

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

ТАТАРЧЕНКО МАКСИМ ОЛЕГОВИЧ



УДК 685.513.685

**СИНТЕЗ АНІЗОТРОПІЙНИХ РЕГУЛЯТОРІВ БАГАТОМАСОВИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ПАРАМЕТРИЧНОЮ
НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, доцент
Нікітіна Тетяна Борисівна,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
завідувач кафедри природничих
і гуманітарних дисциплін

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Канюк Геннадій Іванович,
Українська Інженерно-педагогічна академія,
м. Харків, декан енергетичного факультету,
професор кафедри теплоенергетики
та енергозбереження

кандидат технічних наук, доцент
Кардашук Володимир Сергійович,
Технологічний інститут Східноукраїнського
національного університету імені В. Даля,
м. Северодонецьк, доцент кафедри
комп'ютерної інженерії

Захист відбудеться «16» 04 2015 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «06» 03 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Северин В. П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Створення новітніх технологій потребує підвищення точності керування різноманітними процесами і об'єктами. Однак вирішення цієї задачі керування для таких об'єктів, як промислові роботи, оброблювальні верстати, антени локаційних систем, сонячні батареї автономних об'єктів, системи наведення і стабілізації озброєння та інших, стримується наявністю в цих об'єктах пружних елементів між приводним двигуном та робочим органом. Для вирішення задачі підвищення точності керування електромеханічні системи вказаних об'єктів розглядаються як багатомасові. Крім того, підвищення точності керування ускладнюється невизначеністю параметрів об'єктів керування, змінними масо-інерційними характеристиками, складними кінематичними схемами, невідомими зовнішніми та внутрішніми збуреннями та неповністю й неточністю вектору стану. Використання типових регуляторів обмежує подальше підвищення точності керування такими системами.

Робастні підходи до рішення задачі підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами дозволяють уникнути багатьох складностей, що виникають при роботі з об'єктами невідомої структури, і не можуть бути усунені за допомогою традиційних методів керування. Характерним режимом роботи багатьох систем керування є відпрацювання випадкових задаючих впливів, або компенсація випадкових зовнішніх збурюючих впливів широкого спектру частот. Останнім часом інтенсивно розвивається теорія стохастичного робастного керування, основою якої є методи мінімізації анізотропійної норми, що є ефективним показником якості системи при наявності невизначеностей в описі об'єкта керування. Встановлено, що для керування багатомасовими електромеханічними системами із невизначеними параметрами об'єкта керування методи стохастичного робастного керування не застосовуються, і на сьогоднішній день задача синтезу стохастичного робастного керування такими системами потребує подальшого розвитку.

Таким чином, задача підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами із невизначеними параметрами на основі стохастичного робастного керування шляхом розробки методики синтезу анізотропійних регуляторів для керування такими системами є актуальною та визначила основний напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління НТУ «ХПІ» відповідно до плану держбюджетних НДР МОН України «Розвиток теорії і методів параметричного синтезу багатоцільових і багатокритеріальних керованих систем з невизначеними параметрами» (ДР № 0105U000585), де здобувач був відповідальним виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами на основі стохастичного робастного керування.

Поставлена мета досягається постановкою та вирішенням комплексу задач:

- вдосконалення математичних моделей динаміки руху багатомасових електромеханічних систем із параметричною невизначеністю;
- теоретичне обґрунтування можливості підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами на основі стохастичного робастного керування;
- синтез анізотропійних регуляторів для керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю;
- експериментальні дослідження багатомасових електромеханічних систем із анізотропійними регуляторами;
- аналіз підвищення точності керування на основі результатів математичного та фізичного моделювання багатомасових електромеханічних систем із анізотропійними регуляторами.

Об'єктом дослідження є процеси керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю об'єкта керування.

Предметом дослідження є стохастичні робастні системи керування багатомасовими електромеханічними системами з анізотропійними регуляторами.

Методи досліджень. Вирішення поставлених задач базується на: методах теорії автоматичного керування для формування задач стохастичного робастного керування багатомасовими системами; методах простору стану для опису роботи систем керування; методах синтезу систем стохастичного робастного керування на підставі мінімізації анізотропійної норми системи для коректного визначення вектору цілі керування; методах аналізу і синтезу систем стохастичного робастного керування для синтезу анізотропійних регуляторів; сучасних методах комп'ютерної математики, аналітичних та чисельних методах оптимізації для реалізації запропонованих алгоритмів стохастичного робастного керування; методах чисельного моделювання та пакеті програм MATLAB для синтезу систем стохастичного робастного керування та оцінки показників якості синтезованих систем.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше науково обґрунтована можливість підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами із невизначеними параметрами на основі використання анізотропійних регуляторів порівняно з існуючими системами з типовими регуляторами;
- вперше сформульована та вирішена задача синтезу комбінованого стохастичного робастного керування, при якому використовується вся наявна інформація про задаючі та збурюючі впливи з урахуванням перешкод вимірювання цих сигналів за допомогою відповідних технічних пристроїв, проте, на відміну від класичного комбінованого керування, синтез розімкненого і замкненого контурів керування виконується одночасно для мінімізації анізотропійної норми вектора мети робастного керування;
- вдосконалені математичні моделі динаміки руху багатомасових електромеханічних систем та випадкових збурень із параметричною невизначеністю в яких, на відміну від існуючих моделей, враховано вплив невизначених параметрів об'єкта керування, що дозволяє підвищити адекватність розроблених ма-

тематичних моделей реальним процесам, а в результаті підвищити точність керування;

– отримав подальший розвиток метод синтезу анізотропійних регуляторів для керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю при використанні розімкненого і замкненого контурів керування та спостерегачів стану розширеного об'єкта керування, що дозволяє підвищити точність керування багатомасовими системами із анізотропійними регуляторами порівняно з існуючими системами з типовими регуляторами за рахунок зменшення помилок системи при дії випадкових зовнішніх збурень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці інженерної методики синтезу анізотропійних регуляторів для багатомасових електромеханічних систем із параметричною невизначеністю, яка забезпечує підвищення точності керування.

Основні результати виконаних в дисертації досліджень та практичних розробок використані при синтезі, розробці та впровадженні систем автоматизованого управління рухомими об'єктами, технологічними процесами і комплексами науково-виробничим підприємством «Хартрон-Аркос» (м. Харків).

Одержані у роботі результати можуть бути застосовані при синтезі систем високоточного керування промисловими роботами, оброблювальними верстатами, антенами, сонячними батареями, локаційними системами та системами наведення і стабілізації.

Матеріали дисертації використовуються в лекційних курсах «Оптимальні та конфліктно-керовані системи» та «Теорія керування» на кафедрі системного аналізу і управління НТУ «ХП».

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові результати, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто, серед них: удосконалені математичні моделі двомасових та тримасових систем як об'єктів робастного керування; методика та результати синтезу комбінованих систем керування із анізотропійними регуляторами; методика та результати синтезу анізотропійних регуляторів для удосконалених моделей об'єкта керування; результати досліджень експериментальної установки двомасової електромеханічної системи із анізотропійними регуляторами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: XX – XXI Міжнародних конференціях з автоматичного керування «Автоматика» (Миколаїв, 2013; Київ, 2014); XX – XXI Міжнародних конференціях по автоматизованому електроприводу «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» (Алушта, 2013; Одеса, 2014); XIX – XX Міжнародних конференціях по перетворювальній техніці «Силова електроніка та енергоефективність» (Алушта, 2013; Одеса, 2014); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення (АППР – 2013)» (Севастополь, 2013); Науково-технічних конференціях «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (Дніпропетровськ, 2013, 2014); XIV – XV Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2013, 2014); Всеукраїнських науко-

во-практичних конференціях «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (Чернівці, 2013, 2014), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем» (Донецьк, 2013); Міжнародних конференціях з інформатики та моделювання «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 2013, 2014); XIII Міжнародній конференції по електротехніці «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2014); V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформатика та системні науки (ІСН-2014)» (Полтава, 2014).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 14 наукових публікаціях, з них: 12 статей у наукових фахових виданнях України (10 у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, в тому числі 1 у наукометричній базі SCOPUS), 2 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок; з них 52 рисунка по тексту; 12 рисунків на 12 окремих сторінках; списку використаних джерел з 111 найменувань на 12 сторінках, додатку на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрита актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, викладені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача в розробку теми дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведений аналіз сучасного стану методів синтезу динамічних систем керування. Синтезу робастних систем керування присвячені роботи Кунцевича В. М., Кунцевича А. В., Куржанського О. Б., Харитоновна В. А., Поляка Б. Т., Ципкіна Я. З., Щербаківа П. С., Пшенічного Б. М., Черноусько Ф. А., Бутковського А. Г., Краснощеченко В. І., Туніка А. А., Потапенко Є. М., Куценко О. С., Александрова Є. Є., Любчика Л. М., Северина В. П., Van der Schaft, Isidori та багатьох інших. Питанням синтезу стохастичних робастних систем керування, за допомогою яких мінімізується анізотропійна норма системи, присвячені роботи Володимирова І. Г., Курдюкова А. П., Семенова А. В., Максимова Е. А., Тіміна В. Н., Diamond P., Mariton M., Bertrand P., Iglesias P. A., Mustafa D., Glover K., Gray R., Byrnes C. I., Georgiou T. T., Lindquist A. A., Arov D. Z., Krein M. G. Відмічено, що в останні декілька років цей напрямок науки керування інтенсивно розвивається, про що свідчить велика кількість монографій, публікацій, конференцій та симпозіумів, присвячених цим дослідженням. Таким чином теоретично обґрунтоване підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю об'єкта керування на основі синтезу анізотропійних регуляторів порівняно з існуючими системами з типовими регуляторами.

У **другому розділі** розроблені математичні моделі динаміки руху об'єктів робастного керування багатомасових систем з урахуванням невизначеностей об'єктів керування. Основний підхід до синтезу робастного керування заснова-

ний на вирішенні задачі оптимізації. Однак, на відміну від класичного підходу до синтезу оптимальних систем, при робастному керуванні в рівняння стану об'єкта крім вектора керування u_k включається також вектор зовнішніх впливів, який представляється у вигляді двох векторів: вектор ω_k включає зовнішні сигнальні впливи на об'єкт у вигляді завдань, завод та перешкод вимірювання, а вектор η_k включає зовнішні впливи, які призводять до зміни стану системи за рахунок параметричних і структурних змін моделі об'єкта керування.

Для дискретного об'єкта робастного керування багатомасової системи із вектором стану об'єкта керування x_k різницеве рівняння стану, вектор вимірюваних змінних y_k і вектор мети робастного керування z_k представляються у стандартній формі, яка прийнята в теорії робастного керування:

$$x_{k+1} = Ax_k + B_0\omega_k + B_2u_k + B_1\eta_k, \quad y_k = C_2x_k + D_{21}\omega_k, \quad (1)$$

$$z_k = \left((C_1x_k + D_{12}u_k)^T, (\gamma_1E_1x_k)^T, (\gamma_2E_2\omega_k)^T, (\gamma_3E_3u_k)^T \right)^T, \quad (2)$$

де: A – матриця стану; B_2 – матриця керування; B_0, B_1 – матриці зовнішніх сигнальних та параметричних збурень; C_i, D_{ij}, E_i – матриці, за допомогою яких визначаються вектор мети робастного керування z_k та вектор вимірюваних змінних y_k ; γ_i – параметри толерантності.

Вхідними векторами цього дискретного об'єкта робастного керування є вектор керування u_k і вектори зовнішніх сигнальних ω_k та параметричних η_k збурень.

Центральна ідея синтезу систем стохастичного робастного керування пов'язана з мінімізацією анізотропійної норми системи по вектору керування u_k , але максимізацією цієї ж норми системи по вектору зовнішніх параметричних збурень η_k . При цьому за рахунок введення в функцію Гамільтона норми вектора зовнішніх впливів зі знаком мінус мінімізується чутливість системи до зміни параметрів об'єкта керування, а, отже, забезпечується робастність системи. Такий підхід відповідає ігровому підходу до задачі оптимізації, коли перший гравець «керування» мінімізує функцію мети, а другий гравець «зовнішні параметричні збурення» максимізує цю ж функцію мети. Причому, так як вихідна система описується системою різницевих рівнянь – матричним рівнянням дискретного стану, а обидва гравці використовують одну і ту ж функцію мети, то така гра називається диференціальною грою з нульовою сумою. У зв'язку з цим, в роботі виявлені джерела невизначеностей в багатомасових системах автоматичного керування і засоби їх опису. Різні типи невизначеностей представлені за допомогою дрібно-раціональних перетворень. Розроблено математичні моделі динаміки руху двомасової та тримасової електромеханічних систем з урахуванням невизначеності об'єкта керування.

Третій розділ присвячений синтезу анізотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю. Сформульована та вирішена задача синтезу комбінованого стохастичного робастного

керування, в якій поєднується принцип керування з розімкненим і замкненим контуром, що дозволяє отримувати точність, яка недосяжна в системах зі зворотним зв'язком. При такому підході для формування керування використовується інформація про задаючий і збурюючий вплив для отримання мінімальної анізотропійної норми помилки відпрацювання системою задаючого впливу та компенсації збурюючого впливу. При цьому умови інваріантності по задаючому та збурюючому впливах зводяться до мінімізації анізотропійних норм передавальних функцій помилки системи відповідно по задаючому та збурюючому впливах.

Ефект комбінованого керування визначається тим, що при синтезі робастного керування використовується інформація про задаючий та збурюючий впливи. Причому, при синтезі робастного керування враховуються перешкоди вимірювання цих сигналів за допомогою відповідних технічних пристроїв. Однак, на відміну від класичного комбінованого керування, коли розімкнені контури керування по задаючому і збурюючому впливах синтезуються окремо, незалежно один від одного і, як правило, після синтезу контуру зворотного зв'язку, при робастному керуванні синтез контурів розімкненого і замкненого керувань виконується одночасно для мінімізації анізотропійної норми вектора мети робастного керування.

Анізотропійний регулятор приймається у вигляді дискретної динамічної системи, яка задана різницеvim рівнянням:

$$\xi_{k+1} = \hat{A}\xi_k + \hat{B}y_k, \quad u_k = \hat{C}\xi_k. \quad (3)$$

Входом цієї динамічної системи (3) є вектор вимірювальних змінних y_k , а виходом – вектор керування u_k об'єкта (1).

Розширена система, яка включає об'єкт керування (1), замкнений регулятором (3), має вектор стану, який включає вектор стану об'єкта керування x_k і вектор стану регулятора ξ_k . Вхідними векторами цієї розширеної системи є вектори зовнішніх сигнальних ω_k та параметричних η_k збурень, а вихідним вектором системи є вектор мети робастного керування z_k . Матриця цієї розширеної системи у просторі стану має вигляд

$$\left[\begin{array}{cc|cc} A & B_2\hat{C} & B_0 & B_1 \\ \hat{B}C_2 & \hat{A} & \hat{B}D_{21} & 0 \\ \hline C_1 & D_{12}\hat{C} & 0 & 0 \end{array} \right] \equiv \left[\begin{array}{c|cc} A_t & B_t & F_t \\ \hline C_t & 0 & 0 \end{array} \right]. \quad (4)$$

Синтезуємо анізотропійний регулятор повного порядку багатомасових електромеханічних систем із параметричною невизначеністю шляхом зведення його до рішення задачі оптимізації без параметричної невизначеності введенням додаткового входу, так що отримана задача є задачею змішаної H_2/H_∞ оптимізації. Представимо задачу синтезу анізотропійного регулятора у вигляді диференціальної гри. Для знаходження найгіршого входу η_k , який максимізує анізотропійну норму системи, вирішуються наступні рівняння:

перше рівняння Ріккати

$$\tilde{Y} = A_t^T \tilde{Y} A_t + L_t^T \Pi L_t + Q, \quad (5)$$

де

$$L_t = \Pi^{-1} F_t^T \tilde{Y} A_t, \quad \Pi = \Gamma - F_t^T \tilde{Y} F_t,$$

друге рівняння Ріккати

$$R = A_\omega^T R A_\omega + q C_\omega^T C_\omega + L^T \Sigma^{-1} L, \quad (6)$$

де

$$L = \Sigma \left(B_\omega^T R A_\omega + q D_\omega^T C_\omega \right), \quad \Sigma = \left(I_{m1} - B_\omega^T R B_\omega \right)^{-1}.$$

Для синтезу анізотропійних спостерігачів стану багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю, які необхідні для реалізації анізотропійних регуляторів повного порядку (3), вирішується третє рівняння Ріккати

$$S = \tilde{A}_{11}^T S \tilde{A}_{11}^T + \tilde{B}_1 \tilde{B}_1^T - \Lambda \Theta \Lambda^T, \quad (7)$$

де

$$\Theta = \tilde{C}_{21} S \tilde{C}_{21}^T + \tilde{D} \tilde{D}^T, \quad \Lambda = \left(\tilde{A}_{11} S \tilde{C}_{21}^T + \tilde{B}_1 \tilde{D}^T \right) \Theta^{-1}.$$

Для синтезу оптимального анізотропійного регулятора стану, який мінімізує анізотропійну норму системи, вирішується четверте рівняння Ріккати

$$T = A_u^T T A_u + C_u^T C_u - N^T \Psi N, \quad (8)$$

де

$$\Psi = B_u^T T B_u + D_{12}^T D_{12}, \quad N = -\Psi^{-1} \left(B_u^T T A_u + D_{12}^T C_u \right).$$

Анізотропійна норма системи визначається виразом спеціального вигляду

$$a = -\frac{1}{2} \ln \det \left(\frac{m_1 \Sigma}{\text{Trace}(L P L^T + \Sigma)} \right), \quad (9)$$

де матриця P задовольняє рівнянню Ляпунова

$$P = (A_\omega + B_\omega L) P (A_\omega + B_\omega L)^T + B_\omega \Sigma B_\omega^T. \quad (10)$$

Отриманий алгоритм синтезу анізотропійних регуляторів зводиться до ітеративного вирішення задачі стохастичної робастної оптимізації. Рішення задачі починається для фіксованих значень параметрів толерантності γ_i , величини яких повинні бути досить великими, щоб рівняння мали рішення. Потім вирішується система з чотирьох пов'язаних рівнянь Ріккати (5) – (8), рівняння Ляпунова (10) та визначається анізотропійна норма системи виразом спеціального вигляду (9). Система рівнянь чисельно вирішуються за допомогою методу гомотопій, що включає векторизацію матриць та ітерації за методом Ньютона.

Оптимальний анізотропійний регулятор у просторі стану має вигляд

$$K = \left[\begin{array}{cc|c} A + B_2 N_1 - \Lambda C_2 & B_1 M + B_2 N_2 - \Lambda D_{21} M & \Lambda \\ 0 & \hat{A} & \Lambda \\ \hline N_1 & N_2 & 0 \end{array} \right]. \quad (11)$$

Анізотропійний регулятор повного порядку (11) є оптимальним оцінювачем закону керування в задачі з повною інформацією про вектор стану системи для випадку найгіршого входу. Принцип поділу в змішаній задачі робастного керування не означає незалежності рівнянь Ріккати. Відзначимо, що на відміну від класичних H_2 і H_∞ оптимізації, задача синтезу оцінювача і задача синтезу оптимального статичного регулятора у вигляді зворотного зв'язку не можуть бути вирішені незалежно одна від одної. Такий узагальнений принцип розподілу дозволяє дати інтерпретацію отриманих результатів з точки зору теорії диференціальних ігор. Керування системою в присутності зовнішніх збурень представлено диференціальною грою між двома гравцями – природою і регулятором. Оптимальна стратегія першого гравця – регулятора, полягає в отриманні оптимального керування, а оптимальна стратегія другого гравця – природи, полягає в отриманні «найгіршого» збурення у вигляді параметричної невизначеності об'єкта керування. При цьому кожен із гравців знає про оптимальну стратегію свого опонента.

Другий гравець реалізує свою оптимальну стратегію таким чином: для генерації «найгіршого» збурення він знімає копію системи і організує власний зворотній зв'язок без пам'яті, що дозволяє йому отримати інформацію про внутрішній стан замкненої системи, який утворюється внутрішнім станом системи і внутрішнім станом регулятора. Перший гравець намагається вгадати оптимальну стратегію другого гравця і оцінює «найгірший» вхід при спостереженні за виходом системи. Припускаючи, що на вхід надійшов «найгірший» сигнал, регулятор організовує динамічний зворотний зв'язок по виходу системи щоб забезпечити максимальну компенсацію цього збурення.

Досліджено динамічні характеристики синтезованих багатомасових електромеханічних систем з анізотропійними регуляторами. Як приклад на рис. 1 показані реалізації випадкових процесів змінних стану двомасової електромеханічної системи з типовим регулятором, а на рис. 2 показані реалізації випадкових процесів тих же змінних стану системи з робастним регулятором. На рисунках показані наступні змінні стану системи: а) швидкість обертання двигуна; б) момент пружності та в) швидкість обертання механізму. Результати синтезу показали, що застосування робастних регуляторів дозволило зменшити помилку регулювання швидкості обертання механізму приблизно в два рази.

Четвертий розділ присвячений синтезу детермінованих робастних регуляторів багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю. Як було показано у третьому розділі, синтез стохастичних робастних регуляторів, за допомогою яких мінімізується анізотропійна норма системи, зводиться до вирішення чотирьох пов'язаних між собою рівнянь Ріккати, рівняння Ляпунова і обчислення виразу спеціального виду. Якщо величини анізотропії вхідної дискретної системи знаходяться в діапазоні $0 < a < \infty$, то значення анізотропійної норми системи обмежені значеннями H_2 і H_∞ нормами системи. Причому, при нульовій середній анізотропії синтез оптимального регулятора, мінімізуючого анізотропійну норму, зводиться до вирішення двох рівнянь Ріккати й такий оптимальний анізотропійний регулятор відповідає оптимальному

стохастичному регулятору, мінімізує дисперсію вихідного сигналу – H_2 норму. При нескінченній середній анізотропії вхідного сигналу, відповідного повністю певному детермінованому сигналу, анізотропійний регулятор є оптимальним детермінованим робастним регулятором, який мінімізує H_∞ норму. При значеннях середньої анізотропії вхідного сигналу в діапазоні $0 < a < \infty$, анізотропійний регулятор займає проміжне положення між регуляторами, що мінімізують H_2 і H_∞ норми.

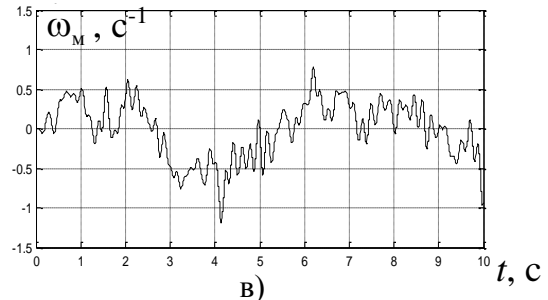
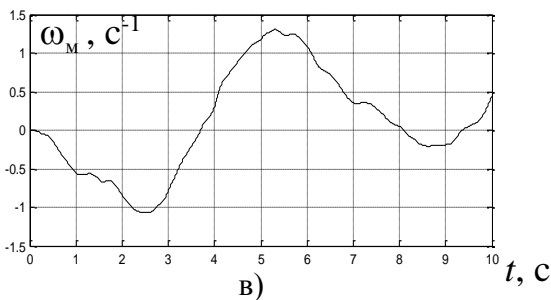
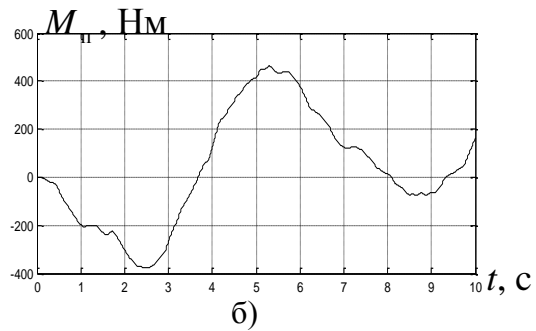
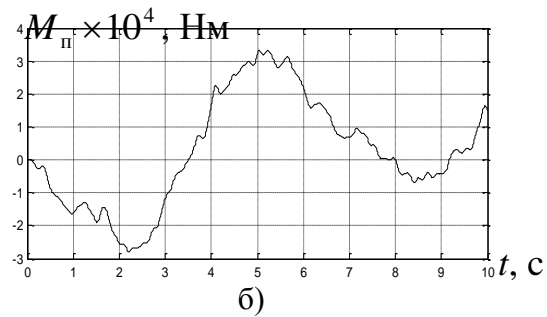
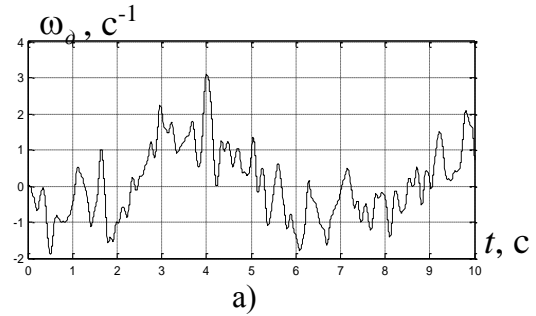
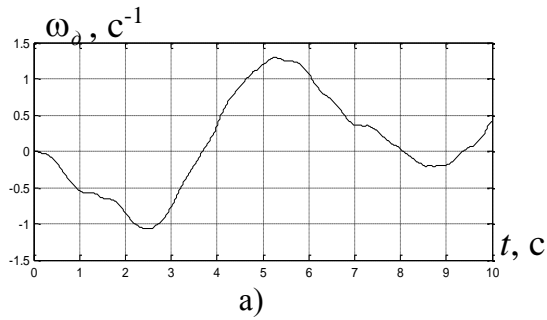


Рисунок 1 – Реалізація змінних стану в системі з типовим регулятором

Рисунок 2 – Реалізація змінних стану в системі з анізотропійним регулятором

Теорія детермінованого робастного керування, яка заснована на рішеннях рівнянь Ріккати, дозволяє синтезувати робастні регулятори і спостерігачі. При цьому можна синтезувати регулятор, здатний мінімізувати змішаний критерій, заснований на мінімізації H_2 і H_∞ норм, взятих з певними ваговими множни-

ками. При цьому, роль такого вагового множника фактично грає параметр толерантності γ . Таким чином є взаємозв'язок різних задач теорії стохастичного робастного керування із задачею синтезу анізотропійних регуляторів, причому класичні H_2 і H_∞ регулятори є граничними випадками оптимального анізотропійного регулятора, а оптимальний анізотропійний регулятор мінімізує H_∞ функціонал замкненої системи для певного значення його параметра толерантності.

Відзначимо, що особливістю сучасних систем цифрового керування багатомасовими електромеханічними системами є їх суттєва різноманітність. Це обумовлено тим, що сучасні перетворювачі частоти для керування двигунами змінного струму, а також широтноімпульсні перетворювачі для керування двигунами постійного струму, побудовані на основі IGBT транзисторів або GTO тиристорів, мають досить високу частоту комутації, що лежить в області декількох десятків кілогерц, і забезпечує високу швидкодію контурів регулювання струмів, а отже, і моментів двигунів. За даними фірм, що випускають такі перетворювачі, час наростання моментів двигунів складає одиниці мілісекунд, а час спаду моментів двигунів складає десятки мікросекунд, і така швидкодія не є граничною. Однак, власні частоти механічних коливань багатомасових електромеханічних систем лежать в області одиниць – десятків Гц, а часто навіть ще нижче. Така безперервна система є слабо обумовленою системою, матриця стану дискретної системи наближається до одиничної матриці, а матриця керування наближається до нульової матриці. Одним з ефективних методів вирішення таких систем є метод, заснований на описі вихідної безперервної системи за допомогою Δ оператора. У зв'язку з цим синтез детермінованого робастного керування багатомасовими електромеханічними системами виконаний за допомогою Δ оператора.

Наведено результати дослідження динамічних характеристик робастних регуляторів багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю. При використанні Δ оператора для синтезу робастних систем керування можна синтезувати і дослідити динамічні характеристики робастних регуляторів багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю, у яких період дискретності істотно менше постійних часу об'єкта керування. Причому, при наближенні періоду дискретності до нуля, за допомогою Δ оператора можна синтезувати і дослідити безперервні системи керування, еквівалентні таким дискретним системам.

У **п'ятому розділі** виконано експериментальне дослідження динамічних характеристик синтезованих систем.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено дослідницький стенд стохастичної двомасової електромеханічної системи, схема якого показана на рис. 3. На стенді проведено експериментальні дослідження динамічних характеристик двомасової електромеханічної системи з типовими регуляторами та з синтезованими анізотропійними регуляторами. Як приклад реалізації випадкових процесів змінних стану систем регулювання кута повороту вала

двигуна з типовим регулятором та з анізотропійним регулятором показані на рис. 4 і рис. 5.

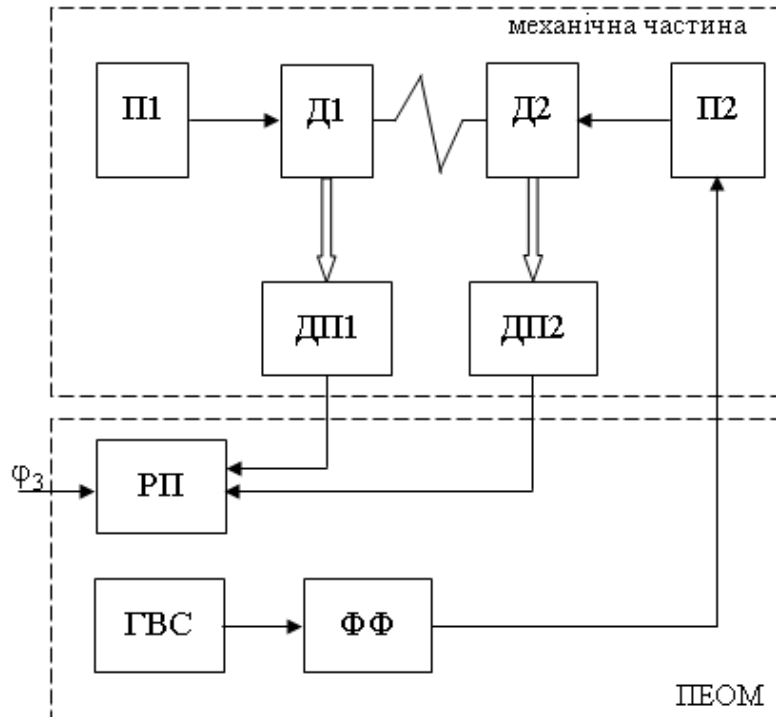


Рисунок 3 – Схема дослідницького стенду двомасової електромеханічної системи

Механічна частина стенду виконана на базі двох однотипних мікродвигунів постійного струму ДПТ – 25 – Н2. Перетворювачем електричної енергії в механічну є мікродвигун Д1, а мікродвигун Д2 формує величину навантаження для Д1. Вали двигунів Д1 і Д2 з'єднані пружною передачею. За допомогою другого двигуна створюється момент навантаження.

Для імітації випадкового впливу на систему на вхід другого двигуна подається випадковий сигнал з виходу формуючого фільтра (ФФ) у вигляді коливальної ланки. На вхід формуючого фільтра подається сигнал типу білого шуму від генератора випадкових сигналів (ГВС). Характеристики випадкової зміни моменту навантаження визначаються параметрами формуючого фільтра і власне двигуна.

У режимі стабілізації, коли система замкнена по куту, керування першим двигуном здійснюється від перетворювача П1 за допомогою регулятора положення РП першого двигуна по сигналу з датчиків положення ДП1 або ДП2 першого або другого двигунів. У режимі наведення, коли система замкнена по швидкості, керування першим двигуном здійснюється від перетворювача П1 за допомогою регулятора швидкості РШ першого двигуна по сигналу з датчиків швидкості ДШ1, ДШ2 першого або другого двигунів (на рис. 3 регулятор швидкості РШ і датчики швидкості ДШ1, ДШ2 не показані).

Швидкості обертання двигунів вимірюються за допомогою тих же імпульсних датчиків положення ДП1, ДП2 першого і другого двигунів.

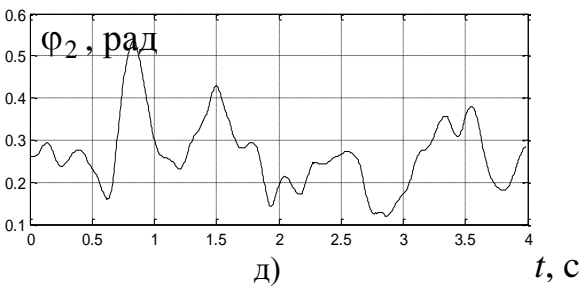
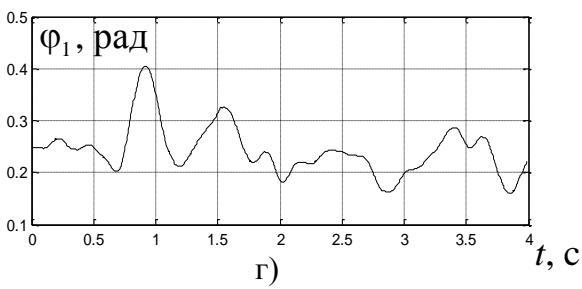
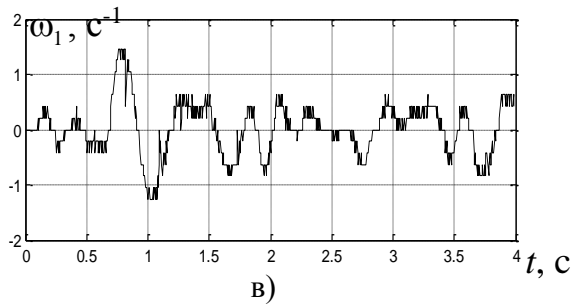
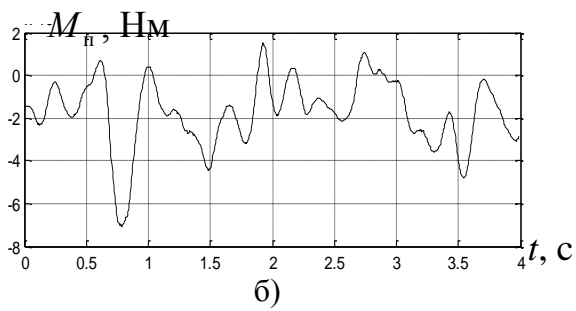
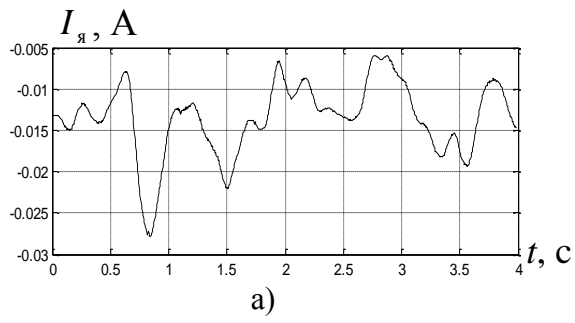


Рисунок 4 – Реалізації змінних стану системи з типовим регулятором

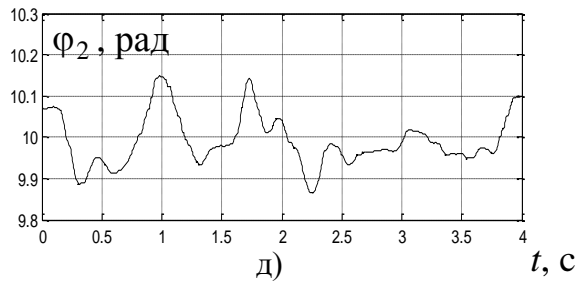
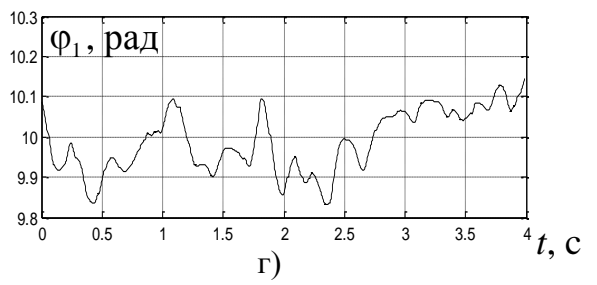
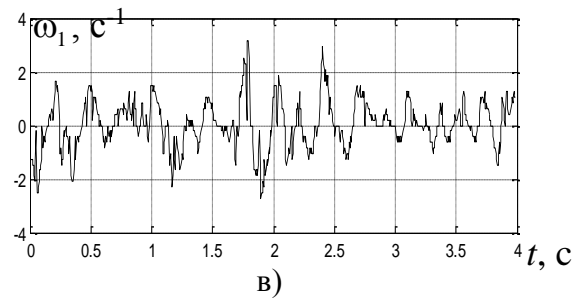
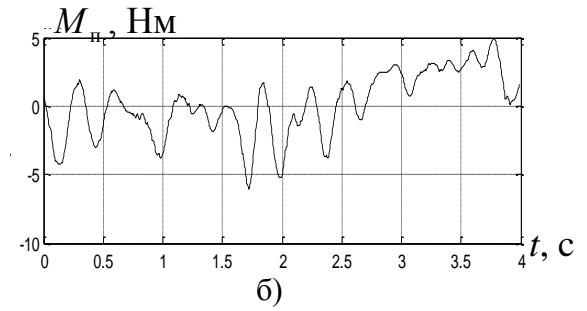
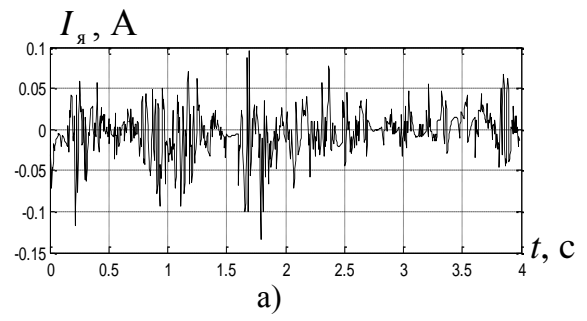


Рисунок 5 – Реалізації змінних стану системи з анізотропійним регулятором

На рис. 4-5 показані наступні змінні стану: а) струм якірного кола першого двигуна; б) момент пружності; в) швидкість обертання першого двигуна; г) і д) кути повороту валів першого і другого двигунів. Як видно з цих рисунків, максимальне відхилення кута повороту вала другого двигуна в системі керування з типовим регулятором становить $\Delta\varphi_2=0,55$ рад, а в системі керування з анізотропійним регулятором максимальне відхилення кута повороту вала другого двигуна складає $\Delta\varphi_2=0,2$ рад. Таким чином, застосування анізотропійного регулятора в системі керування кута повороту вала двигуна при випадковій зміні моменту навантаження дозволяє зменшити помилку регулювання більш ніж в 2 рази.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішення науково-практичної задачі підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами об'єкта керування на основі стохастичного робастного керування.

Основні результати і висновки дисертаційної роботи:

1. В результаті аналізу існуючих методів керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами науково обґрунтована можливість підвищення точності роботи таких систем за рахунок застосування стохастичного робастного керування. Обрано напрямок дослідження для подальшого підвищення точності систем керування багатомасовими електромеханічними системами і показані можливі шляхи розв'язання цієї проблеми.

2. Отримали подальший розвиток математичні моделі динаміки руху багатомасових електромеханічних систем з невизначеними параметрами. У рівняння стану вихідного об'єкта керування багатомасових електромеханічних систем крім вектора керування включений також вектор зовнішніх впливів, що характеризує зміну стану системи за рахунок параметричних і структурних змін моделі об'єкта керування, що дозволило підвищити їх адекватність реальним процесам.

3. Запропоновано при синтезі стохастичних робастних регуляторів використовувати всю наявну інформацію про задаючі та збурюючі впливи з урахуванням перешкод вимірювання цих сигналів за допомогою відповідних технічних пристроїв, що відповідає синтезу комбінованого стохастичного робастного керування, але на відміну від класичного комбінованого керування, синтез контурів розімкненого і замкненого керувань виконується одночасно для мінімізації анізотропійної норми вектора мети робастного керування, що дозволяє підвищити точність керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами.

4. Розроблено методику і виконано синтез анізотропійних регуляторів для керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю. Синтез анізотропійних регуляторів повного порядку та синтезу анізотропійних спостерігачів стану багатомасових електромеханічних систем з

параметричною невизначеністю, необхідних для реалізації анізотропійних регуляторів повного порядку, зводиться до ітеративного рішення системи з чотирьох пов'язаних рівнянь Ріккати, рівняння Ляпунова та визначення анізотропійної норми системи по виразу спеціального вигляду. Системи рівнянь чисельно вирішуються за допомогою методу гомотопій, що включає векторизацію матриць та ітерації за методом Ньютона. Оптимальний анізотропійний регулятор повного порядку є оптимальним оцінювачем оптимального закону керування в задачі з повною інформацією про вектор стану системи для випадку найгіршого входу. Принцип поділу в змішаній задачі робастного керування не означає незалежності рівнянь Ріккати, а задачі синтезу оптимального регулятора і оптимального оцінювача не можуть бути вирішені незалежно одна від одної. Керування системою в присутності зовнішніх збурень розглядається як диференціальна гра між двома гравцями – регулятор мінімізує анізотропійну норму системи, а параметрична невизначеність об'єкта керування її максимізує.

5. Досліджено динамічні характеристики синтезованих багатомасових електромеханічних систем з анізотропійними регуляторами. Застосування робастних регуляторів дозволило зменшити помилку регулювання швидкості двомасової електромеханічної системи при випадковій зміні моменту зовнішнього впливу приблизно у 2 рази.

6. Розроблено схему, технічне і програмне забезпечення стенду стохастичної двомасової електромеханічної системи. Наведені результати порівняння динамічних характеристик системи керування стендом двомасової електромеханічної системи з типовими і робастними регуляторами при випадковій зміні зовнішніх впливів. Показано, що застосування стохастичного робастного керування стендом двомасової електромеханічної системи при випадковій зміні моменту навантаження дозволяє зменшити помилку регулювання швидкості обертання у 1,5 рази і зменшити помилку регулювання кута повороту більш ніж у 2 рази у порівнянні з системою з типовими регуляторами.

7. Результати наукових розробок впроваджені в практику проектування систем автоматизованого управління рухомими об'єктами, технологічними процесами і комплексами науково-виробничого підприємства «Хартрон-Арко» (м. Харків). Матеріали дисертації використовуються в лекційних курсах «Оптимальні та конфліктно-керовані системи» та «Теорія керування» на кафедрі системного аналізу і управління НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Татарченко М. О. Синтез комбинированных систем робастного управления / Т. Б. Никитина, А. В. Волошко, М. О. Татарченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХП», 2013. – № 3 (977). – С. 3-8.

Здобувач розробив метод та вирішив задачу синтезу комбінованих систем з анізотропійними регуляторами.

2. Татарченко М. О. Синтез анизотропийного регулятора комбинированной системы робастного управления скоростью электромеханической системы

/ Т. Б. Никитина, А. В. Волошко, М. О. Татарченко // Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології». – Дніпропетровськ: НМАУ, 2013. – № 3 (86). – С. 80-83.

Здобувачем розроблено метод та виконано дослідження динамічних характеристик комбінованих систем з анізотропійними регуляторами.

3. Татарченко М. О. Экспериментальное исследование эффективности анизотропийного робастного регулятора скорости двухмассовой электромеханической системы / Т. Б. Никитина, В. В. Коломиец, М. О. Татарченко // Наукові праці Донецького Національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – № 2 (15). – 2013. – С. 186-190.

Здобувач склав основні рівняння динаміки руху двомасової електромеханічної системи стенду та виконав її експериментальні дослідження.

4. Татарченко М. О. Синтез робастного управления трехмассовой электромеханической системой с учетом неопределенностей объекта управления / Т. Б. Никитина, Б. Б. Кобылянский, М. О. Татарченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 39 (1012). – С. 140-149.

Здобувач склав основні рівняння динаміки руху тримасової електромеханічної системи та розв'язав задачу синтезу анізотропійних регуляторів.

5. Татарченко М. О. Повышение точности управления двухмассовыми электромеханическими системами на основе стохастических робастных методов / Т. Б. Никитина, В. В. Коломиец, М. О. Татарченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 36. – С. 274-275.

Здобувачем розроблено метод та розв'язана задача синтезу анізотропійних регуляторів двомасової електромеханічної системи

6. Татарченко М. О. Результаты экспериментальных исследований эффективности стохастического робастного управления двухмассовой электромеханической системой / Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2013. – № 8 (114). – Том 1. – С. 156-158.

Здобувач виконав експериментальні дослідження динамічних характеристик стенду двомасової електромеханічної системи.

7. Татарченко М. О. Разработка и экспериментальное исследование стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы / Т. Б. Никитина, В. В. Коломиец, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – № 19 (992). – С. 113-120.

Здобувачем розв'язана задача синтезу анізотропійних та типових регуляторів стенду двомасової електромеханічної системи.

8. Татарченко М. О. Многокритериальный синтез многомассовых электромеханических систем на основе стохастических мультиагентных алгоритмов оптимизации роом частиц / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології». – Дніпропетровськ: НМАУ, 2014. – № 2 (91). – С. 10-17.

Здобувач розв'язав задачу синтезу анізотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем.

9. Татарченко М. О. Многокритериальный синтез анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 105-107.

Здобувач розв'язав задачу синтезу анізотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем.

10. Татарченко М. О. Стохастическая мультиагентная оптимизация анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, В. В. Коломиец, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 15 (91). – С. 107-109.

Здобувачем розв'язана задача синтезу анізотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем.

11. Татарченко М. О. Стохастическая мультиагентная оптимизация роом частиц анизотропийных регуляторов двухмассовых электромеханических систем / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, В. В. Коломиец, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Энергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2014. – № 9 (128). – С. 114-119.

Здобувач розв'язав задачу синтезу анізотропійних регуляторів двомасових електромеханічних систем.

12. Татарченко М. О. Многокритериальный синтез комбинированной стохастической робастной системы совместного регулирования толщины, натяжения и петли полосы в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки / С. Н. Балюта, Т. Б. Никитина, Л. А. Копылова, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – № 35 (1078). – С. 4-14.

Здобувачем розв'язана задача синтезу анізотропійних регуляторів системи регулювання товщини, натягу та петлі смуги прокатного стану.

13. Татарченко М. О. Синтез комбинированных систем стохастического робастного управления / Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко // Автоматика 2013. XX Міжнародна конференція з автоматичного керування. – Миколаїв: НУК. – 2013. – С. 199-200.

Здобувач запропонував задачу синтезу комбінованих систем з анізотропійними та типовими регуляторами електромеханічних систем.

14. Татарченко М. О. Многокритериальный синтез комбинированных систем стохастического робастного управления / Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Автоматика 2014. XXI Міжнародна конференція з автоматичного керування. – Київ: НТУУ. – 2014. – С. 124-125.

Здобувачем запропоновано задачу синтезу комбінованих систем стохастичного робастного керування електромеханічними системами.

АНОТАЦІЇ

Татарченко М. О. Синтез анізотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем із параметричною невизначеністю. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2015.

У роботі вирішена актуальна наукова задача підвищення точності керування багатомасовими електромеханічними системами з невизначеними параметрами на основі стохастичного робастного керування.

Виконано синтез анізотропійних регуляторів для керування багатомасовими електромеханічними системами із параметричною невизначеністю. Синтез анізотропійних регуляторів повного порядку та синтез анізотропійних спостерігачів стану багатомасових електромеханічних систем з параметричною невизначеністю, необхідних для реалізації анізотропійних регуляторів повного порядку, зводиться до ітеративного рішення системи з чотирьох пов'язаних рівнянь Ріккати, рівняння Ляпунова та обчислення анізотропійної норми системи по виразу спеціального виду. Системи рівнянь чисельно вирішуються за допомогою методу гомотопій, що включає векторизацію матриць та ітерації за методом Ньютона. Принцип розподілу в змішаній задачі робастного керування не означає незалежності рівнянь Ріккати, а задачі синтезу оптимального регулятора і оптимального спостерігача не можуть бути вирішені незалежно одна від одної. Досліджено динамічні характеристики синтезованих багатомасових електромеханічних систем з анізотропійними регуляторами. Застосування робастних регуляторів дозволило зменшити помилку регулювання швидкості двомасової електромеханічної системи при випадковій зміні моменту зовнішнього впливу приблизно у 2 рази у порівнянні з типовими регуляторами. Проведено експериментальні дослідження синтезованих систем із анізотропійними регуляторами на стенді стохастичної двомасової електромеханічної системи. На стенді двомасової електромеханічної системи експериментально встановлено, що застосування анізотропійних регуляторів при випадковій зміні моменту навантаження дозволяє зменшити помилку регулювання швидкості обертання в 1,5 рази і зменшити помилку регулювання кута повороту більш ніж в 2 рази в порівнянні з системою з типовими регуляторами.

Ключові слова: багатомасові системи, автоматизоване керування, аналіз і синтез складних систем, стохастичне робастне керування, анізотропійний регулятор, моделювання динамічних систем.

Татарченко М. О. Синтез анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем с параметрической неопределенностью. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Нацио-

нальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2015.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи повышения точности управления многомассовыми электромеханическими системами с неопределенными параметрами объекта управления на основе стохастического робастного управления. В результате анализа существующих методов управления многомассовыми электромеханическими системами с неопределенными параметрами научно обоснована возможность повышения точности работы таких систем за счет применения стохастического робастного управления. Выбрано направление исследования для дальнейшего повышения точности систем управления многомассовыми электромеханическими системами и показаны возможные пути решения этой проблемы. Получили дальнейшее развитие математические модели многомассовых электромеханических систем с неопределенными параметрами. В уравнение состояния исходного объекта управления многомассовых электромеханических систем кроме вектора управления включен также вектор внешних воздействий, характеризующий изменение состояния системы за счет параметрических и структурных изменений модели объекта управления, что позволило повысить их адекватность реальным процессам.

При синтезе стохастических робастных регуляторов используется вся имеющаяся информация о задающих и возмущающих воздействиях с учетом помех измерения этих сигналов с помощью соответствующих технических устройств, что соответствует синтезу комбинированного стохастического робастного управления. Однако, в отличие от классического комбинированного управления, синтез контуров разомкнутого и замкнутого управлений выполняется одновременно для минимизации анизотропийной нормы вектора цели робастного управления, что позволяет повысить точность управления многомассовыми электромеханическими системами с неопределенными параметрами. Разработана методика и выполнен синтез анизотропийных регуляторов для управления многомассовыми электромеханическими системами с параметрической неопределенностью. Синтез анизотропийных регуляторов и анизотропийных наблюдателей состояния многомассовых электромеханических систем с параметрической неопределенностью, необходимых для реализации анизотропийных регуляторов полного порядка, сводится к итеративному решению системы из четырех взаимосвязанных между собой уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и вычислению анизотропийной нормы системы по выражению специального вида. Системы уравнений численно решаются с помощью метода гомотопий, включающего векторизацию матриц и итерации по методу Ньютона. Анизотропийный регулятор полного порядка является оптимальным оценителем закона управления в задаче с полной информацией о векторе состояния системы для случая наилучшего входа. Принцип разделения в смешанной задаче робастного управления не означает независимости уравнений Риккати, а задачи синтеза оптимального регулятора и оптимального наблюдателя не могут быть решены независимо друг от друга. Управление системой при наличии внешних возмущений рассматривается как дифференциальная игра между дву-

мя игроками – регулятор минимизирует анизотропийную норму системы, а параметрическая неопределенность объекта управления ее максимизирует.

Исследованы динамические характеристики синтезированных многомассовых электромеханических систем с анизотропийными регуляторами. Применение стохастических робастных регуляторов позволило уменьшить ошибку регулирования скорости двухмассовой электромеханической системы при случайном изменении момента внешнего воздействия примерно в 2 раза.

Разработаны схема, техническое и программное обеспечение стенда стохастической двухмассовой электромеханической системы. Приведены результаты сравнения динамических характеристик системы управления стендом двухмассовой электромеханической системы с робастными регуляторами и с типовыми регуляторами при случайном изменении внешних воздействий. Экспериментально установлено, что применение стохастического робастного управления стендом двухмассовой электромеханической системы при случайном изменении момента нагрузки позволяет уменьшить ошибку регулирования скорости вращения в 1,5 раза и уменьшить ошибку регулирования угла поворота более чем в 2 раза по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

Результаты диссертации используются в научно-производственном предприятии «Хартрон-Аркос» (г. Харьков) и в учебном процессе кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Ключевые слова: многомассовые системы, автоматизированное управление, анализ и синтез сложных систем, стохастическое робастное управление, анизотропийный регулятор, моделирование динамических систем.

Tatarchenko M. O. Synthesis of anisotropic regulators for electromechanical multimass systems with parametric uncertainty. – As Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of engineering science on speciality 05.13.07 – Automation of control processes. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2015.

The dissertation is devoted actual scientific problem improve control accuracy multimass electromechanical systems with uncertain parameters based on stochastic robust methods. The synthesis of anisotropic regulators to control of multimass electromechanical systems with parametric uncertainty. Synthesis of anisotropic regulators complete order and synthesis of anisotropic state observers electromechanical multimass systems with parametric uncertainty, necessary for the implementation of the anisotropic regulators complete order is reduced to an iterative solution of a system of four coupled Riccati equations, the Lyapunov equation and calculation of anisotropic norm of special type expression. Equations are solved numerically using the homotopy including vectoring matrices and iteration by Newton's method. Principle of separation of the mixed problem of robust control does not mean independence Riccati equations and optimal controller synthesis problem and optimal evaluator cannot be solved independently of each other. The dynamic characteristics of synthesized multimass electromechanical systems with anisotropic regulators. Application of robust controllers allowed to reduce the error rate control two-mass electrome-

chanical system at the time the random variation of the external impact is about 2 times. Synthesized systems with anisotropic regulators experimental studies on two-mass electromechanical system stochastic stand. Experimentally established that the application of stochastic robust control by two mass electromechanical system stand with random variation of load torque reduces speed control error of 1.5 times and reduce the angle control error of more than 2 times compared with types controller system.

Key words: multimass systems, automated control, analysis and synthesis of complex systems, stochastic robust control, anisotropic regulator, modeling of dynamic systems.

