

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

УПРАВЛІННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З НЕАВТОНОМНОЮ ЗАДАЮЧОЮ МОДЕЛЛЮ І НЕЧІТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ Євгеній ПАНТЕЛЄВ

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ Олександр КОЗАК

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2023 р.

Керівник проектної групи (гарант освітньої
програми) «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМ ПОЗИЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Огляд і аналіз систем позиційного управління	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Огляд і аналіз методів оптимального управління	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Огляд і аналіз методів нечіткого управління	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Формулювання наукових завдань дослідження	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ ФАЗЗИ-УПРАВЛІННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Перспективи використання фаззи-регуляторів в автоматичних системах управління позиційними електроприводами	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Аналітичний аналіз структури простих нечітких контролерів з використанням різних методів виведення вихідного сигналу	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.1 Компоненти простих нечітких контролерів	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.2 Структура простих нечітких контролерів	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Властивості фаззи-контролерів, що використовують різні методи виводу	Ошибка! Закладка не определена.

2.4 Визначення адекватності чотирьох методів виведення контролерів для фаззі-управління і порівняння керівників сигналів з використанням R_M - методу з R_L і R_{DP} - методами виводу **Ошибка! Закладка не определена.**

2.5 Представлення залежності вихідного сигналу від вхідного дії регулятора структурною схемою..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.6 Порівняння керуючих дій фаззі-контролерів з керуючою дією лінійних Пі-регуляторів..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.7 Фаззі-контролери як адаптивні регулятори**Ошибка! Закладка не определена.**

2.8 Висновки до розділу 2 **Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 3 КОМБІНОВАНЕ ФАЗЗІ-УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З НЕАВТОНОМНОЮ ЗАДАЮЧОЮ МОДЕЛЛЮ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1 Використання паралельного включення традиційного і нечіткого регуляторів в системах управління електроприводом**Ошибка! Закладка не определена.**

3.2 Управління позиційним електроприводом електромеханічної системи з пружними механічними ланками..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3 Побудова системи управління позиційним електроприводом з неавтономною задаючою моделлю **Ошибка! Закладка не определена.**

3.4 Реалізація многопериодной оптимальної діаграми швидкості позиційного електроприводу з фаззі-регулятором**Ошибка! Закладка не определена.**

3.5 Позиційне управління багатозв'язковою електромеханічною системою з адаптивним фаззі-регулятором **Ошибка! Закладка не определена.**

3.6 Висновки до розділу 3 **Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВКИ 11

	4
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	13

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі вирішено наукове завдання підвищення якості управління позиційним електроприводом складної структури з розподіленими параметрами, схильного до впливу зовнішніх і параметричних дій, шляхом розвитку методу управління на підставі використання неавтономної задаючої моделі і застосуванні нечітких регуляторів. Розроблені алгоритми управління забезпечують слабку чутливість до зміни параметрів електроприводу.

ABSTRACT

In the qualification work, the scientific task of improving the quality of control of a positional electric drive of a complex structure with distributed parameters, subject to the influence of external and parametric actions, was solved by developing a control method based on the use of a non-autonomous command model and the use of fuzzy controllers. The developed control algorithms provide low sensitivity to changes in the parameters of the electric drive.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи складається з: стор., 4 табл., 52 рисунків., 57 літературних джерел.

Тема роботи: «УПРАВЛІННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З НЕАВТОНОМНОЮ ЗАДАЮЧОЮ МОДЕЛЛЮ І НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРАМИ».

На підставі аналізу існуючих методів позиційного управління обґрунтовано можливість використання нечіткого управління для об'єктів складної структури.

Розроблено структуру і параметри двоканального нечіткого регулятора з вхідними сигналами заданих значень швидкості і прискорення або положення і швидкості.

Розроблено структурну схему системи управління із зворотним зв'язком по пружному моменту для об'єктів з пружними ланками.

Розроблено комп'ютерну математичну модель статично урівноваженої підйомної установки як складною пружною ЕМС з розподіленими параметрами.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПРИВОД, РЕГУЛЯТОР ПОЛОЖЕННЯ, НЕЛІНІЙНИЙ ЕЛЕМЕНТ, ФАЗЗИ - РЕГУЛЯТОР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕП - електропривод
ЕМС - електромеханічна система
ОУ - об'єкт управління
ВД - вентильний двигун
СПР - система підпорядкованого регулювання
РП - регулятор положення
ЗМ - задаюча модель
САУ - система автоматичного управління
БНВ - блоки нечіткого виводу
ФР - фазі - регулятор
ФМ - фазі - множина
КНП - керований напівпровідниковий перетворювач
МК - можливі комбінації
БД - блок ділення
НЕ - нелінійний елемент
КНР - коригуючий нелінійний регулятор
БВМ - блок виділення модуля
ФРП - фаззі - регулятор положення
ФРМ - фаззі - регулятор моменту
Д - двигун
РМ - робочий механізм
ЗІ - задатчик інтенсивності
ДЛ - диференціююча ланка
ДФР - демпфуючий фаззі-регулятор
ПЕМС - пружна електромеханічна система
БР - блок регулятора
ШПУ - шахтна підйомна установка

ВСТУП

Впровадження передових технологій і створення сучасного устаткування вимагають забезпечення високої точності, швидкості, широкого діапазону регулювання, рівномірності і узгодженості дії електроприводів (ЕП) в процесі відтворення заданих траєкторій руху замкнутих електромеханічних систем (ЕМС). Особливо жорсткі вимоги пред'являються до сучасних систем ЕП циклічної дії (приводи екскаваторів, підйомних машин, промислових маніпуляторів і інших механізмів). У більшості випадків головним завданням таких ЕМС стає переміщення робочого органу на задану відстань за мінімальний час при певних обмеженнях режимних показників. Тому при виборі оптимальних діаграм швидкості і її похідних за часом, а також управляють дії, що відповідають їм, такі системи повинні розглядатися як позиційні.

Оптимізація управління ЕП в загальному випадку включає дві пов'язані між собою завдання: 1) реалізація оптимальних за певними критеріями законів зміни керованих змінних (одній або декількох) і формування пропорційних цим змінним оптимальних задаючих дій; 2) відтворення з найменшою погрешністю керованими змінними задаючих дій. Перше завдання торкається оптимізації по режиму управління, друга - оптимізації по перехідних процесах. Підвищенню якості показників систем управління ЕП відомими методами перешкоджає широкий спектр дестабілізуючих чинників зміни параметрів ЕМС при експлуатації. Тому виникає необхідність створення системи управління, яка дала б можливість запобігти детальному аналізу усього спектру що впливають на об'єкт управління (ОУ) дестабілізуючих чинників і була б нечутливою до зміни параметрів і до обурення. Для вирішення цього завдання перспективним стає використання нечітких регуляторів, що забезпечують реалізацію заданих динамічних режимів. Для підвищення точності відробітку сигналу заданої

швидкості нечітке управління може виконувати функцію коригування дії традиційні ПІ або ПІД - регуляторів.

Тому науково-практичне завдання, яке полягає в розробці швидкодіючої системи управління позиційним електроприводом з використанням неавтономної задаючої моделі і нечітких регуляторів, є **актуальним**.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності управління позиційним електроприводом складної структури, схильним до впливу параметричних і зовнішніх обурень.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

1. На підставі аналізу існуючих методів позиційного управління обґрунтувати можливість використання нечіткого управління для об'єктів складної структури.
2. Розробити структуру і параметри двоканального нечіткого регулятора з вхідними сигналами заданих значень швидкості і прискорення або положення і швидкості.
3. Розробити структурну схему системи управління із зворотним зв'язком по пружному моменту для об'єктів з пружними ланками.
4. Розробити комп'ютерну математичну модель статично урівноваженої підйомної установки як складною пружною ЕМС з розподіленими параметрами.
5. Розробити алгоритм виключення впливу обурюючих дій на об'єкт управління, використовуючи нелінійний компенсуючий зворотний зв'язок за швидкістю.

Об'єкт дослідження - процеси управління позиційним електроприводом з неавтономною задаючою моделлю і контуром адаптації помилково регулювання.

Предмет дослідження - система управління позиційним електроприводом, що коригує перехідні процеси по швидкодії і динамічним навантаженням.

При рішенні поставлених в роботі завдань використані наступні **методи досліджень** : методи теорії оптимального управління для розробки алгоритмів управління позиційним електроприводом за критеріями максимальної швидкодії, мінімальних динамічних навантажень, мінімальних втрат енергії; теорія механічних коливань для формування оптимальних дій, що управляють, і побудови структурної схеми підйомної установки, а також використаний метод комп'ютерного моделювання для перевірки ефективності математичних моделей.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці перспективних систем управління електроприводом складної структури, схильного до впливу зовнішніх і параметричних обурень.

Практичні результати дисертаційної роботи наступні:

1. Розроблена система управління позиційним електроприводом з нечіткою корекцією заданих діаграм швидкості і положення, що забезпечує реалізацію цих діаграм в оптимальному по швидкодії і динамічним навантаженням режимі при дії параметричних і зовнішніх обурень, використовуючи стандартну апаратуру.

2. Використання запропонованої системи управління дозволить за рахунок виключення коливальних процесів в перехідних режимах і точного останову робочого органу досягти мінімальних втрат енергії за рахунок виключення маневрових операцій, пов'язаних із застосуванням посадочних пристроїв і, отже, зменшення часу робочого циклу.

3. Розроблена система управління орієнтована на використання регульованих електроприводів з будь-яким двигуном. Найбільший інтерес результати роботи представляють для ЕМС з пружними механічними ланками, наприклад для підйомних установок глибоких шахт.

4. Розроблений фазі - регулятор системи автоматичного управління позиційним електроприводом, є комбінований регулятор, який складається з традиційного регулятора і нечіткого адаптивного, що практично дозволяє поліпшити чутливість системи управління до обурюючих дій без істотних змін в існуючих системах управління.

Особистий вклад здобувача. Здобувача вирішив науково-прикладні завдання синтезу алгоритмів і структурних схем неавтономною задаючого моделі з нелінійним вхідним сигналом, і нелінійної прямої передачі адаптивного нечіткого регулятора, отримав уніфіковану структуру регулятора для приводу будь-якої структури.

Публікації. За результатами уваліфікаційної роботи автором досліджень опубліковано тези у збірнику найкових праць III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції "Ефективне використання енергії; стан і перспективи" ЗВО «ПДУ».

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено наукове завдання підвищення якості управління позиційним електроприводом складної структури з розподіленими параметрами, схильного до впливу зовнішніх і параметричних дій, шляхом розвитку методу управління на підставі використання неавтономної задаючої моделі і застосуванні нечітких регуляторів. Розроблені алгоритми управління забезпечують слабку чутливість до зміни параметрів електроприводу.

1. Забезпечення заданого динамічного режиму системи при будь-яких параметричних і зовнішніх обуреннях при перекладі робочого механізму з одного фіксованого положення в інше з високою точністю обумовлює жорсткі вимоги до якості регулювання сучасних позиційних приводів що полягає в точному останові робочого органу в заданому положенні.

2. Уперше отримана проста структура ФР згідно з аналітичним визначенням функцій приладдя, за допомогою якого вихідний сигнал регулятора визначений по координаті центру тяжіння нечітких великих кількостей.

3. Доведено, що в замкнутій системі управління, в якій виникають пружні коливання, що перешкоджають точній зупинці робочого органу, використання зворотного зв'язку по пружному моменту, визначеному побічно за швидкістю і струму двигуна забезпечує стійкий динамічний режим.

4. На основі структурних схем задаючої моделі і підйомної установки досліджена динаміка багатозв'язковою ЕМС з нечіткою корекцією регуляторів струму, швидкості і положення робочого органу (кліті). Отримані в результаті комп'ютерного моделювання графіки підтвердили ефективність нечіткої корекції контурів регулювання.

5. Для виключення впливу зміни статичного навантаження і моменту інерції запропоновано використати компенсуючу модель (КМ), що функціонує по зворотному динамічному алгоритму по дійсній швидкості або переміщенню

із застосуванням нечіткого регулятора, що забезпечило стабілізацію динамічних показників якості управління під час дії параметричних обурень.

6. Для багатозв'язкової позиційної системи розроблена задаюча модель, що формує чотири сигнали, що управляють, пропорційних керованим змінним (положенню, швидкості, струму і похідній струму за часом), що забезпечує точне відтворення дій, що управляють.

7. Обґрунтування і достовірність теоретичних положень роботи і виводів підтверджене результатами моделювання. Різниця між показниками якості управління швидкістю в системах з позиційним електроприводом при практичній реалізації і моделюванні не перевищує 4%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаруда В. Г. Практикум з автоматичного управління. Навчальний посібник. / В. Г. Шаруда - Дніпропетровськ: МГУ, 2002. - 414с.
2. Аракелян А.К. Вентильний електропривод з синхронним двигуном і залежним інвертором [Текст] / А.К. Аракелян, А.А. Афанасьєв, М.Г. Чиликин ; під ред. д-ра техн. наук М.Г. Чиликина. - К. : Енергія, 1977. - 223 с.
3. Борців Ю.А. Електромеханічні системи з адаптивним і модальним управлінням / Ю.А. Борців, Н.Д. Поляхов, В. В. Путов. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 216 с.
4. Букреев В. Г. Електроприводи промислових робіт з адаптивним управлінням [Текст] / В. Г. Букреев [та ін.] ; під ред. В. Н. Афанасьєва. - Київ: 1987. - 163, [3] с.
5. Андрианов Ю.Д. Системи промислових робіт, що управляють / Ю.Д. Андрианов [та ін.] ; під ред. И.М. Макарова, В. А. Чиганова. - К. : Машинобудування, 1984. - 288 с.
6. Донський Н.В. Комплексні системи управління електроприводами важких металорізальних верстатів [Текст] : наукове видання / Н.В. Донський [та ін.] ; ред. А.Д. Поздеев. - К. : Енергія, 1980. - 288 с.
7. Решмин Б.І. Динаміка позиційної системи підпорядкованого регулювання з параболічним перетворювачем дії по відхиленню./ Решмин Б.И., Миткевич Е.Г., Ямпольский Д.С. // Електротехнічна промисловість. Сер. Електропривод. - 1973. -Вип.4 (21). - С. 13-15.
8. Лебедєв Е.Д. Управління вентильними електроприводами постійного тока./ Лебедєв Е.Д., Неймарк В. Е., Пистрак М.Я., Слежановский О. В. - К.: Енергія, 1970. - 200 с.
9. Решмин Б.І. Проектування і наладка систем підпорядкованого регулювання електроприводів [Текст] / Б.І. Решмин, Д.С. Ямпольский. - К. : Енергія, 1975. - 184 с.

10. Коцегуб П. Х. Система позиційного електроприводу із задатчиком положення / Коцегуб П. Х., Толочко О. І., Світличний А.В., Губарь Ю.В. // Вісті внз. Електромеханіка. - 1982. - №3. - С. 331 - 337.
11. Зайцев Г. Ф. Що комбіновані, що стежать системи./ Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К. - Київ: Техніка, 1978. - 264 с.
12. Петров Б.Н. Принципи побудови і проектування самоналагоджувальних систем управління. / Петров Б.Н., Рутковский В. Ю., Крутикова І.Н., Земляків С. Д. - К. : Машинобудування, 1972. - 260 с.
13. Озеряний Н.А. Системи з параметричним зворотнім зв'язком./ Озеряний Н.А. - К.: Енергія, 1974. - 151 с.
14. Петров Б.Н. Адаптивний координатний - параметричне управління нестационарними об'єктами./ Петров Б.Н., Рутковский В. Ю., Земляків С. Д. - Х.: Наука, 1980. - 244 с.
15. Красовский А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем./ Красовский А.А. - Х.: Наука, 1966. - 624 с.
16. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспощадные методы / А.Л. Фрадков. - Х.: Наука, 1990. - 296 с.
17. Мірошник І.В. Нелінійне і адаптивне управління складними динамічними системами / І.В. Мірошник, В. О. Никифоров, А.Л. Фрадков. - СПб.: Наука, 2000. - 549 с.
18. Никифоров В. О. Адаптивне і робастне управління з компенсацією обурень / В. О. Никифоров. - СПб.: Наука, 2003. - 282 с.
19. Коцегуб П. Х. Аналіз і синтез комбінованої цифроаналогової системи регулювання швидкості / Коцегуб П. Х., Толочко О. І., Губарь Ю.В. // Від. внз. Електромеханіка. - 1984. --№ 2. - С. 45 - 51.
20. Юркевич В. Д. Синтез нелінійних нестационарних систем управління з різномістовими процесами [Текст] : монографія / В. Д. Юркевич. - СПб. : Наука, 2000. - 288 с.

21. Ємельянов В. В. Одночасна стабілізація лінійних динамічних об'єктів регулятором змінної структури [Текст] / С. В. Ємельянов, В. В. Фомичов, А. С. Фурсов // Автоматика і телемеханіка. - 2012. - № 7. - С. 15-24
22. Рустамов А.Г. Оптимізація функції Ляпунова при релейному управлінні динамічними об'єктами [Текст] / Г. А. Рустамов, А. Т. Абдуллаєва, Р. Г. Рустамов // Автоматизація і сучасні технології. - 2013. - № 3. - С. 21-24.
23. Мещанов А.С. Ковзаючі режими із заданими розмірністю і якістю в системах з лінійними стаціонарними об'єктами при невизначеності / А. С. Мещанов // Авіакосмічне приладобудування. - 2009. - N 2. - С. 22-27.
24. Финогенко И.А. Імпульсні управління в системах з ковзаючими режимами / І. А. Финогенко // Доповіді Академії наук. - 2009. - Т. 426, N 6, червень. - С. 744-746.
25. Французова Г. А. Застосування релейного регулятора для автоматичного пошуку екстремуму в нелінійних системах [Текст] / Г. А. Французова // Автометрия. - 2011. - Т. 47, N 3. - С. 84-91.
26. Слежановский О. В. Реверсивный электропривод постоянного тока. / Слежановский О. В. - К.: Металургія, 1967. - 424 с.
27. Кунцевич В. М. Адаптивне управління. Алгоритми, системи, застосування [Текст] / В. М. Кунцевич ; общ. ред. В. В. Павлов. - Київ: Вища шк., 1988. - 64 с.
28. Болнокин В. Е. Аналіз і синтез автоматичного управління на ЕОМ. Алгоритми і програми [Текст] : довідник / В. Е. Болнокин, П. І. Чинаєв. - Львів: Радіо і зв'язок, 1991. - 247 с.
29. Акуленко Л, Д Асимптотичні методи оптимального управління [Текст] : наукове видання / Л. Д. Акуленко. - Львів: Наука, 1987. - 368 с.
30. Подчукаєв В. А. Методи рішення завдань оптимального, адаптивного і стохастичного управління [Текст] : навчань. посібник з курсу Теорія автомат. управління для спец. 0646 / В. А. Подчукаєв. - Суми: СПІ, 1985. - 79 с.

31. Александров А.Г. Оптимальні і адаптивні системи [Текст] : навчань. посібник / А. Г. Александров. - У: Вища. шк., 1989. - 263 с.
32. Ногин В. Д. Основы теории оптимизации [Текст] : навчань. посібник / В. Д. Ногин, І. І. Євlampіїв, І. О. Протодияконів ; ред. І. О. Протодияконів. - К: Вища. шк., 1986. - 384 с.
33. Трунин Д.О. Метод фазової лінеаризації в завданнях оптимального управління з термінальними обмеженнями [Текст] / Д. О. Трунин // Вісник Харківського державного університету. - 2007. - Вип. 6. - С. 45-47.
34. Тятюшкин А.И. Чисельні методи оптимізації управління в лінійних системах [Текст] / А. І. Тятюшкин // Журнал обчислювальної математики і математичної фізики. - 2015. - Т. 55, № 5. - С. 742-757.
35. Чермалих В. М. Дослідження складних електромеханічних систем. Текст лекцій. / Чермалих В. М. - Київ, КПІ, 1979. - 63 с.
36. Кунцевич А.В. Аналіз і синтез дискретних систем управління в умовах нестохастичної невизначеності / А. В. Кунцевич // Кібернетика і систем. аналіз. - 1998. - № 6. - С. 50-56.
37. Згуровский М.З. Дискретно-безперервні системи з керованою структурою: Теорія, моделювання, застосування / М. З. Згуровский, В. А. Денисенко; НАН України. Ін-т прикл. систем. аналізу. - К. : Наук. думка, 1998. - 350 с.
38. Шушляпин Е.А. Моделі кінцевого стану для неперервнодискретних систем / Е. А. Шушляпин, Л. Н. Канов // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. - 1999. - № 2. - С. 129-132.
39. Любчик Л.М. Комбіноване управління технологічними процесами на основі методу зворотних моделей в умовах неповної інформації [Рукопис] : Дис... д-ра техн. наук: 05.13.07 / Л.М. Любчик; Харків. политехн. ун-т ; Харківський держ. політехнічний ун-т. - Харків, 1995. - 349 з
40. Гавриленко О. С. Аналітичне конструювання агрегованих законів комбінованого управління нелінійними об'єктами [Текст] / О. С. Гавриленко, В.

С. Елсуков // Вісті вищих учбових закладів. Технічні науки. - 2010. - N 4. - С. 11-14.

41. Бовшук Е.Р. Робастное управління нелінійною системою з параметричною невизначеністю [Текст] / Е. Р. Бовшук // Наукомісткі технології. - 2011. - Т. 12, N 4. - С. 31-34.

42. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. - 2 - ге вид., перероб. і доп. / М.Г. Попович, О. В. Ковальчук. - К.: Либідь, 2007 - 656 с.

43. Макаров І.М. Штучний інтелект і інтелектуальні системи управління / І.М. Макаров, В. М. Лохин, С. В. Манько, М.П. Романов ; Відділ. інформ. технологій і обрах. систем РАН. - К. : Наука, 2006. - 334 с.

44. Круг Е.К. Цифрові регулятори [Текст] : наукове видання / Е. К. Круг, Т. М. Александриди, С. Н. Дилигенский. - Київ: Енергія, 1966. - 504 с.

45. Ротач В. Я. Розрахунок динаміки промислових автоматичних систем регулювання [Текст] : наукове видання / В. Я. Ротач. - Київ: Енергія, 1973. - 440 с.

46. Gene F. Feedback Control of Dynamic Systems / Gene F., Powell D., Emami - Naeine A. // Addison - Wesley Publishing Company, 1987.

47. Філіпс, Чарлз Л. Системи управління із зворотним зв'язком [Текст] / Ч. Л. Філіпс, Р. Д. Харбор ; пер. з англ. Би. І. Копилов. - К. : Лабораторія Базових Знань, 2001. - 615 с.

48. Омату С. Нейроуправління і його застосування [Text] / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф ; Під общ. ред. А.И. Галушкина, В. А. Птичкина. - К. : Видавниче підприємство редакція журналу "Радіотехніка", 2000. - 272 с.

49. Васильєв В. І. Інтелектне управління динамічними системами [Текст] / С. Н.Васильєв, А.К.Жерлов, Е.А.Федосов, Б.Е.Федунов. - К. : Фізматліт, 2000. - 352 с.

50. Комарцова Л.Г. Нейрокомп'ютери [Текст] : навчань. посібник / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. - Видавництво 2-е, перераб. і доп. - К. : 2004. - 399 с.

51. Кушилов С. Т. Інтелектуальне управління виробничими системами / С. Т. Кушилов, Б.Г. Ільясов, Л.А. Ісмаїлова, Р. Г. Васильєва. К.: Машинобудування, 2004. - 245 с.
52. Усков А.А., Принципи побудови систем управління з нечіткою логікою [Текст] : наукове видання / А.А. Усков // Прилади і системи. Управління, контроль, діагностика : Наук.-техн. журн. - 2004. - №6. - С. 7-13.
53. Ярушкіна Н.Г. Основи теорії нечітких і гібридних систем [Текст] : навчань. посібник для вчз / Н. Г. Ярушкіна. - К. : Фінанси і статистика, 2004. - 320 с.
54. Babuska R. Fuzzy Modeling for Control / R. Babuska // Kluwer Academic Publishers. - Boston, 1998. - 288 p.
55. Driankov D. An introduction to fuzzy control / D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank; with coop.from R.Palm, B.Graham and A.Ollero. - 1993.
56. Pedrycz W. Gomide F. An Introduction to Fuzzy Sets : Analysis and Design.[Text] / W. Pedrycz, F. Gomide // MIT Press. Hardcover. - 1998. - № 2. - P. 24-41.
57. Hagraas H. Introduction to Interval Type - 2 Fuzzy. Logic Controllers - Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hagraas, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. - Issue 27. - June 2009.