

**АДАПТИВНЕ  
КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ:  
алгоритми пасивного  
самоналагодження  
коефіцієнта передачі  
регуляторів**

Хобін В.А., Левінський М.В.

**МОНОГРАФІЯ**

**В.А. Хобін, М.В. Левінський**

**АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ:**

**АЛГОРИТМИ ПАСИВНОГО САМОНАЛАГОДЖЕННЯ  
КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕДАЧІ РЕГУЛЯТОРІВ**

Монографія

Одеса  
2019

УДК 681.52:62-503.57  
Х68

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої Ради  
Одеської національної академії харчових технологій  
(протокол № 4 від 06.11.2018 р.)*

**Рецензенти:**

**Ладанюк А.П.** – заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри Інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій (м. Київ)

**Онищенко О.А.** – доктор технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації флоту Національного університету «Одеська морська академія» (м. Одеса)

**Монтік П.М.** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри електромеханіки і мехатроніки Одеської національної академії харчових технологій (м. Одеса)

**Хобін В.А.**

Х68 Адаптивне керування об'єктами технологічного типу: алгоритми пасивного самоналагодження коефіцієнта передачі регуляторів: монографія / В.А. Хобін, М.В. Левінський. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2019. – 228 с.

**ISBN 978-966-916-717-0**

У монографії представлені обґрунтування і нове рішення науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування об'єктів регулювання (ОР) технологічного типу зі змінними в широких діапазонах коефіцієнтами передачі за рахунок вдосконалення алгоритмів самоналагодження системи автоматичного регулювання (САР). Ідентифікація коефіцієнта передачі ОР здійснюється пасивним методом шляхом фільтрації із загального руху регульованої змінної об'єкта складової її власного руху. Обґрунтований доцільний порядок лінійного смугового фільтра, розроблені нові структури і алгоритми контуру самоналагодження, які забезпечують стійкість САР із самоналагодженням (САРС) та її високу динамічну точність при зміні коефіцієнта передачі ОР в широких діапазонах. Алгоритми реалізовані у вигляді програмного модуля для промислових контролерів SIMATIC. Напівнатурне моделювання САРС підтвердило її робоспроможність для ОР із суттєво нелінійною статичною характеристикою.

Книга призначена для наукових співробітників та інженерів, які займаються розробкою ефективних систем керування для широкого класу об'єктів, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

**УДК 681.52:62-503.57**

ISBN 978-966-916-717-0

© В.А. Хобін, 2019  
© М.В. Левінський, 2019

# ЗМІСТ

## Розділ 1

### **ОГЛЯД КОНЦЕПЦІЙ ПОБУДОВИ САРС ІЗ САМОНАЛАГОДЖЕННЯМ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ, ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНЦЕПЦІЇ, ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ..... 6**

- 1.1. Особливості технологічних процесів як об'єктів регулювання, актуальність задачі самоналагодження, класифікація концепцій побудови САРС ..... 6
- 1.2. Огляд концепцій побудови САРС і їх короткий аналіз ..... 13
- 1.3. Обґрунтування перспективної концепції побудови САРС для об'єктів технологічного типу і постановка задачі дослідження ..... 31
- Висновки по розділу 1 ..... 33

## Розділ 2

### **ПІДГОТОВКА ТЕСТОВИХ САРС ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ВЛАСНОГО РУХУ І АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ САРС..... 35**

- 2.1. Обґрунтування методу дослідження САРС об'єктом технологічного типу, структури і параметрів тестової базової САР як підсистеми САРС ..... 35
- 2.2. Обґрунтування необхідності і дослідження процесів виділення складової власного руху регульованої змінної ..... 51
- 2.3. Обґрунтування структури базової САРС ..... 72

2.4. Структура, математичний опис базової САРС і її параметрична оптимізація .....	84
2.5. Дослідження базової САРС у широких умовах функціонування.....	92
Висновки по розділу 2.....	99

### **Розділ 3**

#### **ПРИНЦИПИ, АЛГОРИТМИ І РЕЗУЛЬТАТИ**

#### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ САРС ..... 101**

3.1. Підвищення ефективності контуру регулювання САРС за рахунок підвищення порядку астатизму .....	101
3.2. Обґрунтування шляхів удосконалювання структури й алгоритмів контуру самоналагодження для підвищення ефективності САРС.....	110
3.3. Дослідження і параметрична оптимізація алгоритмів контуру самоналагодження, що підвищують ефективність САРС .....	118
3.4. Вдосконалення алгоритмів самоналагодження САРС для забезпечення ефективності її пускових режимів.....	131
3.5. Методика спрощеного налаштування параметрів САРС.....	146
Висновки по розділу 3.....	149

### **Розділ 4**

#### **РЕАЛІЗАЦІЯ САРС: РОЗРОБКА ПРИКЛАДНОГО**

#### **ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЕРІВ SIMATIC,**

#### **НАПІВНАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САРС НАВАНТАЖЕННЯМ**

#### **МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ..... 152**

4.1. Розробка прикладного програмного забезпечення САРС.....	152
4.2. Напівнатурне моделювання САРС: актуальність, технологія і техніка, верифікація алгоритму модуля самоналагодження.....	159
4.3. Вибір об'єкта регулювання, актуального для застосування САРС.....	165

4.4. Імітаційне і напівнатурне моделювання САРС молотковою дробаркою.....	175
Висновки по розділу 4.....	180
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>182</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>185</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>195</b>

## ВИСНОВКИ

В даній роботі представлені обґрунтування і нове рішення науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування ОР технологічного типу зі змінними в широких діапазонах коефіцієнтами передачі за рахунок вдосконалення алгоритмів самоналагодження САР.

Основні результати і висновки по роботі полягають у наступному.

1. Концепція самоналагодження регулятора в замкнутій САР, заснована на пасивній ідентифікації об'єкта регулювання з виділенням із загального руху регульованих змінних об'єкта і його моделі складових їхнього власного руху, перспективна для побудови САРС. Відома реалізація самоналагоджувальної системи за цією концепцією має ряд недоліків. Їхні причини: а) залежність коефіцієнта передачі контуру самоналагодження від коефіцієнта передачі ОР; б) невідповідність запізнення та інерційності моделі ОР динамічним властивостям об'єкта; в) значна інерційність контуру самоналагодження; г) його істотна нелінійність.

2. Виділення складових власного руху регульованих змінних ОР і його моделі можливо лінійними смуговими фільтрами Баттерворта. Доцільний порядок диференціального рівняння фільтра обґрунтований, в основному, як компроміс між результативністю фільтрації і складністю його програмної реалізації.

3. Істотне підвищення ефективності САРС досягається на основі розроблених нових структур і алгоритмів контуру самоналагодження, які:

а) стабілізують його коефіцієнт передачі, що дозволяє забезпечити стійкість контуру у всьому діапазоні змін коефіцієнта передачі ОР;

б) формують оцінки імовірнісних характеристик складових власного руху тільки за рахунок його синфазних ділянок, що

дозволяє підвищити робастність контуру самоналагодження до змін запізнення та інерційності ОР;

в) виводять із контуру інерційні складові моделі ОР, смугового та усереднюючого фільтрів, що дозволяє підвищити його швидкодію і точність самоналагодження коефіцієнта передачі регулятора САР до змінного коефіцієнта передачі ОР; г) використовують у якості оцінок імовірнісних характеристик оцінки СКВ складових власного руху, що розширює область стійкості контуру самоналагодження.

4. Алгоритми самоналагодження САРС для пускових режимів ОР дозволяють завершити процедуру самоналагодження протягом періоду пуску, запобігти неприпустимим динамічним помилкам регулювання і забезпечити безударний перехід контурів регулювання і самоналагодження від пускового до сталого режиму функціонування.

5. Підвищення точності стабілізації регульованої змінної досягається за рахунок збільшення порядку астатизму контуру регулювання САРС, що усуває сталі складові помилок регулювання, які пропорційні швидкості зміни коефіцієнта передачі ОР.

6. Спільне застосування розроблених напрямків вдосконалення САРС має синергетичний ефект. Система зберігає стійкість в умовах зміни нормованого коефіцієнта передачі ОР у діапазоні 0,5...10 ( тобто в 20 раз) у порівнянні з первісним одиничним значенням при високій динамічній точності стабілізації регульованої змінної.

7. Область застосування розроблених алгоритмів ширша, ніж для лінійних ОР, які входили до складу САРС на етапі теоретичних досліджень. Вони зберігають свою високу ефективність для об'єктів з різними видами нелінійностей, зокрема, досить несприятливих, коли коефіцієнт передачі зростає з наближенням до оптимальних режимів, при яких різко зростає ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з виходом регульованої змінної за регламентні допуски.

8. Запропонована методика визначення параметрів контуру самоналагодження САРС дає можливість провести розрахунок по тим же вихідним даним, які традиційно використовуються для

розрахунків параметрів налаштування регуляторів звичайної САР. Це максимально спрощує процес впровадження системи.

9. Розроблений програмний модуль для промислових контролерів SIMATIC реалізує алгоритми контуру самоналагодження САРС і легко інтегрується з функціональними блоками регулювання, які входять до складу стандартних бібліотек середовища програмування Step 7.