК є його імпульсна характеристика у вигляді масиву ординат. Звичайно, цей масив має бути достатньо детальним, щоб відобразити всі особливості ОК.

### Аналіз гібридної системи керування

Розглянемо структуру одноконтурної АСК, наведеної на рис. 1. АСК складається із суматора, цифрового регулятора (ЦР) та об'єкта керування, модель якого зображена неперервною імпульсною характеристикою. За цими ознаками дану АСК слід віднести до гібридних [1] (у структурі системи містяться цифрові та неперервні елементи).

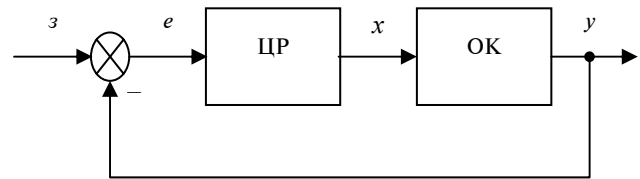


Рис. 1. Структура одноконтурної АСК:  $z$  – сигнал завдання;  $e$  – сигнал розузгодження;  $x$  – сигнал керування;  $y$  – вихідний сигнал ОК

У загальному випадку ЦР реалізує лінійний закон ПІД-регулювання [2]:

$$W(z) = K_R \left( 1 + \frac{T_{KV}}{T_I} \frac{z}{z-1} + \frac{T_D}{T_{KV}} \frac{z-1}{z} \right); \quad (1)$$

тут  $K_R$ ,  $T_I$ ,  $T_D$  – параметри налагодження ПІД-регулятора;  $T_{KV}$  – період квантування.

Програмно закон регулювання (1) реалізується так:

$$x_s = K_R \left( e_s + \frac{T_{KV}}{T_I} \sum_{i=0}^{s-1} e_i + T_D \frac{e_s - e_{s-1}}{T_{KV}} \right), \quad (2)$$

де  $x_s$  – регулюючий вплив;  $e_s$  – сигнал розузгодження. Індекс при  $x$  та  $e$  – це номер кроку за часом, величина кроку  $T_{KV}$ , тобто  $x_s = x[s T_{KV}]$ .

Реакцію ОК  $y(t)$  на вхідний сигнал  $x(t)$  будемо шукати, використовуючи інтеграл згортки [4], який для гібридної системи набуває форми

$$y_i = \sum_{z=0}^i g_{i-z} x_{i \operatorname{div} Nk} Dts; \quad (3)$$

тут  $y_i$  – вихідний сигнал ОК, індекс  $i$  – номер кроку за часом  $Dts$ ;  $\operatorname{div}$  – оператор цілочисельного ділення, що дає можливість “узгодити” одночасне моделювання цифрової та неперервної частин АСК, використовуючи співвідношення  $T_{KV} = Nk Dts$ .

При комп'ютерній реалізації залежності (3) імпульсну характеристику ОК будемо зберігати в масиві `Gts: CoefL`, де `Coef = array[-1...601] of real` такої структури:

	-1	0	1	2	3	...	L	L+1	...	601
Gts:CoefL	L	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	...	g[L]	Dts	...	

У формулі (3)  $x$  оновлюється через  $Nk$  кроків.

Залежність (3) дає можливість визначити реакцію лінійного ОК  $y(t)$  як суму реакцій на послідовність вхідних прямокутних імпульсів, площа (енергія) кожного з яких дорівнює добутку поточного значення  $x$  на його тривалість  $Dts$ . Графічно це виглядає так, як показано на рис. 2.

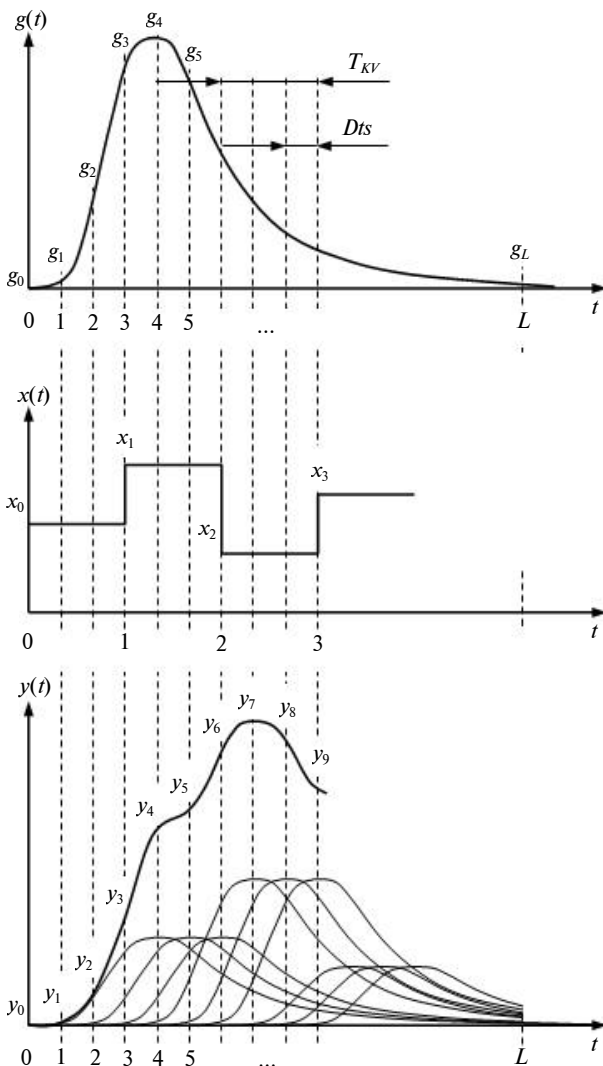


Рис. 2. Схема формування масиву ординат реакції  $y(t)$

Крок  $Dts$  визначається бажаним часом спостереження  $Ds$  ( $Dts = Ds / L$ ) перехідних процесів АСК. Величину  $Ds$  задає користувач. А вона, залежно від вибраних параметрів настроювання регулятора, може варіюватися в

широкому діапазоні, тоді як на початку розрахунку системи динамічні властивості ОК будемо задавати масивом **Gt: CoefL**, сформованим для часу спостереження  $D$ , вибраного з умови

$$g(t)|_{t \geq D} \leq \varepsilon, \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – деяка мала величина, тобто  $g(t)|_{t \geq D} \approx 0$ .

Щоб скористатися інтегралом згортки (3), вихідний масив **Gt** (з кроком  $Dt = D / L$ ) потрібно перерахувати в масив **Gts** (з кроком  $Dts = Ds / L$ ). Сформуємо для цього підпрограму **IntGt**, що реалізує лінійну інтерполяцію в масиві **Gt**:

```
function IntGt(t:real):real;
var L, s: integer;
    Dt, R: real;
begin
    L:=round(Gt[-1]); Dt:=Gt[L+1];
    R:=t/Dt; s:=trunc(R); t:=frac(R);
    if s<L then IntGt:=Gt[s]+t*(Gt[s+1]-
    - Gt[s])
    else IntGt:=0;
end;
```

Розрахунок масиву ординат **Hts: CoefL** реакції системи на вхідний сигнал будемо формувати у підпрограмі **FormHts**. Тут функція **Zd** задає одиничний ступінчастий вхідний сигнал, але в загальному випадку вона може задавати будь-який необхідний вхід. Початкові умови вважаються нульовими. Маємо:

```
procedure FormHts(Gt:CoefL;
Ds,Kr,Ti,Td,Tkv:real; var Hts:CoefL);
var e, ep, x, i, Dts: real;
    z, s, Nk: integer;
    Gts: CoefL;
begin
    L:=round(Gt[-1]); Dts:=Ds/L;
    Nk:=round(Tkv/Dts);
    if Nk=0 then Nk:=1;
    Dts:=Tkv/Nk; Ds:=Dts*L;
    Hts[-1]:=L; Hts[0]:=0;
    Hts[L+1]:=Dts;
    e:=Zd(0)-Hts[0]; x:=Kr*e; i:=0;
    for s:=0 to L do
        begin
            Gts[s]:=IntGt(s*Dts);
            Hts[s]:=x*Gts[s];
        end;
```

```

for s:=1 to L do
begin
  if s mod Nk=0 then
  begin
    ep:=e; e:=Zd(s*Tkv)-Hts[s];
    i:=i+e*Tkv;
    x:=Kr*(e+i/Ti+Td*(e-ep)/Tkv);
  end;
  for z:=0 to L-s do
    Hts[z+s]:=Hts[z+s]+Gts[z]*x*Dts;
  end;
end;
end;

```

Щоб забезпечити кратність періоду квантування  $T_{KV}$  кроку числового інтегрування  $Dts$  в підпрограмі **FormHts**, заданий час спостереження  $Ds$  коригується. Невелика корекція  $Ds$  цілком допустима, оскільки  $Ds$  задається лише орієнтовно. Якщо  $Nk$  дорівнюватиме одиниці, то систему можна розглядати як аналогову і дискретність ЦР можна не брати до уваги.

Як приклад застосування методу, розраховано перехідні процеси гібридної АСК за імпульсною характеристикою ОК, зображеною на рис. 3. Наведеній імпульсній характеристиці відповідає аперіодична ланка другого порядку із запізнюванням:

$$W_{OK}(s) = \frac{k}{a_2 p^2 + a_1 p + 1} e^{-\tau p}, \text{ де}$$

$k = 5$ ,  $a_2 = 2 \text{ с}^2$ ,  $a_1 = 5 \text{ с}$ ,  $\tau = 5 \text{ с}$ . Результати моделювання з різними параметрами налаштувань цифрового ПІД-регулятора наведено на рис. 4. Перехідний процес в АСК забезпечується: 1 – настройками ЦР:  $K_R = 0,1$ ,  $T_I = 5 \text{ с}$ ,  $T_D = 0$ ,  $T_{KV} = 8 \text{ с}$ ; 2 –  $K_R = 0,1$ ,  $T_I = 5 \text{ с}$ ,  $T_D = 0$ ,  $T_{KV} = 4 \text{ с}$ ; 3 – неперервна система керування з настройками  $K_R = 0,1$ ,  $T_I = 5 \text{ с}$ ,  $T_D = 0$ .

Хотілося додати, що як динамічну властивість ОК не обов'язково використовувати імпульсну характеристику  $g(t)$  ОК. Можна застосовувати перехідну характеристику  $h(t)$  ОК, враховуючи, що експериментально частіше отримують саме цю характеристику. В цьому випадку можна використати залежність інтеграла згортки із застосуванням  $h(t)$  [4], або, як варіант, можливе чисельне диференціювання  $h(t)$ . Проте, на думку авторів, застосування імпульсної характеристики  $g(t)$  ОК є універсальним. Наприклад, як  $g(t)$  можна чисельно визначити амплітудно-фазову характеристику ОК, як це запропоновано в [3].

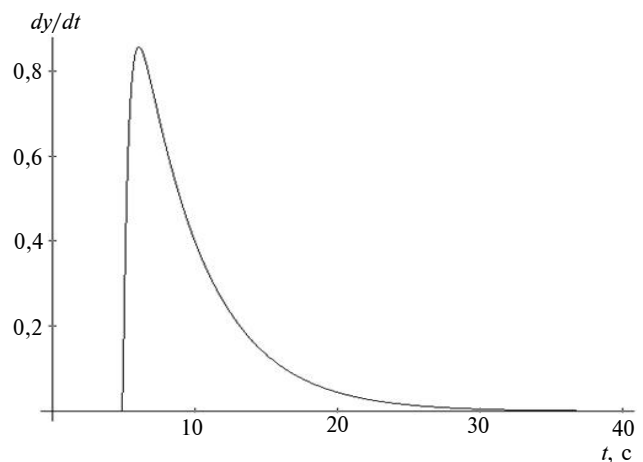


Рис. 3. Імпульсна характеристика ОК

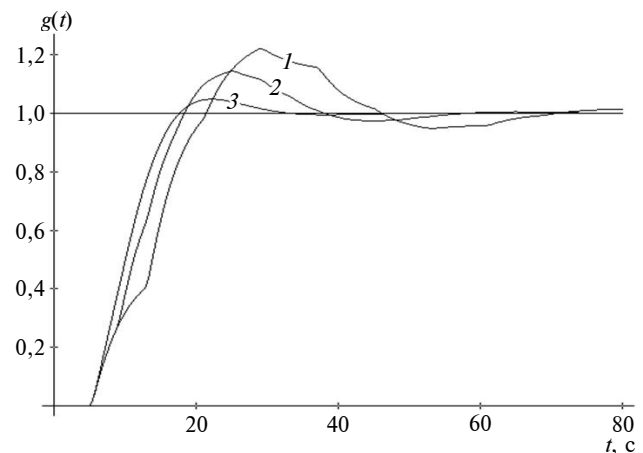


Рис. 4. Перехідні процеси в АСК

## Висновки

Запропонований метод розрахунку перехідних процесів в АСК відкриває можливість синтезу аналогових та цифрових систем керування без етапу апроксимації динамічних властивостей ОК. Це не тільки дасть змогу зменшити похибку моделювання АСК за рахунок вилучення етапу апроксимації, а й дозволить уникнути суб'єктивності при виборі структури апроксимуючої залежності. Це особливо актуально, коли постійно змінюється завдання АСК при протіканні процесу. При швидкій зміні завдання АСК (на високих частотах) некоректна структура апроксимуючої моделі ОК може призвести до значних похибок у розрахунках.

На базі даного методу можна розробити ряд числових методів пошуку оптимальних налаштувань ЦР за певними критеріями. Напри-

клад, як критерій налагодження АСК можна вибрати мінімальну середньоквадратичну похибку розузгодження системи керування та, змінюючи за певним алгоритмом всі параметри ЦР, легко знайти оптимальні настройки. Або,

скажімо, як критерій можна задати бажану область перехідного процесу і також ітераційно (змінюючи параметри ЦР) визначити оптимальні настройки.

И.М. Голинко, Ю.М. Коврыго

АНАЛИЗ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ОБЪЕКТА

В статье рассматривается метод расчета переходных процессов в гибридной системе управления по импульсной характеристике объекта. Метод дает возможность использовать в качестве динамических свойств объекта управления его импульсную характеристику. Предложенный подход позволяет исключить этап аппроксимации в расчетах системы управления, что уменьшит ошибку моделирования за счет субъективности выбора структуры аппроксимирующей зависимости. Метод может использоваться специалистами по автоматизации для анализа и настройки непрерывных и цифровых систем управления.

I.M. Golinko, Yu.M. Kovrygo

ANALYSIS OF THE HYBRID CONTROL SYSTEM USING THE PULSE CHARACTERISTIC OF THE PLANT

The study provides an insight into a calculation method of transient processes in the hybrid control system by a pulse characteristic of the plant. This approach allows excluding a stage of approximation in calculations of the control system as well as reducing a simulation error due to subjective choice of the structure of approximation dependence. The method can be used by experts on automation for analyzing and tuning of continuous and digital control systems.

1. *Гудвин Г.К., Гребне С.Ф., Сальгадо М.Э.* Проектирование систем управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 912 с.
2. *Дорф Р., Бишон Р.* Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
3. *Кубрак А.І., Жученко А.І., Кваско М.З.* Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем: Навч. посібник. – К.: Політехніка, 2004. – 424 с.
4. *Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С.* Математические основы теории автоматического регулирования: Справочник. Том 2. – М.: Высш. шк., 1977. – 456 с.

Рекомендована Радою  
теплоенергетичного факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
21 грудня 2009 року