

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Босак Алла Василівна

УДК 621.313: 62-83

**КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З НЕАВТОНОМНОЮ
ЗАДАВАЛЬНОЮ МОДЕЛЛЮ ТА НЕЧІТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Чермалих Олександр Валентинович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ,
доцент кафедри автоматизації управління
електротехнічними комплексами.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мазуренко Леонід Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ,
завідувач відділом електромеханічних систем;

кандидат технічних наук, доцент
Зачепа Юрій Володимирович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського
Міністерства освіти і науки України, м. Кременчук,
доцент кафедри систем автоматичного
управління та електропривода.

Захист відбудеться 25 жовтня 2016 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.20 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, буд. 115, ауд. 316.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано « » вересня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,

А. М. Ковальчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Впровадження передових технологій та створення сучасного обладнання потребують забезпечення високої точності, швидкості, широкого діапазону регулювання, рівномірності й погодженості дії електроприводів (ЕП) у процесі відтворення заданих траєкторій руху замкнених електромеханічних систем (ЕМС). Особливо жорсткі вимоги ставляться до сучасних систем ЕП циклічної дії (приводи екскаваторів, підйомних машин, промислових маніпуляторів та інших механізмів). Тому під час вибору оптимальних діаграм швидкості та її похідних за часом, а також відповідних їм керуючих впливів такі системи слід розглядати як позиційні.

Оптимізація керування ЕП у загальному випадку потребує розв'язання двох пов'язаних між собою задач: 1) визначення оптимальних у певному змісті законів переміни керованих змінних (однієї або кількох) та формування пропорційних цим змінним оптимальних задаючих впливів; 2) відтворення з найменшою похибкою керованих змінних завдання. Перша задача стосується оптимізації за режимом, друга – оптимізації перехідних процесів. Підвищенню якості показників систем керування ЕП відомими методами перешкоджає широкий спектр дестабілізуючих факторів, зміни параметрів ЕМС під час експлуатації. Через це виникає необхідність створення системи, яка б дозволила уникнути докладного аналізу всього спектру, впливаючих на об'єкт керування (ОК) дестабілізуючих факторів та була б нечутливою до зміни параметрів та до збурень. Для вирішення цієї задачі перспективним стає використання нечітких регуляторів, які забезпечують реалізацію заданих динамічних режимів.

Тому **наукова задача**, яка полягає у розробці швидкодіючих систем позиційного електроприводу з використанням неавтономної задавальної моделі та нечітких регуляторів, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за планом кафедри по результатами наукових досліджень в рамках наукового напрямку «Оптимізація динамічних навантажень в електромеханічних системах з пружними зв'язками» та держбюджетної теми «Оптимізація електроспоживання шахтних стаціонарних установок із застосуванням засобів діагностування їх енергоефективності» (№ ДР 0113U001637).

Мета та задачі дослідження.

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

Для досягнення мети поставлено і вирішено наступні завдання:

1. На підставі аналізу існуючих методів позиційного керування обґрунтувати можливість та доцільність використання нечіткого керування для об'єктів складної структури.

2. Розробити структуру і визначити параметри двоканального нечіткого регулятора із вхідними сигналами заданих значень швидкості і прискорення або положення та швидкості.

3. Розробити структурну схему системи керування зі зворотним зв'язком за пружним моментом для об'єктів із пружними ланками.

4. Розробити комп'ютерну математичну модель статично врівноваженої підйомної установки як складної пружної ЕМС з розподіленими параметрами.

5. Розробити алгоритм виключення впливу збурювальних дій на об'єкт управління, використовуючи нелінійний компенсуючий зворотний зв'язок за швидкістю.

Об'єктом дослідження є процеси керування позиційним електроприводом з неавтономною задавальною моделлю і контуром адаптації за похибкою регулювання.

Предметом дослідження є система керування позиційним електроприводом, яка корегує перехідні процеси за швидкодією та динамічним навантаженням.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено методи теорії оптимального керування для розробки алгоритмів керування позиційним електроприводом за критеріями максимальної швидкодії, мінімального динамічного навантаження, мінімальних втрат енергії; теорії механічних коливань для формування оптимальних керуючих впливів та побудови структурної схеми підйомної установки, а також використано метод комп'ютерного моделювання для перевірки ефективності математичних моделей.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше формалізовано структуру нечіткого регулятора, засновану на використанні його адаптивних властивостей для заданої точності позиціонування за умови змінних параметрів та навантаження, що забезпечує низьку чутливість системи управління до параметричних збурень.

2. Отримав подальший розвиток метод виключення коливальних процесів для ЕМС, що містять пружні ланки, який полягає в побудові системи керування зі зворотним зв'язком за пружним моментом із застосуванням адаптивних нечітких регуляторів моменту і положення, що дозволило підвищити динамічні показники якості керування в умовах параметричних змін, зокрема – у разі зміни активного опору, значень моменту інерції, величини статичного навантаження.

3. Вдосконалено метод компенсації збурювальних впливів на об'єкт керування, заснований на використанні спеціальної компенсуючої моделі, що функціонує відповідно до зворотного динамічного алгоритму за дійсною швидкістю або положенням з застосуванням нечіткого регулятора, що забезпечило стабілізацію динамічних показників якості керування під час дії параметричних збурень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці перспективних систем керування електроприводом складної структури, схильних до впливу зовнішніх і параметричних впливів.

Практичні результати дисертаційної роботи наступні:

1. Розроблено систему управління позиційним електроприводом з нечіткою корекцією заданих діаграм швидкості та положення, що забезпечує реалізацію цих діаграм в оптимальному за швидкодією та динамічним навантаженням режимі при дії параметричних та зовнішніх впливів.

2. Використання розробленої системи керування дозволить досягти мінімальних втрат енергії за рахунок виключення коливальних процесів у

перехідних режимах шляхом усунення маневрових операцій, пов'язаних із застосуванням посадкових пристроїв і, отже, зменшення часу робочого циклу та забезпечить точну зупинку робочого органа.

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

4. Розроблений фазі-регулятор системи автоматичного керування позиційним електроприводом, що являє собою комбінований регулятор і складається з традиційного регулятора та нечіткого адаптивного, практично дозволяє знизити чутливість системи управління до збурювальних впливів без істотних змін в існуючих системах управління.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на промислових об'єктах ТОВ «НТК ЕНПАСЕЛЕКТРО», а також у навчальному процесі на кафедрі автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний» для студентів спеціальності 7.05070204 і 8.05070204 в курсах лекцій «Моделювання ЕМС», «Цифрове керування електроприводом», «Автоматизований електропривод машин і установок», а також для виконання лабораторних робіт з цих дисциплін, курсових, дипломних, магістерських дисертаціях.

Особистий внесок здобувача. Здобувач вирішив науково-прикладні завдання синтезу алгоритмів і структурних схем неавтономної задавальної моделі з нелінійними вхідним сигналом та прямою передачею адаптивного нечіткого регулятора, розробив уніфіковану структуру регулятора для приводу будь-якого типу.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: в [1, 2, 5, 9, 16] – виконання частини експериментальних досліджень, побудова структурної схеми системи позиційного керування та її моделювання; в [3, 6] – проведено дослідження методів керування систем з ПД – регулятором у компенсуючому каналі; в [4] – наукове обґрунтування формування оптимального задавального впливу; в [7, 12] – проведення математичного моделювання моделювання; в [8, 15] – проведення порівняльного дослідження методів оптимізації керування електромеханічними системами з пружними ланками; в [10, 11, 19] – розробка алгоритмів з оптимізації керування електромеханічними системами; в [13, 14, 17, 23] – наукове обґрунтування використання нечіткого регулятора в системах позиційного керування; в [18] – аналіз стійкості системи керування позиційним електроприводом з дискретним положенням робочого органу; в [20, 21, 22, 24] - наукове обґрунтування використання нечіткої корекції керуючих впливів для складних електромеханічних систем; в [25] – розробка алгоритмів з оптимізації динамічних режимів електромеханічної системи.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертації доповідались, обговорювались та були схвалені на таких міжнародних науково-технічних конференціях: V-XIII Міжнародних науково-технічних конференціях молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2007-2015 р.); XIII, XV Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми

енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (м. Кременчук, 2011р., 2014р.); X Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» (АР Крим, с. Малий Маяк, 2013 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи автором досліджень зроблено 25 публікацій, у тому числі 14 у наукових спеціалізованих виданнях, з яких 3 - у виданнях, що входять до наукометричних баз даних “Ulrich’s Periodicals Directory”, “Index Copernicus”, “Cite Factor” та “Polish Scholarly Bibliography”.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 138 найменувань. Основний текст викладено на 170 сторінках друкованого тексту, містить 90 рисунків, 4 таблиці, 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, зазначено зв’язок роботи з науковими програмами, темами і планами, сформульовано мету, завдання, об’єкт і предмет досліджень, наведено методи проведення досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих в дисертації результатів, вказано особистий внесок здобувача, наведено дані про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних методів керування позиційними електроприводами та сформульовано задачі наукових досліджень для вирішення наукового завдання.

Значний внесок в розвиток теорії нечіткого керування зробили видатні вчені В.І. Гостєв, В.І. Васильєв, Н.Д. Єгупов, Н.Г. Ярушкіна, Д.О. Поспелов, В.М. Терехов, С.В. Ульянов, L.A. Zadeh, E.H. Mamdani, W. Hofmann, M.J. Nalley.

На практиці найбільшого поширення набули адаптивні системи. Побудова таких систем базується на поєднанні двох принципів керування: принципу за відхиленням при побудові основного координатного контуру і принципу за впливом параметричного типу. Другий принцип передбачає побудову контуру адаптації та забезпечує корекцію налаштувань регулятора основного контуру. Таким чином, принцип керування за впливом застосовується як засіб компенсації параметричних збурень на керований процес. Недоліком таких систем є те, що більшість алгоритмів адаптації, отримано за відсутності неконтрольованих збурювальних впливів і можливості визначення всіх параметрів об’єкта в процесі ідентифікації. Крім того, практично всі алгоритми адаптації працездатні, якщо виконується гіпотеза квазістаціонарності об’єкта керування та протягом часу налаштуванні регулятора відсутні збурювальні впливи.

Аналіз існуючих методів показав, що підвищення якості керування позиційними електроприводами в умовах параметричних та зовнішніх збурень може буди здійснено шляхом розвитку методу нечіткого керування в поєднанні із застосуванням автономної задавальної моделі, що забезпечує низьку чутливість системи до параметричних й зовнішніх збурень і точне відпрацювання заданих діаграм руху.

У **другому розділі** формалізовано структуру і визначено параметри двоканального нечіткого регулятора з вхідними сигналами заданих значень

швидкості і прискорення або положення та швидкості на підставі аналізу структури нечітких регуляторів з використанням різних методів виведення вихідного сигналу.

Входами нечіткого регулятора є сигнали помилки регулювання $e(nT)$ (швидкості і переміщення) та її похідної $r(nT) = (e(nT) - e(nT - T)) / T$.

Після масштабування входи:

$$K_e \cdot e(nT) = K_e(y(nT)); \quad (1)$$

$$K_r \cdot r(nT) = K_e(e(nT) - e(nT - T)), \quad (2)$$

де K_e і K_r - коефіцієнти пропорційності, відповідно, похибки e і її похідної r , $y(nT)$ - зміна вихідного сигналу за час nT ; $e(nT - T)$ - приріст вхідного сигналу за період T .

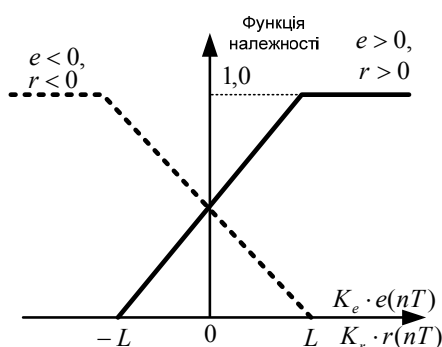


Рис. 1. Графічне представлення вхідних нечітких множин та їх похідних

Масштабована помилка і похідна фазифіковані відповідно входу нечітких множин, функції приналежності яких наведені на рис. 1.

Вхід нечітких множин для масштабованої позитивної та негативної помилок, представлених рис. 2, описується наступними функціями належності:

$$\mu_e^+ = \frac{L + K_e \cdot e(nT)}{2L} \quad \text{та} \quad \mu_e^- = \frac{L - K_e \cdot e(nT)}{2L} \quad (3)$$

$$\mu_r^+ = \frac{L + K_r \cdot r(nT)}{2L} \quad \text{та} \quad \mu_r^- = \frac{L - K_r \cdot r(nT)}{2L}, \quad (4)$$

де L - максимальне значення похибки.

Отже, використовується чотири нечітких правила управління, а саме:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Якщо } K_e \cdot e(nT) > 0 \quad \text{та} \quad K_r \cdot r(nT) > 0, \text{ то } \Delta U(nT) > 0; \\ \text{Якщо } K_e \cdot e(nT) > 0 \quad \text{та} \quad K_r \cdot r(nT) < 0, \text{ то } \Delta U(nT) = 0; \\ \text{Якщо } K_e \cdot e(nT) < 0 \quad \text{та} \quad K_r \cdot r(nT) > 0, \text{ то } \Delta U(nT) = 0; \\ \text{Якщо } K_e \cdot e(nT) < 0 \quad \text{и} \quad K_r \cdot r(nT) < 0, \text{ то } \Delta U(nT) < 0. \end{array} \right\} \begin{array}{l} (r_1) \\ (r_2) \\ (r_3) \\ (r_4) \end{array} \quad (5)$$

У наведених нечітких правилах $\Delta U(nT)$ - вихід нечіткого контролера. Три

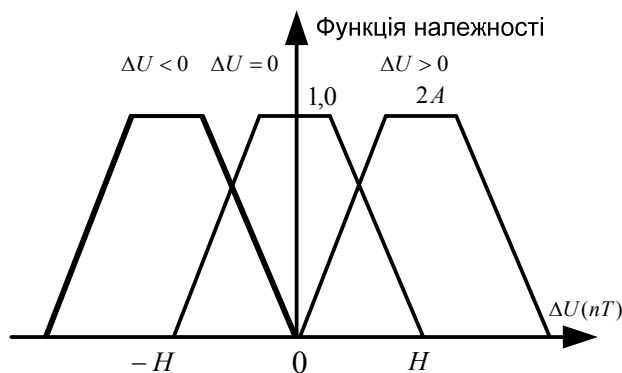


Рис. 2. Графічне визначення виведення нечітких множин

трапецієдальні форми подібні виходу нечіткого контролера (позитивний, нульовий і негативний) показано на рис. 2.

Форма трапеції визначається параметром $\theta = A/H$ який обмежується значеннями $\theta \leq 0.5$, щоб уникнути накладення між верхніми сторонами двох сусідніх вихідних нечітких множин.

Чотири різних методи виведення сигналу керування

$\Delta U(nT)$ показано на рис. 3, а формальне визначення $\Delta U(nT)$ наведено в табл. 1.

Таблиця 1

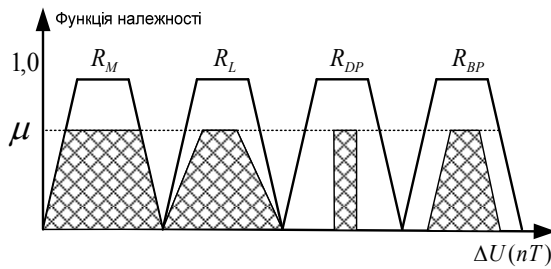


Рис. 3. Графічне визначення чотирьох методів виведення

Аналітичне визначення виводів фазі-контролера

Метод	Визначення
R_M	$\mu \wedge F(\Delta U)$
R_L	$\mu \cdot F(\Delta U)$
R_{DP}	$\begin{cases} \mu, & F(\Delta U) = 1 \\ F(\Delta U), & \mu = 1 \\ 0, & \mu < 1, F(\Delta U) < 1 \end{cases}$
R_{BP}	$0 \vee (\mu + F(\Delta U) - 1)$

У таблиці μ - функція приналежності вихідної нечіткої множини, яка розраховується за вхідною нечіткою множиною. Затінені множини (рис. 3) являють собою виводи, які можуть бути обчислені за формулами табл. 2. Індексами M , L , DP і BP позначено відповідні методи виведення.

Таблиця 2

Розрахункові формули площ вихідних нечітких множин

Метод виведення	Площа вихідної нечіткої множини
R_M	$S_M(\mu) = \mu(2 - \mu + \mu \cdot \theta)H$
R_L	$S_L(\mu) = \mu(1 + \theta)H$
R_{DP}	$S_{DP}(\mu) = 2\mu \cdot \theta \cdot H$
R_{BP}	$S_{BP}(\mu) = \mu(2\theta + \mu - \mu \cdot \theta)H$

Правила контролю r_2 та r_3 створюють дві функції приналежності, а $F(\Delta U)$ є функцією приналежності вихідної нечіткої множини. Об'єднана функція приналежності

$$\mu_{r_2 \vee r_3} = \min(\mu_{r_2} + \mu_{r_3}, 1). \quad (6)$$

Для дефазифікованих нечітких множин використовується метод центру ваги. Виходячи з того, що виходи нечітких множин симетричні щодо їх середніх значень (H , 0 і $-H$), масштабований вихідний сигнал фазі-контролера:

$$K_U \cdot \Delta U(nT) = K_U \cdot \frac{H \cdot S(\mu_{r_1}) + 0 \cdot S(\mu_{r_2 \vee r_3}) - H \cdot S(\mu_{r_4})}{S(\mu_{r_1}) + S(\mu_{r_2 \vee r_3}) + S(\mu_{r_4})} = K_U \cdot H \frac{-S(\mu_{r_4}) + S(\mu_{r_1})}{S(\mu_{r_1}) + S(\mu_{r_2 \vee r_3}) + S(\mu_{r_4})}. \quad (7)$$

На практиці розглядають зміну масштабованих помилки та її похідної в інтервалі $[-L \dots L]$, щоб у повній мірі використовувати нелінійність нечіткого контролера.

Згідно табл. 2 найпростіша модель регулятора визначається при використанні методу виведення R_L , причому величина θ може бути прийнята такою, що дорівнює нулю. В цьому випадку нечіткі множини являтимуть собою рівнобедрені трикутники, а площі активної частини $S(\mu) = \mu \cdot H$, де μ слід вибирати з табл. 3, в якій наведено чотири комбінації функцій приналежності, що визначаються за формулами (3) і (4).

Таблиця 3
Результати оцінки вихідної функції
приналежності нечітких множин

Вхідні комбінації ВК	Функції принадлежности нечітких множин			
	μ_{r1}	μ_{r2}	μ_{r3}	μ_{r4}
ВК1	μ_r^+	μ_r^-	μ_e^-	μ_e^-
ВК2	μ_e^+	μ_r^-	μ_e^-	μ_r^-
ВК3	μ_e^+	μ_e^+	μ_r^+	μ_r^-
ВК4	μ_r^+	μ_e^+	μ_r^+	μ_e^-

У загальному вигляді такий регулятор можна представити схемою в складі замкнутої системи керування (рис. 4).

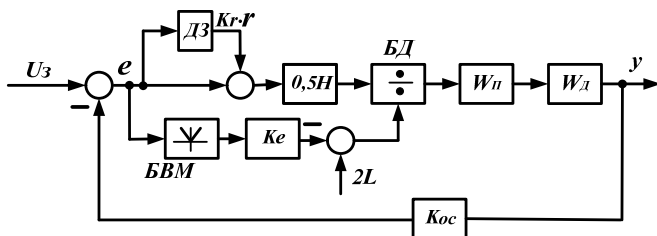


Рис. 4. Структурна схема замкнутої системи керування з фазі-регулятором

доцільним поєднання переваг традиційних регуляторів і регуляторів на основі фазі-логіки, тобто використовувати комбіноване управління. У цьому разі застосовується так звана паралельна фазі-корекція, коли одночасно працюють класичний пропорційний регулятор (П) або пропорційно-інтегральний (ПІ) і фазі-регулятор (ФР).

Методику розроблення структурної схеми фазі- регулятора згідно розділу 2 викладено на прикладі системи керування швидкістю приводу постійного струму з коригувальним нелінійним регулятором (КНР).

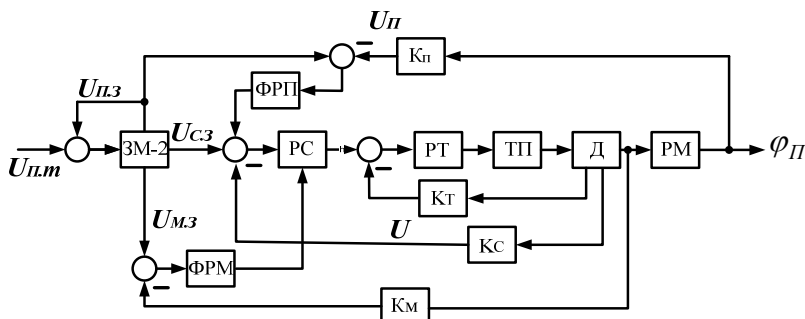


Рис. 5. Структурна схема системи керування позиційним електроприводом зі зворотнім зв'язком за пружним моментом

З використанням комбінації ВК1 формула (7) набуває вигляду:

$$K_u \cdot U(\Delta T) = \frac{0,5H}{2L - K_e e(nT)} U_{\text{вх}}, \quad (8)$$

де $U_{\text{вх}} = (K_e e(nT) + K_r r(nT))$.

Залежність (8) показує, що коефіцієнт передачі регулятора залежить від помилки регулювання e : чим більша помилка, тим більший коефіцієнт передачі. Отже, завжди зі збільшенням помилки регулювання зростатиме реакція на її зменшення.

У третьому розділі досліджено виключення коливальних процесів для електромеханічних систем, що містять пружні ланки, який полягає в побудові системи управління зі зворотним зв'язком за пружним моментом із застосуванням адаптивних нечітких регуляторів.

У проектуванні систем керування динамічними об'єктами є

доцільним поєднання переваг традиційних регуляторів і регуляторів на основі фазі-логіки, тобто використовувати комбіноване управління. У цьому разі застосовується так звана паралельна фазі-корекція, коли одночасно працюють класичний пропорційний регулятор (П) або пропорційно-інтегральний (ПІ) і фазі-регулятор (ФР).

Методику розроблення структурної схеми фазі- регулятора згідно розділу 2 викладено на прикладі системи керування швидкістю приводу постійного струму з коригувальним нелінійним регулятором (КНР).

Система керування електроприводом ЕМС, яка містить пружні ланки, представлена на рис. 5. Регулятори струму і швидкості - пропорційно-інтегральної структури, а регулятори моменту і положення - адаптивні фазі-регулятори. В даній системі пропонується використовувати замкнуту за пружним моментом систему керування. Оскільки отримання безпосередньо сигналу пропорційного пружному моменту представляє

складне завдання, доцільно такий зворотний зв'язок визначати побічно за струмом і швидкістю двигуна, використовуючи залежність $\omega_d = \frac{1}{J_1 p} (M_{\text{дв}} - M_Y)$, де ω_d - частота обертання валу двигуна.

На рис. 6 представлені графіки зміни пружних моментів заданого (показано штриховою лінією) і дійсного для різних значень коефіцієнту пружності: C_Y . Розглянуто два варіанти схеми: з фази - регулятором і без нього.

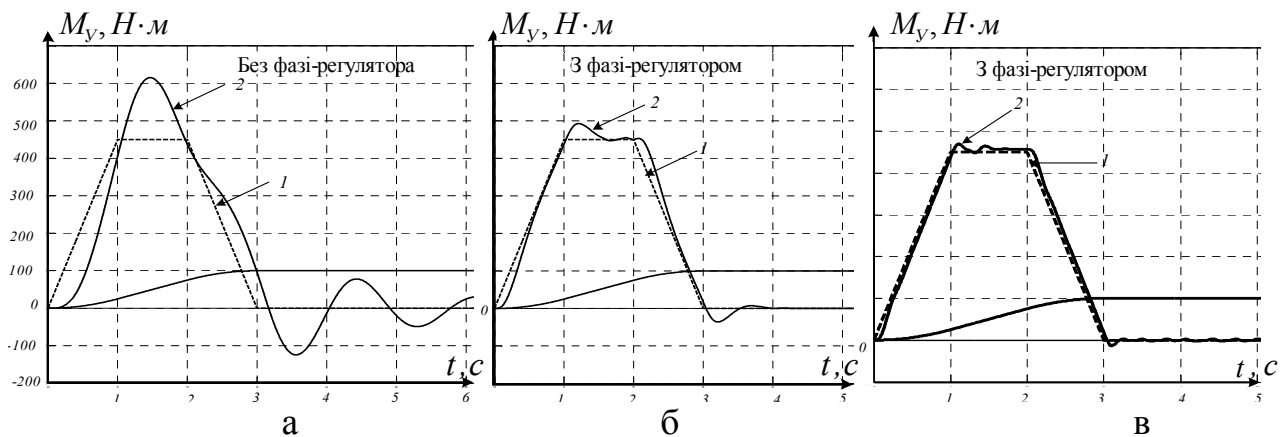


Рис. 6. Графіки заданих (1) та дійсних (2) пружних моментів при $C_Y = 600$ (а, б) і $C_Y = 1800$ (в)

Для виключення впливу зміни параметрів електропривода на керуючі сигнали пропонується використовувати неавтономну задавальну модель. У такій системі вхідний сигнал є впливом пропорційним заданому переміщенню, який порівнюється із сигналом дійсного переміщення робочого механізму.

Така система позиційного керування показана на рис. 7.

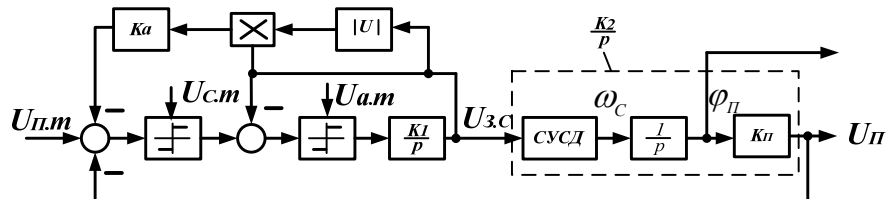


Рис. 7. Структурна схема системи керування позиційним електроприводом з неавтономною задавальною моделлю

Результати моделювання динамічних процесів електромеханічних систем, що містять пружні ланки, в умовах параметричних збурень підтвердили робастну стабілізацію динамічних показників якості керування на основі законів нечіткого керування.

У четвертому розділі представлено загальнотеоретичне вирішення задачі точного відпрацювання заданих діаграм руху багатозв'язкових електромеханічних систем на прикладі клітьової статично врівноваженої підйомної установки глибоких шахт, у якій використовується багатоканатна система підйому.

Характерною особливістю таких систем є те, що в місця з'єднання гілок канатів із зосередженими масами введені допоміжні ідеальні пружні зв'язки з коефіцієнтом жорсткості C_K , які потім виключаються підстановкою $C_K = \infty$. Канати розглядаються як пружні інертні нитки, деформація яких визначається законом Гука.

Якщо вважати, що зусилля F'_{1V} і F'_{2V} у верхньому та нижньому перерізах гілки є функціями часу, то пружні переміщення цих перерізів U_{1V} та U_{2V} будуть пов'язані із зусиллями передавальною функцією (рис. 8).

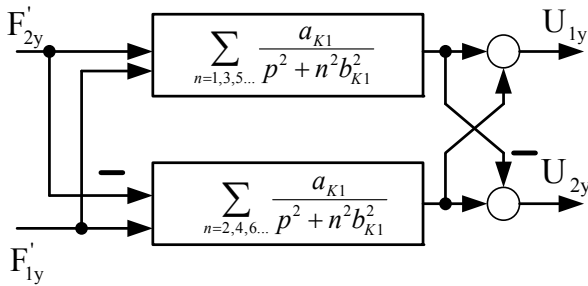


Рис. 8. Структурна схема пружної ланки з перехресними зв'язками

Найбільший вплив на характер коливального процесу спричиняють непарні гармоніки.

З метою спрощення математичної моделі розглянутого пружного елемента (рис. 8) нехтують усіма парними гармоніками, а суму нечітких гармонік апроксимують тригонометричною функцією. Тоді передавальна функція пружної ланки:

$$W_1(p) = \frac{X_{1V}(p)}{F'_{1V}(p) - F'_{2V}(p)} = \frac{\pi^2}{8} \frac{a_{K1}}{p^2 + \mu_K b_{K1}^2 p + b_{K1}^2}.$$

З огляду на те, що в клітьових підйомних установках використовується замість однієї підйомної посудини протизвага, доцільно для складання структурної схеми руху кліті розглядати одну пружну ланку, а масу другої ланки з протизвагою приєднати до наведеної маси приводного шківів m_1 . В цьому випадку розглядається схема, що складається з двох зосереджених мас (m_1, m_2) і двох ланок з розподіленими параметрами.

Для побудови структурної схеми системи з протизвагою використовуються наступні рівняння (9):

$$\left. \begin{aligned} X_1(p) &= \frac{1}{m_1 p^2} [F_1(p) - F_{1V}(p)]; \\ X_{01}(p) &= \frac{1}{m_{K1} p^2} [F_{1V}(p) - F_{2V}(p)]; \\ X_2(p) &= \frac{1}{m_2 p^2} [F_{2V}(p) - F_{3V}(p)]; \\ X_{03}(p) &= \frac{1}{m_{K3} p^2} F_{3V}(p); \\ F_{1V}(p) &= C_K [X_1(p) - X_{1V}(p) - X_{01}(p)]; \\ F_{2V}(p) &= C_K [X_{01}(p) - X_{1V}(p) - X_2(p)]; \\ F_{3V}(p) &= C_K [X_2(p) - X_{3V}(p) - X_{03}(p)]; \\ X_{1V}(p) &= -X_{2V}(p) = \frac{\pi^2 a_{K1} [F_{1V}(p) - F_{2V}(p)]}{p^2 + \mu_K b_{K1}^2 p + b_{K1}^2}; \\ X_{3V}(p) &= \frac{\pi^2 a_{K3} F_{3V}(p)}{p^2 + \mu_K b_{K3}^2 p + b_{K3}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

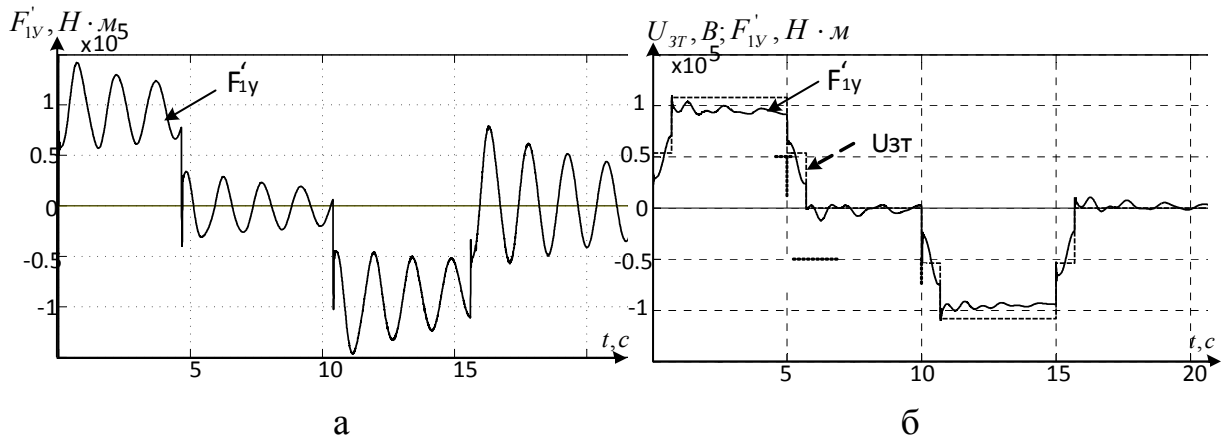


Рис. 11. Зміна зусилля F'_{1V} при подачі на вхід системи заданого сигналу струму U_{3T} : а – без нечіткої компенсації, б – з компенсацією

При керуванні за струмом, швидкістю і положенням з нечіткою корекцією лише контуру струму інші керовані змінні (швидкість і переміщення) не змінюються за оптимальним законом. Тому всі регулятори повинні містити коло нечіткої корекції. Тоді діаграми швидкості і положення з корекцією матимуть вигляд, показаний на рис. 12.

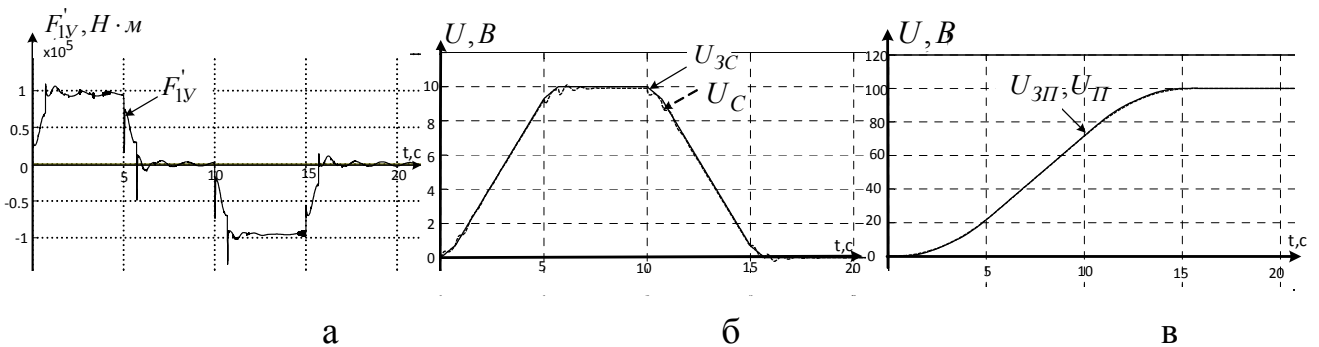


Рис. 12. Діаграми сигналів: а- динамічного зусилля F'_{1V} , б – швидкості U_{3C} (U_C), в - положення $U_{3П}$ ($U_{П}$) з корекцією

Отримані результати перехідних процесів у клітьовій підйомній установці з використанням керуючих впливів пропорційних заданим значенням динамічних зусиль, струму, швидкості та положення, а також з задавальною моделлю і нечіткими регуляторами підтвердили високу ефективність використання такої системи управління електроприводом.

У п'ятому розділі досліджено метод компенсації збурювальних впливів на об'єкт керування, що засновано на використанні спеціальної компенсуючої моделі.

Останнім часом враховується зміна параметрів у системі керування електроприводом ("робастність"). Характерними для робастного керування є наявність внутрішньої моделі (компенсатора), стабілізатора для всієї системи і регулятора з прямою передачею. Останній відрізняється тим, що забезпечує швидко реакцію керуючої системи на збурювальні впливи.

На рис. 13 представлена структурна схема керування швидкістю приводу постійного струму з задавальною (ЗМ) та компенсуючою (КМ) моделями.

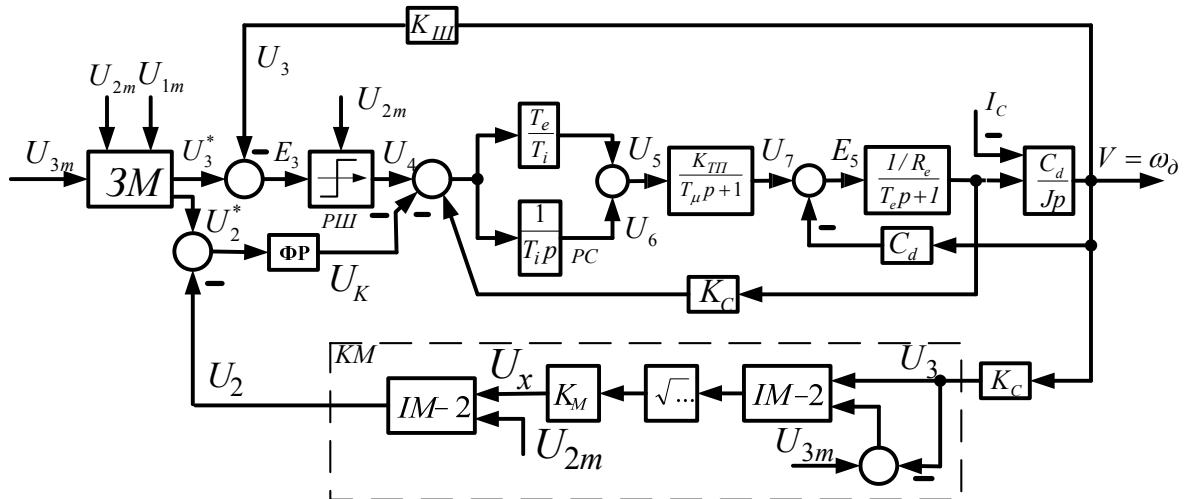


Рис. 13. Структурна схема керування швидкістю приводу постійного струму з ЗМ та КМ моделями

Дослідження проводилися за допомогою комп'ютерного моделювання з використанням КМ, яка функціонує відповідно до зворотного динамічного алгоритму за швидкістю. Вплив зміни навантаження і моменту інерції практично виключається (рис. 14, рис. 15). Особливість даної системи полягає в тому, що на вхід фазі-регулятора подається сигнал різниці між заданим прискоренням і дійсним за зворотним динамічним алгоритмом.

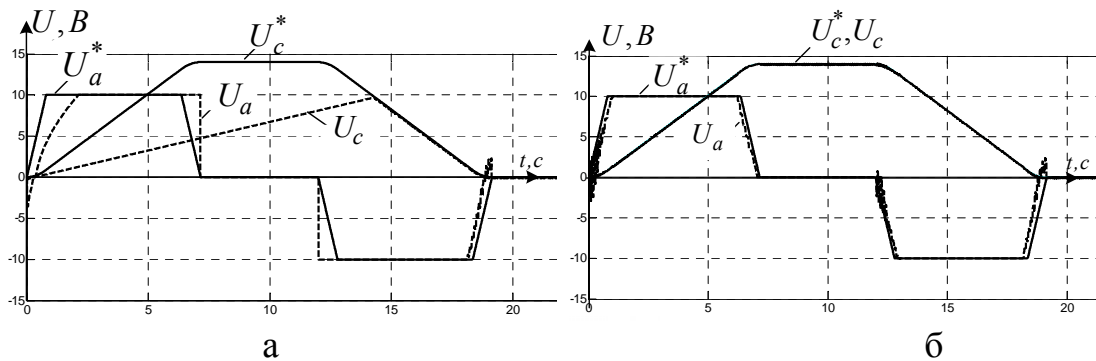


Рис. 14. Діаграми швидкості U_c^* (заданої), U_c (дійсної) та прискорення U_a^* (заданого), U_a (дійсного) в умовах дії навантаження i_c : а – без компенсації; б – з компенсацією

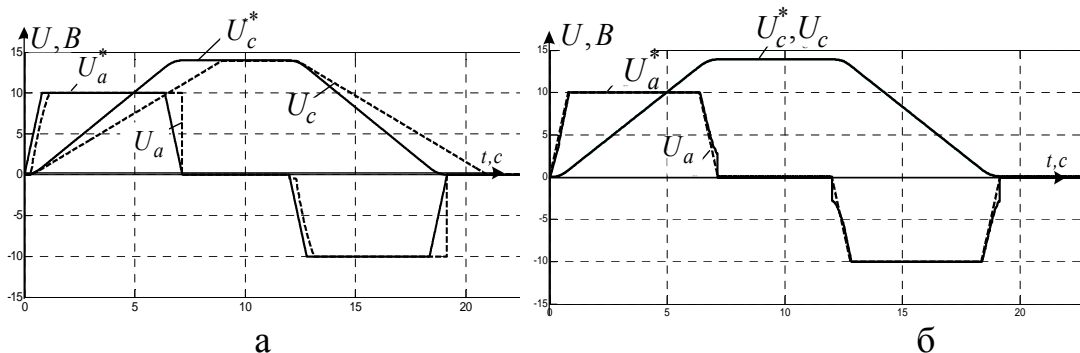


Рис. 15. Діаграми швидкості U_c^* (заданої), U_c (дійсної) та прискорення U_a^* (заданого), U_a (дійсного) в умовах зміни моменту інерції J : а – без компенсації; б – з компенсацією

Дослідження якості системи керування з нечітким регулятором для позиційного електроприводу з частотно-регульованим асинхронним двигуном типу MDEMA63-42-230V потужністю 0,25 кВт проведені на експериментальній установці. Отримані показники якості керування порівнювалися з результатами, отриманими з використанням П - регулятора положення, реалізованого програмно в самому перетворювачі частоти. Функціональну схему експериментальної установки представлено на рис. 16.

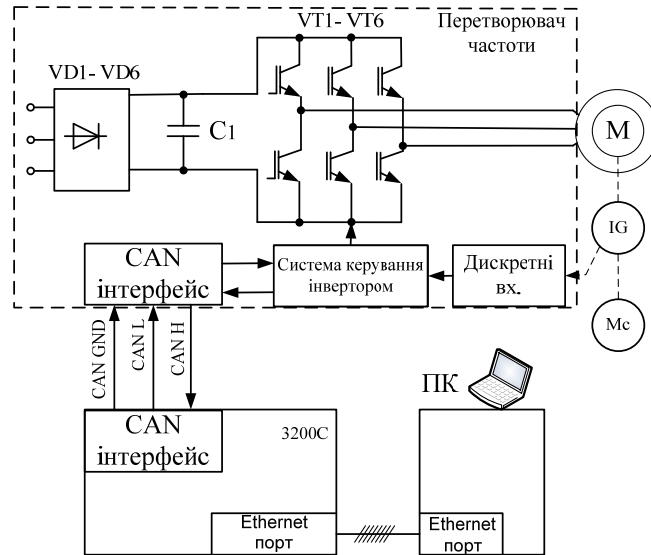


Рис. 16. Експериментальна установка для дослідження асинхронного електроприводу з нечітким регулятором

До складу установки входить:

- Програмований логічний контролер (ПЛК) Lenze (серії 3200C);
- перетворювач частоти (серії 8400) Vector Highline ;
- фотоімпульсний датчик швидкості (ФІД);
- електромагнітна муфта з системою управління струмом гальмування.

Дослідження проводилися для $M_c = 1,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

На рис. 17 наведені графіки зміни сигналів: швидкості: а - з фазі-регулятором, б - з П - регулятором. На рис. 18 - помилки регулювання а - з фазі-регулятором, б - з П - регулятором при зміні статичного навантаження.



Рис. 17 – Графіки зміни сигналу швидкості а - з фазі-регулятором, б - з П - регулятором

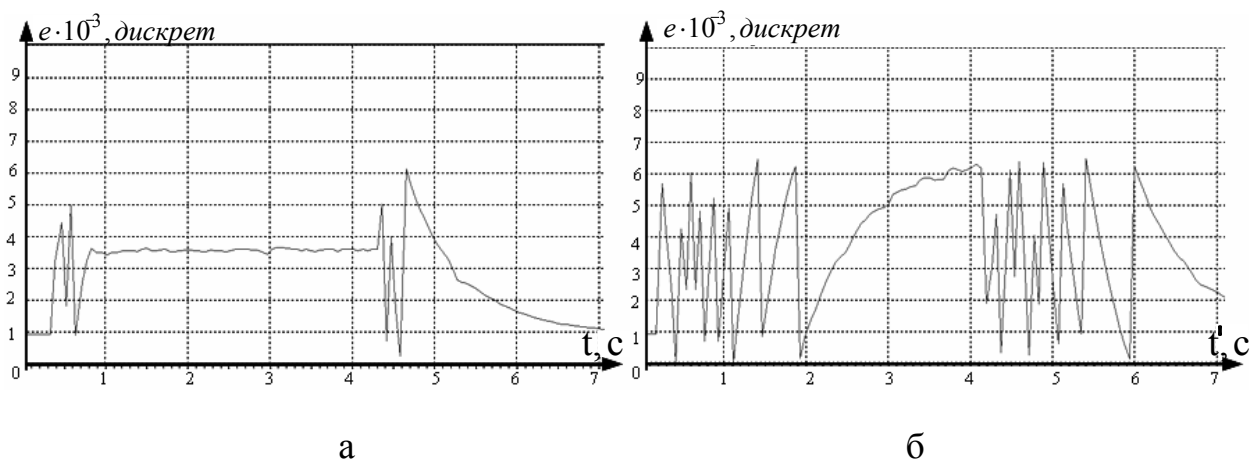


Рис. 18 – Графіки зміни сигналу помилки регулювання в - з фазі-регулятором, г - з П - регулятором при зміні статичного навантаження

Результати досліджень якості керування кутовою швидкістю АД зведено до табл. 4.

Таблиця 4

Показники якості керування кутовою швидкістю АД

Реалізація	Показники керування швидкістю		
	при відпрацюванні завдання	при компенсуванні змін навантаження	
	динамічна похибка $\Delta\omega_p, \%$	час компенсації $t_{к2}, c$	динамічна похибка $\Delta\omega_{к2}, \%$
ФР	24,0	0,105	18,1
П-регулятор	24,9	0,118	19,2

З перехідних характеристик та похибок швидкості видно, що система з запропонованим фазі-регулятором має кращі показники якості та менш чутлива до параметричних збурень під час відпрацювання завдання у вигляді стрибка.

Очікуваний економічний ефект від застосування запропонованої системи керування складає 300000 гр. При цьому економічний ефект досягається за рахунок скорочення періоду руху зі швидкістю 0,3 м/с.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення якості керування позиційним електроприводом складної структури, схильного до впливу зовнішніх і параметричних збурень, шляхом розвитку методу управління на підставі використання неавтономної задавальної моделі і застосуванні нечітких регуляторів. Розроблені алгоритми управління забезпечують низьку чутливість системи до зміни параметрів електроприводу.

1. Забезпечення заданого динамічного режиму системи в умовах параметричних і зовнішніх збурень при переміщенні робочого механізму з одного фіксованого положення в інше з високою точністю обумовлює жорсткі

вимоги до якості регулювання сучасних позиційних приводів, яке полягає в точній зупинці робочого органу в заданому положенні.

2. Вперше отримано просту структуру фазі-регулятора відповідно до аналітично визначених функцій приналежності, за допомогою яких вихідний сигнал регулятора знаходиться за координатою центру ваги нечітких множин.

3. Доведено, що в замкнутій системі управління, в якій виникають пружні коливання, що перешкоджають точній зупинці робочого органу, використання зворотного зв'язку за пружним моментом, визначеним побічно за швидкістю і струмом двигуна, забезпечує стійкий динамічний режим.

4. На основі структурних схем задавальної моделі і підйомної установки досліджено динаміку багатозв'язної ЕМС із нечіткою корекцією регуляторів струму, швидкості та положення робочого органу (кліті). Отримані в результаті комп'ютерного моделювання графіки підтвердили достатню ефективність нечіткої корекції контурів регулювання.

5. Для виключення впливу зміни статичного навантаження і моменту інерції запропоновано використовувати компенсуючу модель (КМ), що функціонує відповідно до зворотного динамічного алгоритму за дійсною швидкістю або положенням із застосуванням нечіткого регулятора, що забезпечило стабілізацію динамічних показників якості управління під час дії параметричних збурень.

6. Для багатозв'язкової позиційної системи розроблено задавальну модель, яка формує чотири керуючих сигнали пропорційних керованим змінним (положенню, швидкості, струму і похідною струму за часом), що забезпечує точне відтворення завдання.

7. Для ефективного функціонування ЕМС необхідно виключити вплив змін параметрів на точність реалізації необхідного режиму роботи системи за допомогою неавтономної задавальної моделі і нечітких регуляторів, що забезпечує зменшення тривалості робочого циклу на 15-20 с (підвищується продуктивність) за відсутності посадкових пристроїв і на 20-30 с з використанням посадкових пристроїв (для клітьового підйому). На цей само період зменшуються втрати електроенергії, пов'язані з вилученням періодів руху зі швидкістю дотяжки. Економічний ефект становить близько 300000 гр. рік.

8. Обґрунтованість і достовірність теоретичних положень роботи та висновків підтверджено результатами моделювання й експериментальними даними. Різниця між показниками якості керування швидкістю в системах з позиційним електроприводом у разі практичної реалізації та моделювання не перевищує 4 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях:

1. Чермалых А.В. Моделирование системы управления позиционными приводами манипуляторов / А.В. Чермалых, И.Я. Майданский, А.В. Босак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2006. – №3 (38). – Ч. 2. – С. 110-114.

2. Майданский И.Я. Моделирование системы позиционного управления с использованием пакета Simulation среды Labview / И.Я. Майданский, Е.И. Алтухов,

А.В. Босак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – №3 (44). – Ч. 1. – С. 157-161.

3. Чермалых А.В. Система позиционного управления электроприводом с формированием оптимального задающего воздействия по действительному перемещению рабочего органа механизма / А.В. Чермалых, И.Я. Майданский, А.В. Босак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – №3 (50). – Ч. 2. – С. 37-40.

4. Чермалых В.М. Моделирование сложных электромеханических систем с переменной частотой упругих колебаний / В.М. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Босак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – №3 (50). – Ч. 1. – С. 168-171.

5. Майданский И.Я. Система управления электроприводом с плавным изменением демпфирования упругих механических колебаний / И.Я. Майданский, Е.И. Алтухов, Ю.М. Гузенко, А.В. Босак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – №4 (57). – Ч. 1. – С. 17-20.

6. Чермалых В.М. Параметрическая оптимизация управления электромеханическими системами с идентифицированной передаточной функцией / В.М. Чермалых, И.Я. Майданский, А.В. Босак // ВІСНИК Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух». – 2011. – Вип. 20. – С. 132-138.

7. Чермалых В.М. Реализация многопериодной оптимальной диаграммы скорости позиционного электропривода с фаззи-регулятором / В. М. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Босак // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 1/2011 (1) – С. 38-39.

8. Босак А.В. Позиционное управление многосвязной электромеханической системой с адаптивным фаззи-регулятором / А.В. Босак, В.М. Чермалых // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С. 439-441.

9. Чермалых В.М. Моделирование многосвязных электромеханических систем с нечеткой коррекцией оптимальных управляющих воздействий / В.М. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Босак // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук, 2014. – № 1/2014 (2) – С. 110-113.

10. Чермалых В.М. Оптимизация динамических режимов электромеханической системы с обратной связью по упругому моменту / В.М. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Босак // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (3) – С. 37-39.

11. Чермалых А.В. Комбинированное управление с задающей моделью позиционным электроприводом шахтной подъемной установки / А.В. Чермалых, А.В. Данилин, А.В. Босак, А.О. Петрученко // Проблеми енергоресурсозбереження

в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1/2016 (4) – С. 29-31.

Опубліковано у науковому журналі, що включений до наукометричної бази цитувань:

12. Босак А.В. Позиционное управление шахтной подъемной установкой с нечеткой коррекцией положения перемещаемого груза / А.В. Босак, В.М. Чермалых // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – 2013. – №36 (1009) – С. 485-487. (включено у довідник міжнародній наукометричній базі даних *Ulrich's Periodical Directory*).

13. Чермалых В.М. Оптимизация управления сложными электромеханическими системами, включающими ПИД-регулятор с нечеткой коррекцией / В.М. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Босак // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2013. – № 2 (22). – Ч. 2. – С. 200-204. (включено у довідник міжнародній наукометричній базі даних *Ulrich's Periodical Directory*).

14. Босак А.В. Оптимизация управления скоростью и положением многосвязной электромеханической системы с нечеткой коррекцией управляющих воздействий / А.В. Босак, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин, А.В. Чермалых // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – № 2 (26). – С. 31-38. (включено у довідник міжнародній наукометричній базі даних *Ulrich's Periodical Directory, Index Copernicus, Cite Factor, Polish Scholarly Bibliography*).

Публікації за матеріалами конференції:

15. Босак А.В. Комбинированная по задающему воздействию система управления с ПИД-регулятором в компенсирующем канале / А.В. Босак, М.П. Роменская // П'ята Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів. Тези наукових доповідей. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 167-168.

16. Босак А.В. Комбинированная система управления скоростью электропривода с задающей моделью и ПИД-регулятором тока / А.В. Босак, Е.А. Степанова // Шоста Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів. Тези наукових доповідей. – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 108-109.

17. Босак А.В. Параметрическая оптимизация управления электромеханическими системами с упругими звеньями / А.В. Босак, Т.В. Гречана // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КДУ, 2010. – С. 82-83.

18. Босак А.В. Позиционное управление клетевой подъемной установкой глубоких шахт / А.В. Босак, Я.В. Бернадцкая // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КДУ, 2010. – С. 80-81.

19. Босак А.В. Оптимизация электромеханических систем с переменной структурой в канале управления / А.В. Босак, В.Н. Яхновская, В. С. Чермалых //

Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КНУ, 2011. – С. 95-96.

20. Босак А.В. Анализ работы вентильного двигателя на основе асинхронной машины с фазным ротором с переменной частотой поля возбуждения / А.В. Босак, Л.В. Биля, В.С. Чермалих // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КНУ, 2011. – С. 259-260.

21. Босак А.В. Оптимизация управления возбуждением вентильного двигателя на основе асинхронной машины с фазным ротором по критерию минимальных потерь / А.В. Босак, Л.В. Биля, С.П. Датко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць Х Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КРнУ, 2012. – С. 118-119.

22. Босак А.В. Моделирование системы позиционного управления клетевой подъемной установкой глубоких шахт / А.В. Босак, Р.В. Абрамчук, Ю.В. Зайцева // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць Х Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КРнУ, 2012. – С. 108-109.

23. Босак А.В. Моделирование системы управления позиционным электроприводом с дискретным контролем положения рабочего органа / А.В. Босак, Д.Б. Федирко, Н.Л. Федирко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ХІ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КРнУ, 2013. – С. 21-22.

24. Босак А.В. Система управления позиционным электроприводом с переменными заданными перемещениями с нечеткой коррекцией скорости / А.В. Босак, А.О. Петрученко, Е.А. Попова // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ХІІ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КРнУ, 2014. – С. 23-24.

25. Босак А.В. Комбинированное управление статически уравновешенной подъемной установкой с задающей моделью и нечетким регулятором / А.В. Босак, А.О. Петрученко, В.И. Шевченко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ХІІІ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КРнУ, 2015. – С. 86-88.

АНОТАЦІЯ

Босак А. В. Керування позиційним електроприводом з неавтономною задавальною моделлю та нечіткими регуляторами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний

технічний університет України «Київський політехнічний інститут» МОН України, Київ, 2016.

Дисертацію присвячено розробленню нових методів відтворення з найменшою похибкою керуючими змінними задаючих впливів позиційним електроприводом.

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу підвищення якості керування позиційним електроприводом складної структури, схильним до впливу зовнішніх і параметричних збурень. Розроблені алгоритми управління забезпечують низьку чутливість до зміни параметрів електроприводу.

Вперше формалізовано структуру нечіткого регулятора, яка базується на використанні його адаптивних властивостей для заданої точності позиціонування при змінних параметрах та навантаженні, що забезпечує слабку чутливість системи управління до параметричних збурень. На основі запропонованого підходу досліджено метод виключення коливальних процесів для електромеханічних систем, що містять пружні ланки, який полягає в побудові системи управління зі зворотним зв'язком за пружністю моменту із застосуванням адаптивних нечітких регуляторів. Розроблені алгоритми управління забезпечують слабку чутливість до зміни параметрів електроприводу.

Ключові слова: позиційний електропривод, нечіткий регулятор, задавальна модель, система підпорядкованого регулювання.

АННОТАЦІЯ

Босак А. В. Управление позиционным электроприводом с неавтономной задающей моделью и нечеткими регуляторами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» МОН Украины. - Киев, 2016.

Диссертация посвящена развитию и исследованию новых законов управления в системах подчиненного регулирования позиционных электроприводов переменного и постоянного тока в условиях параметрических возмущений.

В диссертационной работе решена научная задача повышения качества управления позиционным электроприводом сложной структуры с распределенными параметрами, подверженного влиянию внешних и параметрических воздействий, путем развития метода управления на основании использования неавтономной задающей модели и применения нечетких регуляторов. Разработанные алгоритмы управления обеспечивают слабую чувствительность к изменению параметров электропривода.

Формализована структура нечеткого регулятора, основанная на использовании его адаптивных свойств, для обеспечения заданной точности позиционирования при изменяющихся параметрах и нагрузке, что обеспечивает слабую чувствительность системы управления к параметрическим возмущениям.

Получил дальнейшее развитие метод исключения колебательных процессов для ЭМС, содержащих упругие звенья, который заключается в построении системы управления с обратной связью по упругому моменту с применением адаптивных нечетких регуляторов момента и положения, что позволило повысить динамические показатели качества управления в условиях параметрических изменений, в частности - при изменении активного сопротивления, значения момента инерции, статической нагрузки.

На основании предложенных методов синтезированы и исследованы алгоритмы компенсации возмущающих воздействий на объект управления, основанные на использовании специальной компенсирующей модели, функционирующей согласно обратному динамическому алгоритму по действительной скорости или положению с применением нечеткого регулятора, что обеспечило стабилизацию динамических показателей качества управления во время действия параметрических возмущений.

Достоверность и обоснованность научных исследований, выводов и рекомендаций подтверждена экспериментально.

Результаты выполненных в диссертации исследований внедрены компанией ООО «НТК ЭНПАСЭЛЕКТРО», а также в учебном процессе НТУУ «КПИ».

Ключевые слова: позиционный электропривод, нечеткий регулятор, задающая модель, система подчиненного регулирования.

ABSTRACT

Bosak A. V. Electric positional drive control with non-autonomous defining model and fuzzy regulators – Manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Science, specialty 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” MES. – Kyiv, 2016.

Dissertation is devoted to the development of new methods of reproduction with the lowest error of control variables defining positional effects of electric drive.

Dissertation solves a scientific problem of quality increasing positional drive control complex structure with distributed parameters, influenced by external and parametric effects, through the development of a control method based on the use of non-autonomous defining model and the application of fuzzy controllers. The developed control algorithms provide low sensitivity to changes in the electric drive parameters.

The fuzzy controller structure is formalized, based on the use of its adaptive properties for a given positioning accuracy under varying parameters and load, which ensures low sensitivity control system to parametric perturbations.

On the basis of the proposed methods synthesized and investigated algorithms compensate for disturbances in the control object, based on the use of special compensating model, functioning according to the inverse dynamic algorithm for the actual speed or position using fuzzy controller, ensuring stabilization of the dynamic control of quality indicators during the term of the parametric perturbations.

Keywords: positional drive control, fuzzy controller, defining model, the system subordinate regulation.

Босак Алла Василівна

**КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З НЕАВТОНОМНОЮ
ЗАДАВАЛЬНОЮ МОДЕЛЛЮ ТА НЕЧІТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку
Папір друкарський №1
Тираж 100 прим.

Формат 60x84 1/16
Обсяг ум.-друк. арк.
Зам. №
