

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТУ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

МАТЕРІАЛИ ДЕВ'ЯТОЇ  
МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
СТУДЕНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНІХ



ПРИСВЯЧЕНА 55-РІЧЧЮ  
ІНСТИТУТУ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

“Сучасні інформаційні технології 2019”

“Modern Information Technology 2019”



**NetCracker®**



23-24 травня

Одеса  
«Екологія»  
2019

УДК 681.5.015.7

## НЕПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Посохов Д. О.

д.т.н., професор каф. КСУ Павленко В. Д.

Одеський Національний Політехнічний Університет, УКРАЇНА

**АНОТАЦІЯ.** Розглядається метод непараметричної ідентифікації лінійних об'єктів управління у вигляді імпульсної перехідної функції за даними експерименту "вхід-вихід" з урахуванням похибок вимірювань. Досліджується ефективність застосування методу регуляризації некоректних задач А.М. Тихонова в процедурі ідентифікації.

**Вступ.** Розв'язок завдань управління, як у технічних, так і в інших областях людської діяльності тісно пов'язане з питаннями математичного моделювання, тобто з побудовою моделі і вивченням на ній закономірностей функціонування об'єкта. Без знання з достатньою точністю характеристик і параметрів (математичної моделі) складного об'єкта неможливо організувати якісне управління ним.

Для об'єктів, щодо яких відсутня яка-небудь апріорна інформація (об'єктів типу "чорний ящик"), використовуються методи непараметричної ідентифікації [1]. Основою для створення моделі досліджуваного об'єкта служать результати вимірів вхідних і вихідних змінних об'єкта, і розв'язок задачі ідентифікації пов'язаний з одержанням цих експериментальних даних і їх обробкою з урахуванням шумів вимірів. При цьому визначаються дискретні значення динамічних характеристик в скінченному числі точок, шляхом подачі спеціальних пробних сигналів заданої форми (активний експеримент) або визначаються рішення відповідних рівнянь статистичної динаміки (пасивний експеримент) [1]. У цьому випадку використання традиційних детермінованих підходів і кореляційної теорії може не привести до цілі через некоректність постановки задачі.

**Метою роботи** є дослідження ефективності застосування методу регуляризації некоректних задач А.М. Тихонова [2] при непараметричній ідентифікації лінійного динамічного об'єкта управління за даними експериментів "вхід-вихід" з урахуванням шумів вимірів.

**Основна частина роботи.** Необхідно побудувати лінійну математичну модель об'єкта управління у вигляді імпульсної перехідної функції  $w(t)$ , тобто визначити сукупність значень  $w_i = w(i\Delta t)$ ,  $i = 0, 1, \dots, N$  на заданій рівномірній сітці за часом із кроком  $\Delta t$ , на підставі даних експерименту "вхід-вихід".

Вихідний сигнал лінійної динамічної системи  $y(t)$  можна визначити за допомогою інтеграла згортки вхідного сигналу  $x(t)$  і імпульсної перехідної функції системи  $w(t)$ :

$$y(t) = \int_0^{\infty} w(t - \tau)x(\tau)d\tau \quad (1)$$

Задача ідентифікації (зворотна задача) полягає в тому, щоб знайти імпульсну перехідну функцію  $w(t)$ , тобто розв'язати інтегральне рівняння (1), коли вхідний  $x(t)$  і вихідний  $y(t)$  сигнали відомі. Цю задачу будемо розв'язувати для зашумленого сигналу  $z(t) = y(t) + n(t)$ , де  $n(t)$  – перешкода. Зворотна задача може бути вирішена з використанням перетворення Фур'є. Відомо, що комплексні функції  $Z(j\omega)$ ,  $X(j\omega)$  і  $W(j\omega)$ , що є Фур'є-образами відповідно функцій  $z(t)$ ,  $x(t)$ ,  $w(t)$ , зв'язані між собою наступним співвідношенням:

$$W(j\omega) = \frac{Z(j\omega)X^*(j\omega)}{X^2(\omega)}, \quad (2)$$

де  $X^2(\omega) = X(j\omega)X^*(j\omega)$ ,  $X^*(j\omega)$  – функція сполучена з  $X(j\omega)$ . Імпульсна перехідна функція  $w(t)$  визначається за допомогою зворотного перетворення Фур'є від  $W(j\omega)$  (2).

Стійкість обчислювального процесу процедури ідентифікації забезпечується використанням методу регуляризації [2]. При цьому гарантується необхідна гладкість розв'язку

і рішення отримується з тою саме точністю, з якою здійснені виміри. В цьому випадку Фур'є-образ функції  $w(t)$  визначається зі співвідношення:

$$W(j\omega) = \frac{Z(j\omega)X^*(j\omega)}{X^2(\omega) + \alpha M(\omega)}, \quad (3)$$

де  $\alpha > 0$  – параметр регуляризації;

$$M(\omega) = \sum_{k=0}^p q_k \omega^{2k}, q_k \geq 0 \quad (4)$$

– додатна функція, що забезпечує регуляризацію  $p$ -го порядку.

При обчисленні оцінки  $\hat{w}(t)$  з використанням методу регуляризації (3) функція  $M(\omega_i)$  розраховується за формулою:

$$M(\omega_i) = 1 + \left( \frac{2}{\Delta t} \sin \frac{\pi(i-1)}{N} \right)^2, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

При реалізації даного алгоритму параметр регуляризації  $\alpha$  вибирають досить малим з аналізу наявної інформації про похибки вхідних даних і похибки обчислень. Практично підходяще значення параметра регуляризації визначають найчастіше шляхом вибору, тобто багаторазовим обчисленнями  $\hat{w}_\alpha(t_i)$  для різних значень  $\alpha$ . На практиці зручним є спосіб визначення квазіоптимального значення параметра  $\alpha = \alpha_{кв}$ , тобто в якості  $\alpha$  вибирається значення  $\alpha_{кв} = \alpha_k, k=1, 2, \dots$ , для якого

$$\left\| \hat{w}_{\alpha_{k+1}} - \hat{w}_{\alpha_k} \right\| \rightarrow \min. \quad (6)$$

Результати комп'ютерного моделювання процесу непараметричної ідентифікації представлено на рис.1 – без регуляризації, та рис.2 – із застосуванням регуляризації при  $\alpha=3,1e^{-4}$ .

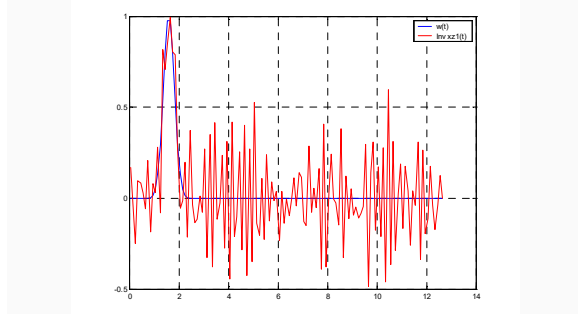


Рисунок 1 – Графіки функцій  $w(t)$  та  $\hat{w}(t)$ , обчисленої при похибках вимірювань відгуків  $\sigma=10\%$  без застосування регуляризації

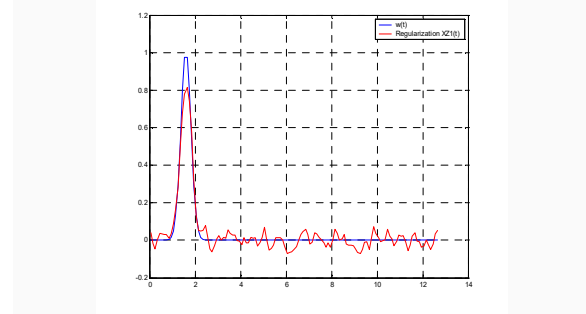


Рисунок 2 – Графіки функцій  $w(t)$  та  $\hat{w}(t)$ , обчисленої із застосуванням регуляризації при  $\alpha=3,1e^{-4}$

**Висновок.** Проведені дослідження показали, що за умови наявності шумів неможливо отримати достовірну імпульсну перехідну характеристику. Ця проблема вирішується застосуванням методу регуляризації некоректних задач А.М. Тихонова. У відмінність від методу усереднення тут не потрібно багаторазового повторення експерименту. Воно замінюється багаторазовим обчисленням імпульсної перехідної функції при пошуку параметра регуляризації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пупков К.А., Егунов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления: Учебник для ВУЗов. В 5 тт. Т. 2, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 638 с.
2. Павленко С. В., Павленко В. Д. Регуляризация процедуры идентификации нелинейных систем в виде моделей Вольтерры [Электронный ресурс] // Идентификация систем и задачи управления: Труды X Международной конференции SICPRO'15, Москва 26-29 января 2015 г., Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – М.: ИПУ РАН, 2015. – С. 230-238. – ISBN 978-5-91450-162-1.