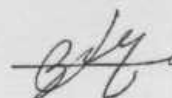


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Буаклін Мохамед Алі



УДК 621.3.076.7

**СИНТЕЗ РОБАСТНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІЗ
РОЗПОДЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ
ОБ'ЄКТУ РЕГУЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі колісних і гусеничних машин ім. О.О. Морозова Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Науково-технічний центр магнетизму
технічних об'єктів, м. Харків, завідувач
відділу проблем керування магнітним полем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Дмитрієнко Валерій Дмитрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки і
програмування

кандидат технічних наук, доцент
Буряковський Сергій Геннадійович,
Українська державна академія
залізничного транспорту,
доцент кафедри систем електричної тяги

Захист відбудеться «20» жовтня 2011 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Автореферат розісланий «15» вересня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О. В. Осичев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Керування багатьма технічними об'єктами і технологічними процесами здійснюється за допомогою подовжених конструкцій, що зв'язують приводний двигун із робочим органом. Це, зокрема, стосується підйомних кранів, промислових роботів, великих антенних конструкцій і просторово розподілених антенних ґрат, сонячних батарей космічних апаратів, стволів орудій і так далі. В процесі роботи в елементах таких конструкцій виникають нестационарні коливання. При керуванні такими протяжними об'єктами необхідно враховувати власні механічні коливання, обумовлені пружними властивостями цих протяжних об'єктів керування, а самі об'єкти керування розглядати як електромеханічні системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання. У існуючих системах керування такими об'єктами застосовують типові регулятори, що не дозволяє суттєво підвищити точність керування. Крім того, керування такими об'єктами ускладнюється і тим, що їх параметри відомі приблизно, а в ході роботи системи вони можуть істотно змінюватися.

Класична теорія систем автоматичного керування довгий час розвивалася у рамках парадигми «один об'єкт-один регулятор». При цьому передбачалося, що математична модель об'єкту керування точно відома. Однією з центральних ідей сучасної теорії автоматичного керування є підхід, пов'язаний з керуванням за допомогою одного регулятора не однією системою з точно заданою моделлю, а цілим класом систем, параметри, а можливо і структура яких може змінюватися в процесі функціонування. Цей напрямок нині інтенсивно розвивається і отримав самостійний напрям, і називається робастним керуванням. У останнє десятиліття отримали розвиток методи мінімізації H_∞ -норми, яка служить ефективним показником реакції системи на різного типу дії за наявності невизначеності в описі об'єкту керування. Однак на сьогоднішній день недостатньо вирішена задача синтезу робастних систем керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання при неточно відомих параметрах об'єкту керування.

У зв'язку з цим розробка методики синтезу робастних систем керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання для роботи в усьому діапазоні зміни параметрів об'єкту керування за допомогою одного центрального регулятора, розрахованого для одного набору параметрів, для підвищення точності керування є актуальною науковою задачею, та визначила напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі колісних і гусеничних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» відповідно до плану науково-дослідних робіт МОН України у рамках держбюджетної теми «Розвиток теорії і методів параметричного синтезу багатоцільових і багатокритеріальних керованих систем з невизначеними параметрами» (№ ДР 0105U000585), пошукових досліджень кафедри по синтезу перспективних систем керування та плану робіт науково-виробничої корпорації «Київський інститут автоматики», де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в підвищенні точності керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході її роботи.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- удосконалення математичних моделей електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання як об'єктів робастних систем безперервного і цифрового керування з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході їх експлуатації;

- оцінка впливу конструктивних параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини на її динамічні характеристики;

- дослідження методів робастного керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання;

- розробка методу і синтез робастних систем безперервного, цифрового і стохастичного керування електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході роботи системи;

- дослідження динамічних властивостей синтезованих робастних систем.

Об'єктом дослідження є процеси в електромеханічній системі із розподіленими параметрами механічної частини.

Предметом дослідження є методи синтезу робастних систем керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини.

Методи дослідження: удосконалення математичних моделей електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини як об'єктів керування робастної системи виконано на основі методів робастного аналізу. Розробка структурних схем електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході її роботи виконано на основі методів математичного моделювання. Аналіз і синтез систем робастного керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини проводився на основі методів робастного аналізу та робастного синтезу систем керування. Дослідження динамічних характеристик систем, що підтвердило ефективність отриманих результатів, виконано з використанням методів імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримано наукове обґрунтування доцільності використання робастних регуляторів порівняно із типовими регуляторами, які використовуються у існуючих системах, для підвищення точності і швидкодії безперервної, цифрової та стохастичної системи керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини.

2. Вдосконалено математичні моделі електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході роботи системи, що дозволило підвищити аде-

кватність математичних моделей реальним процесам, а в результаті – підвищити точність керування.

3. Дістав подальшого розвитку метод синтезу робастних систем безперервного, цифрового та стохастичного керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини при зміні параметрів моделей в ході їх роботи, що дозволило підвищити точність керування порівняно із існуючими системами із типовими регуляторами.

Практичне значення отриманих результатів. Для підвищення швидкодії і точності керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини розроблений метод синтезу систем робастного керування. Представлені в дисертації теоретичні розробки рекомендовані для практичного використання в науково-дослідних і проектних інститутах, які займаються проектуванням систем керування електромеханічними системами із розподіленими параметрами механічної частини.

Методика проектування робастних регуляторів і робастних спостерігачів електромеханічних систем із розподіленими параметрами механічної частини при безперервному і цифровому керуванні впроваджена в науково-виробничій корпорації «Київський інститут автоматики» (м. Київ).

Теоретичні результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи, використовуються в навчальному процесі кафедри автоматизованих електромеханічних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Особистий вклад здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них – математичні моделі електромеханічних систем із розподіленими параметрами механічної частини як об'єктів керування з урахуванням пружних елементів, які враховують як структуровані зміни параметрів математичних моделей, так і неструктуровану невизначеність об'єкту керування; методику синтезу робастного керування електромеханічними системами із розподіленими параметрами механічної частини для вдосконалених математичних моделей; результати розрахунків систем керування електромеханічними системами із розподіленими параметрами механічної частини з робастними регуляторами і робастними спостерігачами.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і обговорювалися на: Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (м. Миколаївка, 2008; м. Алушта, 2009-2010); Міжнародних науково-технічних конференціях «Машинобудування і техносфера на рубежі ХХІ століття» (м. Севастополь, 2008-2010) і на щорічних наукових семінарах кафедри колісних і гусеничних машин НТУ «ХП».

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 9 наукових працях, серед яких 6 – у фахових наукових виданнях України.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 239 сторінок, з них 199 рисунків на 67 сторінках, 2 додатка

на 52 сторінках; 205 найменувань використаних джерел на 21 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, її зв'язок з науковими програмами. Показана актуальність роботи, сформульовано методи та основні задачі наукових досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів та обґрунтовано їх практичну цінність.

У першому розділі проведений аналіз сучасного стану методів керування електромеханічними системами із розподіленими параметрами механічної частини. Встановлено, що для керування електромеханічними системами із розподіленими параметрами механічної частини використовуються типові регулятори, що не дозволяє суттєво підвищити точність керування. Показано, що для керування системами, параметри яких змінюються у певних межах, розроблені методи робастного керування. Питаннями синтезу робастних систем керування присвячені роботи Кунцевича В.М., Кунцевича О.В., Куржанського А.Б., Харитонова В.А., Поляка Б.Т., Ципкіна Я.З., Щербакова П.С., Джурі Е.І., Пшеничного Б.Н., Черноусько Ф.А., Бутковського А.Г., Краснощеченко С.І., Крищенко А.В., Туніка А.А., Потапенко Є.М., Бакана Г.М., Куцуля Н.М., Александрова Є.Є., Раскіна Л.Г., Любчика Л.М., Van der Schaft, Isidori, Shawartz, Tarn, Jiang, Hill, Baramov L, Beard, R. W., Saridis, G. N, Beeler S.C., Tran H.T., Banks H.T., Doyle J., Glover K., Khargonekar P., Francis B, Malinen J. Moller - Pedersen, Martin Pagh Petersen, Safonov M.G., Chiang R.Y., Flashner H, Sage A.P., White C.C., Wernli A., Cook G., Garrard W.L., Hans P. Geering, Murad Abu - Khalaf, Huang Jie, Frank L. Lewis, P. Colaneri, J.C. Geromel, A. Locatelli, Feng Lin, Shengyuan Xu, James Lam, Kemin Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Qing - Chang Zhong, G.E. Dullerud, F.G. Paganini, D.-W. Gu, P. Hr. Petkov, Konstantinova M.M., Zelikin M.I., Enns D.F. Snell S.A. і багатьох інших.

Показана перспективність застосування робастних регуляторів порівняно із типовими регуляторами, які використовуються у існуючих системах, для підвищення точності і швидкодії системи керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини. На основі проведеного аналізу сформульовані ціль і завдання дослідження.

Другий розділ присвячений удосконаленню математичних моделей електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання. Спочатку розглянута математична модель електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання у вертикальній площині. Об'єкт керування приводиться в рух за допомогою асинхронного двигуна, обмотки якого живляться від перетворювача частоти (ПЧ), рис. 1. Регулятор формує сигнали керування на підставі заданих значень швидкості і положення і сигналів вимірника (В).

Представимо об'єкт керування у вигляді твердого тіла і пружного елемента, як це показано на рис. 1. Окрім обертання відносно осі, об'єкт керування

здійснює пружні коливання. Позначимо через $\varphi(t)$ кут повороту жорсткого тіла, $y(x,t)$ – відхилення точок стержня від його недеформованого стану.

Керування об'єктом здійснюється за допомогою моменту двигуна $M_o(t)$, який прикладено до основного жорсткого тіла. Момент збурення $M_s(t)$ діє відносно осі повороту жорсткого модуля, а по довжині пружного елемента діє розподілена сила $F_o(x,t)$.

Рівняння руху об'єкту керування відносно його осі повороту може бути записане в наступному вигляді

$$J_0 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} - \int_r^{r+l} m_1(x) \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} dx = M_o(t) + M_s(t). \quad (1)$$

де J_0 – момент інерції об'єкту керування відносно осі повороту; $m_1(x)$ – маса стержня, яка зв'язана із погонною масою стержня $m(x)$ співвідношенням $m_1(x) = m(x)(x+r)$, в якому r – відстань точки закріплення стержня до осі повороту об'єкту керування.

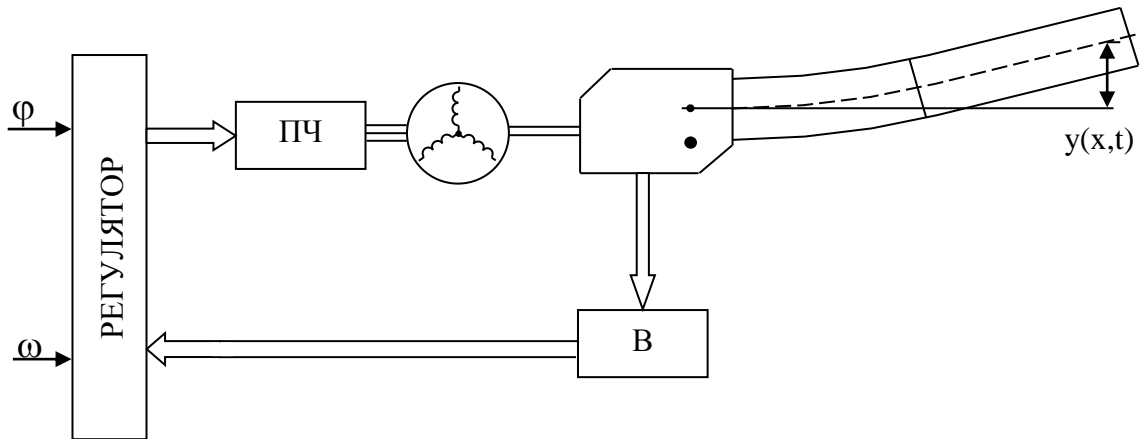


Рис. 1. Схема електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання

Це рівняння описує вільний рух електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання, в якому J_0 є характеристикою електромеханічної системи як твердого тіла, а $m_1(x)$ характеризує взаємний вплив рухів твердого тіла і коливань пружного стержня як механічної частини об'єкту регулювання із розподіленими параметрами. Функція $y(x,t)$ задовольняє рівнянню коливань пружної балки

$$m_1(x) \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + m(x) \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + EI(x) \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \xi EI(x) \frac{\partial^5 y(x,t)}{\partial x^4 \partial t} = F_o(x,t), \quad (2)$$

де $EI(x)$ – розподілена жорсткість об'єкту керування; ξ – коефіцієнт внутрішнього демпфування матеріалу об'єкту керування; $F_o(x,t)$ – розподілене по довжині об'єкту керування зовнішнє збурення, обумовлене вертикальними коливаннями осі об'єкту керування. Представимо у рівнянні (1) функцію $y(x,t)$ у вигляді наступного ряду

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n \gamma_i(x) T_i(t), \quad (3)$$

де n – число форм пружних коливань об'єкту керування, що враховуються. Тоді із (1)-(2) отримані рівняння, що описують рух електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання під дією моменту двигуна $M_o(t)$, збурюючого моменту $M_s(t)$, а також розподіленого по довжині об'єкту керування зовнішнього збурення $F_o(x, t)$, яке обумовлене вертикальними коливаннями об'єкту керування

$$J_0 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} - \sum_{i=1}^n \frac{d^2 T_i(t)}{dt^2} \int_r^{r+l} m_1(x) \gamma_i(x) dx = M_o(t) + M_s(t), \quad (4)$$

$$m_1(x) \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + m(x) \sum_{i=1}^n \gamma_i(x) \frac{d^2 T_i(t)}{dt^2} + EI(x) \sum_{i=1}^n \frac{\partial^4 \gamma_i(x)}{\partial x^4} T_i(t) + \xi EI(x) \sum_{i=1}^n \frac{\partial^4 \gamma_i(x)}{\partial x^4} \frac{dT_i(x)}{dt} = F_o(x, t). \quad (5)$$

Точність керування значною мірою визначається лише першою формою пружних коливань об'єкту керування. Враховуючи тільки першу основну форму пружних коливань у виразі (3), функцію $y(x, t)$ представлено

$$y(x, t) = \gamma_0(x) T_0(t). \quad (6)$$

Тоді рівняння динаміки руху електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання (4)-(5) приймуть наступний вигляд

$$J_0 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} - a_0 \frac{d^2 T_0(t)}{dt^2} = M_o(t) + M_s(t), \quad (7)$$

$$a_0 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + c_0 \frac{d^2 T_0(t)}{dt^2} + \xi b_0 \frac{dT_0(t)}{dt} + b_0 T_0(t) = f_0(t). \quad (8)$$

Рівняння (8) одержано підстановкою виразу (6) у рівняння (5), множенням обох частин одержаного рівняння на $\gamma_0(x)$ та інтегруванням обох частин рівняння у межах від r до $(r+l)$.

У вертикальній площині на об'єкт керування діють два види зовнішніх збурень. Перший тип зовнішніх збурень пов'язаний з подовжньо-кутовими коливаннями об'єкту керування. Ці збурення викликають збурюючий момент, який діє на об'єкт керування

$$M_s = \mu_0 \frac{d\varphi_s(t)}{dt},$$

де μ_0 – постійний коефіцієнт, який визначається експериментально; $d\varphi_s(t)/dt$ – кутова швидкість переміщення об'єкту керування у вертикальній площині.

Другий тип зовнішніх збурень пов'язаний з прискореннями корпусу об'єкту керування відносно його вертикальної осі. Ці прискорення, будучи прикладеними до розподілених мас об'єкту керування, викликають його пружні коливання. Розподілені сили, що прикладені до об'єкту керування і входять в рівняння його пружних коливань, визначаються наступними залежностями

$$F_o(x, t) = m(x) \frac{d^2 z(t)}{dt^2}, \quad (9)$$

де $m(x)$ – погонна маса об'єкту керування; $d^2z(t)/dt^2$ – прискорення корпусу об'єкту керування відносно його вертикальної осі. Тоді отримаємо

$$f_0(t) = \frac{d^2z(t)}{dt^2} \int_r^{r+l} m(x) \gamma_1(x) dx = k_z \frac{d^2z(t)}{dt^2}. \quad (10)$$

Зовнішні збурення, діючі на об'єкт керування у вертикальній площині значною мірою визначаються подовжньо-кутовими і вертикальними коливаннями корпусу об'єкту керування. Будемо формувати випадкові зміни збурюючого моменту $M_z(t)$ і збурюючої сили $f_0(t)$ від некорельованих джерел випадкових сигналів типу білого шуму одиничних інтенсивностей $v_z(t)$ і $v_f(t)$ за допомогою формуючих фільтрів з передавальними функціями коливальних ланок:

$$W_z(p) = \frac{K_z \omega_z^2}{p^2 + 2\xi_z \omega_z p + \omega_z^2}, \quad (11)$$

$$W_f(p) = \frac{K_f \omega_f^2}{p^2 + 2\xi_f \omega_f p + \omega_f^2}, \quad (12)$$

у яких ω_z , ω_f – резонансні частоти власних недемпфованих коливань, ξ_z , ξ_f – коефіцієнти демпфування і K_z , K_f – коефіцієнти посилення формуючих фільтрів.

Параметри формуючих фільтрів вибрані так, щоб спектральні щільності вихідних сигналів формуючих фільтрів співпадали з кривими експериментальних спектральних щільностей, які отримані на основі статистичної обробки реальних спектральних щільностей.

Рівняння динаміки виконавчого органу в каналі вертикального наведення прийнято в наступному виді

$$T_\delta^2 \frac{d^2 M_\delta(t)}{dt^2} + 2\xi_\delta T_\delta \frac{dM_\delta(t)}{dt} + M_\delta(t) = K_\delta u(t), \quad (13)$$

де T_δ , ξ_δ , K_δ – відповідно постійна часу, коефіцієнт демпфування і коефіцієнт посилення приводного двигуна в каналі вертикального наведення.

Така модель відповідає частотно-керованому електроприводу змінного струму при наявності програмно-апаратного контуру прямого керування моментом асинхронного або синхронного електроприводу змінного струму, а також електроприводу постійного струму при наявності контуру регулювання струму якірного ланцюга двигуна постійного струму і, відповідно, пропорційного йому моменту двигуна.

Для побудови астатичного регулятора в модель об'єкту керування введено також інтегратор з змінною стану $z(t)$, на вхід якого подамо різницю між заданим значенням кута напрямку $\varphi_3(t)$ і фактичним значенням кута напрямку об'єкту керування $\varphi(t)$, отже рівняння стану інтегратора набере наступного вигляду

ла і пружного елементу. На відміну від математичної моделі електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини як об'єкту регулювання у вертикальній площині, в каналі горизонтального наведення відсутній другий тип зовнішніх збурень, пов'язаний із прискореннями корпусу об'єкту керування відносно його вертикальної осі, що дозволяє спростити математичну модель об'єкту керування в горизонтальній площині в порівнянні з вертикальною площиною.

Електропривод горизонтального наведення електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини як об'єкту регулювання містить високо моментний двигун постійного струму незалежного збудження, якірний ланцюг якого живиться від широтно-імпульсного перетворювача. Для спрощення математичної моделі електроприводу горизонтального наведення припущено, що він містить внутрішній контур струму, а отже, математична модель регулювання моменту аналогічна моделі в каналі вертикального наведення.

Введено наступні компоненти вектору стану: кут $\varphi(t)$ відхилення між віссю каналу ствола і напрямом на мету і його похідну $d\varphi(t)/dt$, значення функції $T_0(t)$ у представленні функції $y(x, t)$, що характеризує відхилення точок осі каналу ствола від його стану, що не деформується, а також похідну цієї функції $dT_0(t)/dt$, момент двигуна $M_\delta(t)$ і його похідну $dM_\delta(t)/dt$.

При цьому вектор стану набере наступного вигляду

$$\bar{X}(t) = \left\{ \varphi(t), \frac{d\varphi(t)}{dt}, T_0(t), \frac{dT_0(t)}{dt}, M_\delta(t), \frac{dM_\delta(t)}{dt} \right\}.$$

Тоді в рівнянні стану електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту керування в горизонтальній площині спільно з рівнянням приводного двигуна і інтегратора, на якому реалізується астатичний регулятор, матриця стану набере наступного вигляду

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & & & & \\ \hline & & -\frac{a_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi a_0 b_0}{\Delta} & \frac{c_0}{\Delta} & \\ \hline & & & 1 & & \\ \hline & & -\frac{I_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi I_0 b_0}{\Delta} & -\frac{a_0}{\Delta} & \\ \hline & & & & & 1 \\ \hline & & & & -\frac{1}{T_m^2} & -\frac{2\xi}{T_m} \\ \hline \end{array}, B = \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \frac{K_m}{T_m^2} \\ \hline \end{array}.$$

Тут введено позначення $\Delta = I_0 c_0 + a_0^2$.

Третій розділ присвячений синтезу системи робастного керування. Систему диференціальних рівнянь об'єкту керування (7)-(14) в стандартній формі, прийнятій в теорії H^∞

$$\dot{x}(t) = A\bar{x}(t) + B_1\bar{w}(t) + B_2\bar{u}(t), \quad (15)$$

$$\bar{z}(t) = C_1 \bar{x}(t) + D_{11} w(t) + D_{12} \bar{u}(t), \quad (16)$$

$$\bar{y}(t) = C_2 \bar{x}(t) + D_{21} \bar{w} + D_{22} \bar{u}(t). \quad (17)$$

У вектор контрольованих параметрів $\bar{z}(t)$ у (16) включено кут $\varphi(t)$ і швидкість зміни кута $\dot{\varphi}(t)$ відхилення напрямку об'єкту керування від заданого напрямку, відхилення $T_0(t)$ і швидкість відхилення $\dot{T}_0(t)$ осі об'єкту керування від стану, що не деформується, вихідну напругу інтегратора $z(t)$ і керування $u(t)$. У вектор вимірюваних змінних (17) включимо вихідну напругу гіроскопічних датчиків кута $\varphi(t)$ і кутової швидкості $\dot{\varphi}(t)$, а також вихідну напругу інтегратора, які вимірюються з перешкодами $f_i(t)$ так, що

$$\varphi_u = \varphi + f_\varphi, \quad \dot{\varphi}_u = \dot{\varphi} + \dot{f}_\varphi, \quad z_u = z + f_z.$$

У вектор зовнішніх збурень $\bar{w}(t)$ включено задане значення кутового положення об'єкту керування φ_3 , вхідний сигнал v_3 формуючого фільтру подовжньо-кутових переміщень корпусу об'єкту, а також подовжньо-кутових коливань об'єкту і, вхідний сигнал v_f прискорення корпусу об'єкту керування, що формує фільтри, відносно його вертикальної осі, прикладеного до розподілених мас об'єкту і що викликає пружні коливання, перешкоди f_φ , \dot{f}_φ виміри кутів φ_u кутових швидкостей $\dot{\varphi}$ відхилення напрямку об'єкту від заданого напрямку, а також перешкоди виміру f_z вихідної напруги інтегратора z .

Синтез робастного регулятора і робастного спостерігача зводиться до визначення такого динамічного блоку, заданого матрицями A_p , B_p , C_p , входом якого є вимірюваний вектор системи $\bar{y}(t)$, а виходом є вектор керування $\bar{u}(t)$ системи

$$\frac{d\bar{x}_p}{dt} = A_p \bar{x}_p + B_p \bar{y}, \quad (18)$$

$$\bar{u} = C_p \bar{x}_p. \quad (19)$$

Знаходження матриць A_p , B_p , C_p у (16), (17) пов'язана із рішенням рівнянь Ріккати по керуванню і фільтрації, що еквівалентно знаходженню спектру матриць Гамільтона по керуванню і фільтрації

$$H_\infty = \begin{bmatrix} A & \gamma^{-2} B_1 B_1^T - B_2 B_2^T \\ -C_1^T C_1 & -A^T \end{bmatrix}, \quad (20)$$

$$J_\infty = \begin{bmatrix} A^T & \gamma^{-2} C_1^T C_1 - C_2^T C_2 \\ -B_1 B_1^T & -A \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Як приклад на рис. 2 показані перехідні процеси компонент вектору стану замкненої системи: а) кута $\varphi(t)$ відхилення між віссю об'єкту і заданим напрямком і б) його похідній $\dot{\varphi}(t)$, в) значення функції $T_0(t)$ у представленні функції $y(x, t)$, що характеризує відхилення точок осі об'єкту від його стану, що не деформується, і г) моменту двигуна $M_o(t)$ при відробітку системою заданого розузгодження $\Delta\varphi=0,1$ між напрямком об'єкту і заданим напрямком. Помітимо, що

результати синтезу робастного керування значною мірою визначаються вектором контрольованих параметрів $\vec{z}(t)$.

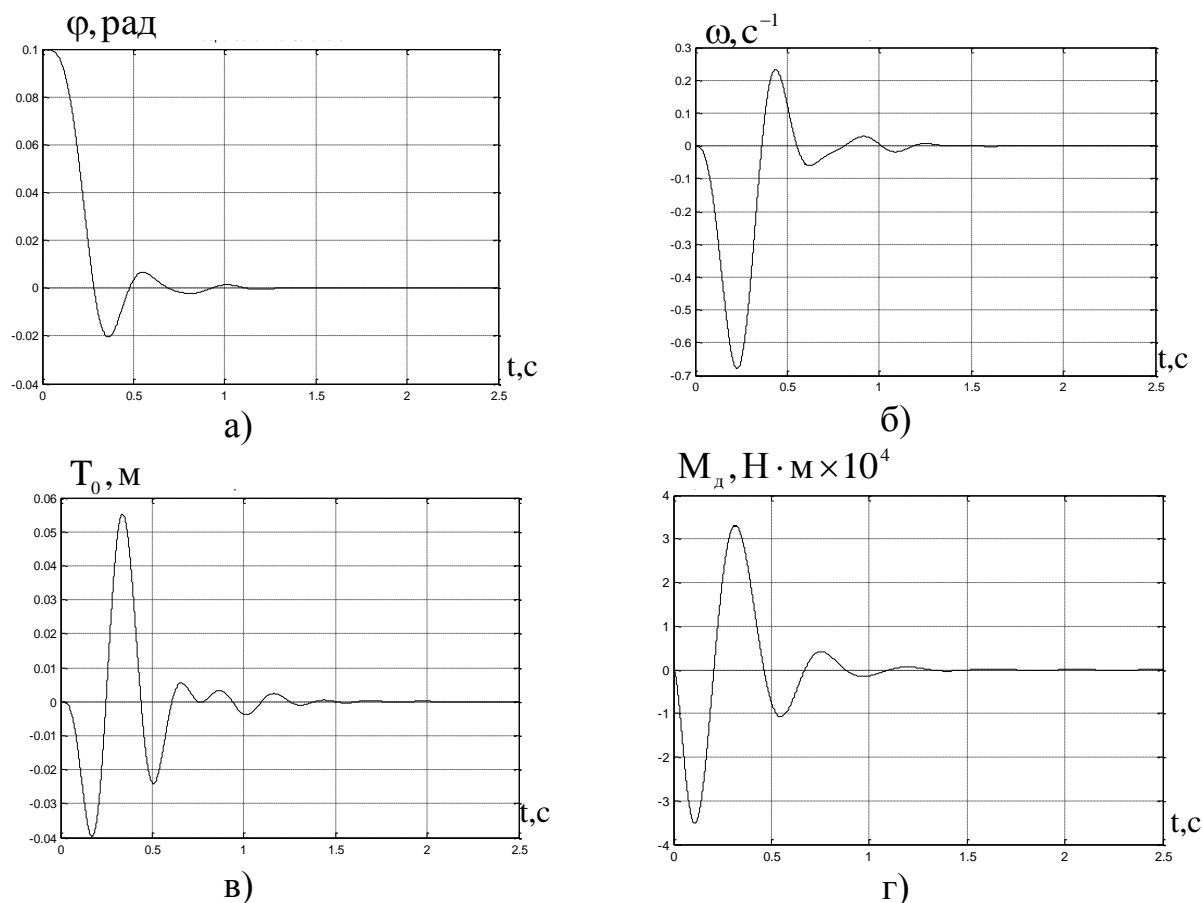


Рис. 2. Перехідні процеси змінних стану при відпрацюванні робастною системою розузгодження $\Delta\varphi=0,1$

При цьому роль вагових матриць грають B_1 і D_{12} . Зокрема, швидкодія системи значною мірою визначається відношенням значень елементів матриці B_1 до значень елементів матриці D_{12} . Чим вище це відношення, тим менша «вага» керування $u(t)$ у критерії якості, який визначається вектором контрольованих параметрів $\vec{z}(t)$, а, отже, і тим більше швидкодія системи керування.

Розглянемо тепер синтез цифрового робастного керування системою. Сучасні системи керування реалізуються на мікропроцесорній елементній базі і, дана система стає дискретною.

Для дискретної системи різницеве рівняння стану, вектор контрольованих параметрів $\vec{z}(k)$ і вектор вимірюваних змінних $\vec{y}(k)$ по аналогії із (15)-(17) записано у стандартній формі, прийнятій в H^∞ теорії

$$\vec{x}(k+1) = A\vec{x}(k) + B_1\vec{w}_1(k) + B_2\vec{u}(k), \quad (22)$$

$$\vec{z}(k) = C_1\vec{x}(k) + D_{11}\vec{w}_1(k) + D_{12}\vec{u}(k), \quad (23)$$

$$\vec{y}(k) = C_2\vec{x}(k) + D_{21}\vec{w}_1(k) + D_{22}\vec{u}(k). \quad (24)$$

У вектор контрольованих параметрів $\bar{z}(k)$ входять кут $\phi(k)$ і швидкість зміни кута $\dot{\phi}(k)$ відхилення напрямку осі об'єкту керування від заданого напрямку, відхилення $T_0(k)$ і швидкість відхилення $\dot{T}_0(k)$ осі об'єкту керування від недеформованого стану, вихідну напругу інтегратора $z(k)$ і керування $u(k)$.

У вектор вимірюваних змінних включено вихідну напругу гіроскопічних датчиків кута $\phi(k)$ і кутової швидкості $\dot{\phi}(k)$, а також вихідну напругу інтегратора вимір з перешкодами $f_i(k)$ так, що

$$\phi_u = \phi + f_\phi, \dot{\phi}_u = \dot{\phi} + \dot{f}_\phi, z_u = z + f_z.$$

У вектор зовнішніх збурень $\bar{w}(k)$ входять задане значення кутового положення ϕ_3 , вхідний сигнал v_x формуючого фільтру подовжньо-кутових переміщень корпусу об'єкта керування, а також подовжньо-кутових коливань об'єкту керування, вхідний сигнал v_f прискорення корпусу об'єкту, що формує фільтри, відносно його вертикальної осі, прикладеного до розподілених мас стовбура, що викликає пружні коливання, перешкоди f_ϕ , \dot{f}_ϕ виміри кутів ϕ_u кутових швидкостей $\dot{\phi}$ відхилення напрямку об'єкту керування від заданого напрямку, а також перешкоди виміру f_z вихідної напруги інтегратора z .

Тоді цифровий робастний регулятор і цифровий робастний спостерігач є цифровий робастний компенсатор, входом якого є вимірюваний вектор початкової системи $\bar{y}(k)$, а виходом є вектор керування початкової системи $\bar{u}(k)$.

Робастний компенсатор з матрицями A_p , B_p , C_p , D_p описується наступним рівнянням стану

$$\bar{x}_p(k+1) = A_p \bar{x}_p(k) + B_p \bar{y}(k), \quad (25)$$

$$\bar{u}(k) = C_p \bar{x}_p(k) + D_p \bar{y}(k). \quad (26)$$

Знаходження матриць A_p , B_p , C_p пов'язана із рішенням узагальнених дискретних рівнянь Ріккати по керуванню і фільтрації, що еквівалентно знаходженню спектрів матриць Гамільтону по керуванню

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} I & \Delta B_\delta \bar{R}_\delta^{-1} B_\delta^T \\ 0 & I + \Delta A_m \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_m & -B_\delta \bar{R}_\delta^{-1} B_\delta^T \\ -Q_m & -A_m^T \end{bmatrix} \quad (27)$$

і по фільтрації

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} I & \Delta \hat{C}^T \hat{R}_\delta^{-1} \hat{C} \\ 0 & I + \Delta \hat{A}_m \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{A}_m^T & -\hat{C}^T \hat{R}_\delta^{-1} \hat{C} \\ -\hat{Q}_m & -\hat{A}_m \end{bmatrix}. \quad (26)$$

В якості прикладу на рис. 3 показані перехідні процеси компонент вектору стану замкнутої системи: кута $\phi(k)$ відхилення між заданим і фактичним напрямками об'єкту керування і його швидкості $\dot{\phi}(k)$, значення функції $T_0(k)$ у представленні функції $y(x, t)$, що характеризує відхилення точок осі об'єкту керування від його недеформованого стану, і швидкості її зміни $\dot{T}_0(t)$, моменту

двигуна $M_o(k)$ і швидкості його зміни $\dot{M}_o(k)$ при відпрацюванні системою заданого розузгодження $\Delta\varphi=0,1$ між заданим і фактичним напрямками.

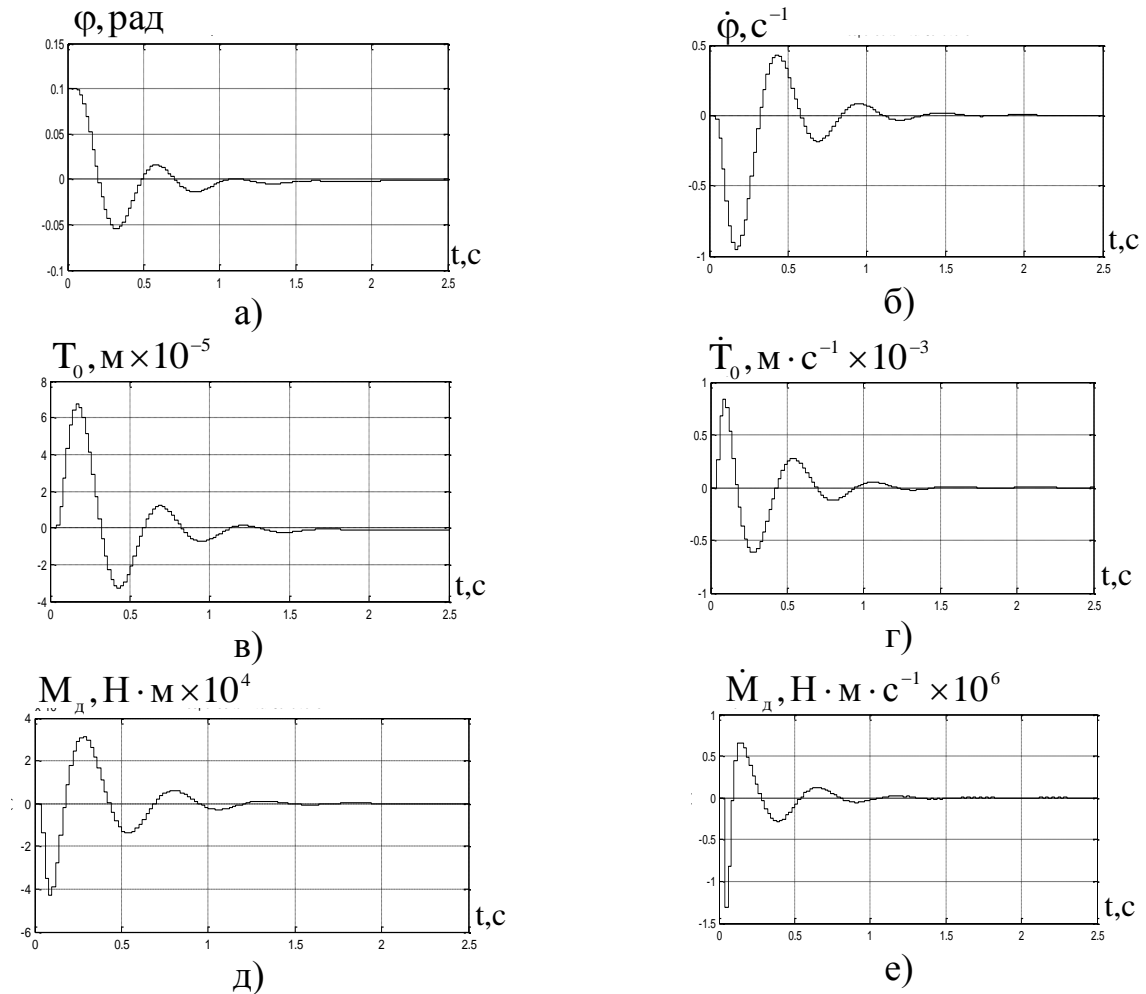


Рис. 3. Перехідні процеси змінних стану при відпрацюванні цифровою робастною системою розузгодження $\Delta\varphi=0,1$

Четвертий розділ присвячений синтезу робастної системи при випадкових зовнішніх діях. Електромеханічна система із розподіленими параметрами механічної частини працює в умовах випадкових зовнішніх збурень, параметри яких добре вивчені, і, природно, цю інформацію доцільно використовувати при синтезі системи керування.

У теперішній час інтенсивно розвивається теорія стохастичного робастного керування. Системи стохастичного робастного керування мають ряд переваг. По-перше, вони робастно стійкі, тобто зберігають стійкість при зміні параметрів об'єкту керування в певних межах. По-друге, вони мають істотно меншу чутливість до зміни параметрів об'єкту керування в порівнянні з оптимальними системами, не дивлячись на те, що динамічні характеристики стохастичних робастних систем можуть практично не відрізнятися від відповідних характеристик оптимальних систем.

Розглянута задача стохастичної робастної оптимізації системи, що мінімізує анізотропійну норму у формі простору станів. Рішення задачі стохастичної робастної оптимізації зводиться до обчислення трьох рівнянь Ріккати, рівняння Ляпунова і рівняння спеціального виду для обчислення рівня анізотропії вхідного сигналу. Цей регулятор формує керування на вхід системи по її вимірюваному виходу і є динамічний блок типу компенсатора, об'єднуючий робастний спостерігач і робастний регулятор аналогічно (25), (26).

Як приклад, на рис. 4 показані процеси зміни компонент вектору стану замкнутої системи: а) кута $\varphi(k)$ відхилення між заданим і фактичним напрямками об'єкту керування і б) $\dot{\varphi}^*$ його похідній; в) функції $T_0(k)$ і г) \dot{T}_0^* її похідній у вертикальній площині при випадкових зовнішніх діях при відробітку системою випадкового розузгодження між напрямом об'єкта керування і заданим напрямом.

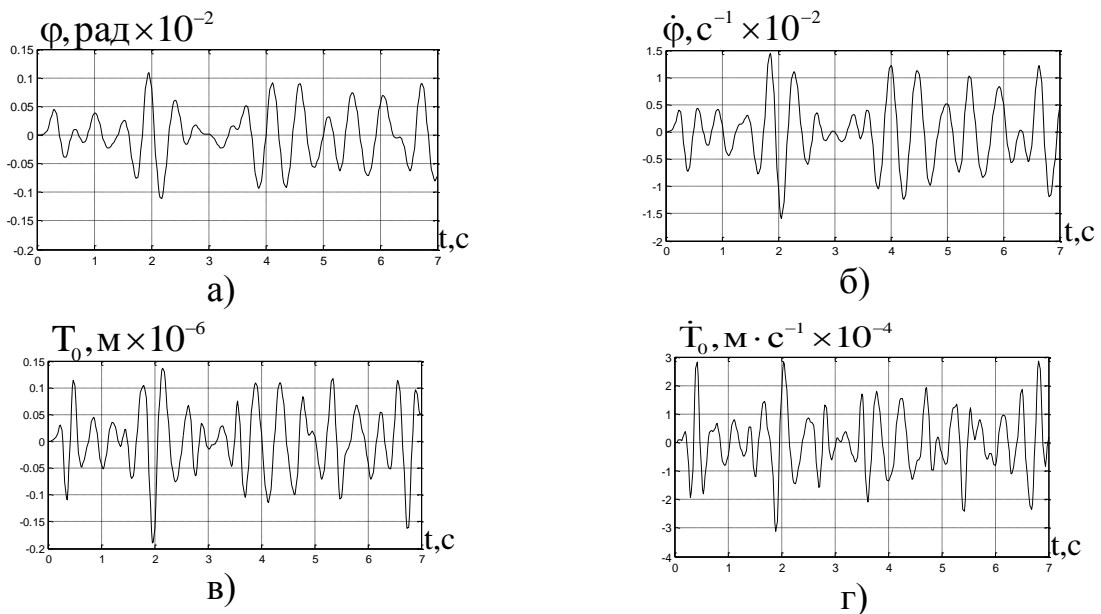


Рис. 4. Змінні стану стохастичної робастної системи при випадкових зовнішніх діях

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішення актуальної наукової задачі підвищення точності безперервного, цифрового і стохастичного робастного керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів об'єкту регулювання в ході роботи. В результаті проведених досліджень отримані наступні наукові результати:

1. В результаті аналізу існуючих методів керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході її роботи науково обґрунтована можливість підвищення точності роботи таких систем за рахунок застосування робастних регуляторів. Обрано напрямок дослідження для подальшого

підвищення точності керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей в ході її роботи і показані можливі шляхи розв'язання цієї проблеми.

2. Вдосконалено математичні моделі електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини як об'єктів робастних систем безперервного і цифрового керування з урахуванням пружних елементів і зміни параметрів моделей роботи системи як об'єктів керування робастної системи.

3. Досліджені динамічні характеристики електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини як об'єктів робастних систем безперервного і цифрового керування. Показано, що урахування електромеханічної системи як об'єкту із розподіленими параметрами механічної частини приводить до виникнення високочастотних коливань в перехідних процесах. Проаналізовано вплив параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання на їх динамічні характеристики. Встановлено, що в перехідних процесах виникають коливання частотою 14 Гц, що відповідає експериментальним даним.

4. Обґрунтована необхідність синтезу і синтезовані робастні безперервні і цифрові регулятори електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини. Вектори мети робастних систем безперервного і цифрового керування підібрані так, щоб забезпечити вимоги до динамічних характеристик, які пред'являються до електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини.

5. Досліджені динамічні характеристики синтезованих систем безперервного і цифрового керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини з робастними регуляторами. Показано, що урахування пружних елементів приводить до виникнення в перехідних процесах робастних регуляторів високочастотних коливань порівняно невеликої амплітуди з малим коефіцієнтом демпфування. Проаналізовано вплив параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини на динамічні характеристики робастних систем керування. Встановлено, що за допомогою синтезованих робастних регуляторів для вдосконалених математичних моделей вдається скоротити час перехідних процесів в 1,5-2 рази порівняно із системою з типовими регуляторами.

6. Синтезовані безперервні і цифрові робастні спостерігачі для відновлення повного вектору стану електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини по безпосередньо вимірюваних змінних стану для вдосконалених моделей об'єктів з урахуванням наявності пружних елементів. Робастні спостерігачі дозволяють відновлювати повний вектор змінних стану електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини, який використовується для реалізації робастного безперервного і цифрового керування по повному вектору стану. Досліджені динамічні характеристики робастних систем керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини, замкнених по повному вектору стану через синтезовані робастні спостерігачі. Показано, що динамічні характеристики робастних

систем із спостерігачами стану близькі до відповідних динамічних характеристик робастних систем, які замкнені робастними регуляторами по повному вектору стану з урахуванням зміни параметрів моделей електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини в ході її експлуатації.

7. Досліджена чутливість робастних регуляторів і робастних спостерігачів до зміни параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини і показана можливість спрощення технічної реалізації синтезованих робастних систем без додаткового підстроювання їх параметрів в процесі роботи і реалізувати основну парадигму робастного керування класом об'єктів за допомогою одного робастного регулятора. Встановлено, що при зміні параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини можна використовувати параметри одного робастного регулятора і одного робастного спостерігача, які синтезовані для одного центрального об'єкту керування, що підтверджує їх слабку чутливість до зміни параметрів об'єкту керування.

8. Розроблена методика синтезу стохастичних робастних регуляторів для керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини. За допомогою синтезованих стохастичних робастних регуляторів вдалося підвищити точність керування електромеханічною системою із розподіленими параметрами механічної частини і зменшити дисперсію похибки у 1,3 рази порівняно із типовими регуляторами, які використовуються у існуючих системах. при випадкових зовнішніх збуреннях. Подальше підвищення швидкодії точності керування стримується енергетичними обмеженнями приводних двигунів і інформаційними обмеженнями вимірювальних приладів. Наведені приклади динамічних характеристик синтезованих систем.

9. Результати дисертаційної роботи впроваджені в науково-виробничій корпорації «Київський інститут автоматики» та в навчальний процес кафедри автоматизованих електромеханічних систем НТУ «ХПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Буаклин Мохаммед Али. Модель дискретно-континуального об'єкта цифрової робастної системи управління / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, С.Н. Лутай, Л.Г. Кузнецова, Буаклин Мохаммед Али // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – №30. – С. 433-434.

Здобувачем одержані основні рівняння динаміки дискретно-континуального об'єкту керування робастної системи.

2. Буаклин Мохаммед Али. Синтез робастного управління електроприводом горизонтального наведення / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, Буаклин Мохамед Али // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – №7. – С. 81-91.

Здобувач сформулював та розв'язав задачу синтезу робастного керування електроприводом дискретно-континуального об'єкта у горизонтальній площині.

3. Буаклин Мохаммед Али. Синтез цифрового робастного управління електроприводом горизонтального наведення / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, Буаклин Мохаммед Али // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ», 2009. – №44. – С. 62-72.

Здобувач сформулював та розв'язав задачу синтезу цифрового робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у горизонтальній площині.

4. Буаклин Мохаммед Али. Синтез робастного управління дискретно-континуальним об'єктом в горизонтальній площині / [Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец, Л.Г. Кузнецова, А.В. Волошко, Буаклин Мохаммед Али] // Електроінформ. – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 473-474.

Здобувач розв'язав задачу синтезу робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у горизонтальній площині.

5. Буаклин Мохаммед Али. Стохастический синтез робастного управления дискретно-континуальным объектом в горизонтальной плоскости / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец, Буаклин Мохаммед Али, Л.Г. Кузнецова, А.В. Волошко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – №28. – С. 182-183.

Здобувач сформулював та розв'язав задачу стохастичного синтезу робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у горизонтальній площині.

6. Буаклин Мохаммед Али. Стохастический синтез цифрового робастного управления электроприводом вертикального наведения / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, А.В. Волошко, Буаклин Мохаммед Али // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – №29. – С. 35-43.

Здобувач розв'язав задачу стохастичного синтезу робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у вертикальній площині.

7. Буаклин Мохаммед Али. Математическая модель дискретно-континуального объекта робастной системы управления / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, С.Н. Лутай, Буаклин Мохаммед Али, Л.Г. Кузнецова // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XII МНТК. – Донецк: ДНТУ, 2008. – Том 2. – С. 185-189.

Здобувачем одержані основні рівняння динаміки дискретно-континуального об'єкту керування робастної системи.

8. Буаклин Мохаммед Али. Робастное управление электроприводом горизонтального наведения дискретно-континуального объекта / [Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, С.Н. Лутай, Л.Г. Кузнецова, Л.Б. Курцева, А.В. Волошко, Буаклин Мохаммед Али] // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XVI МНТК. – Донецк: ДНТУ, 2009. – Том 2. – С. 69-73.

Здобувач розв'язав задачу синтезу робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у горизонтальній площині.

9. Буаклин Мохаммед Али. Стохастическое цифровое робастное управление электроприводом горизонтального наведения дискретно-континуального объекта / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, Буаклин Мохаммед Али, С.Н. Лутай, Л.Г. Кузнецова, Л.Б. Курцева, А.В. Волошко // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XVII МНТК. – Донецк: ДНТУ, 2010. – Том 2. – С. 69-73.

Здобувач розв'язав задачу стохастичного синтезу робастного керування дискретно-континуальним об'єктом у горизонтальній площині.

АННОТАЦІЇ

Буаклін Мохамед Алі. Синтез робастної електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси і системи. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2011.

У роботі вирішено актуальне наукове завдання синтезу і дослідження динамічних характеристик робастної електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання. Сформовані критерії якості робастного керування, розроблена математична модель електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання, виконана перевірка розроблених моделей на адекватність реальним об'єктам, виконаний синтез безперервного, цифрового і стохастичного робастного керування, аналіз динамічних характеристик синтезованих систем. Показано, що синтезовані робастні регулятори і робастні спостерігачі мало чутливі до зміни параметрів електромеханічної системи із розподіленими параметрами механічної частини об'єкту регулювання.

Ключові слова: електромеханічна система, розподілені параметри механічної частини об'єкту регулювання, динамічні характеристики, робастне керування.

Буаклин Мохамед Али. Синтез робастной электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2011.

Работа посвящена решению научно-практической задачи разработки метода синтеза непрерывного, цифрового и стохастического робастного управления электромеханической системой с распределенными параметрами механической части объекта регулирования.

Усовершенствованы математические модели электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования как объектов робастных систем непрерывного, цифрового и стохастическо-

го управления с учетом упругих элементов и изменения параметров моделей электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования в ходе их эксплуатации.

Обоснована необходимость синтеза и синтезированы робастные непрерывные, цифровые и стохастические регуляторы электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования. Векторы цели робастных систем непрерывного и цифрового управления подобраны таким образом, чтобы обеспечить требования к динамическим характеристикам регуляторов электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования.

Исследованы динамические характеристики синтезированных робастных систем непрерывного, цифрового и стохастического управления электромеханической системой с распределенными параметрами механической части объекта регулирования с робастными регуляторами. Показано, что учет упругих элементов приводит к возникновению в переходных процессах робастных регуляторов высокочастотных колебаний сравнительно небольшой амплитуды с малым коэффициентом демпфирования. Установлено, что с помощью синтезированных робастных регуляторов для усовершенствованных математических моделей удастся сократить время переходных процессов в 1,5-2 раза по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

Синтезированы непрерывные, цифровые и стохастические робастные наблюдатели для восстановления полного вектора состояния электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования по непосредственно измеряемым переменным состояниям для усовершенствованных моделей электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования с учетом наличия упругих элементов.

Исследована чувствительность робастных регуляторов и робастных наблюдателей к изменению параметров электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования и показана возможность реализации синтезированных робастных систем без дополнительной подстройки их параметров в процессе работы и реализовать основную парадигму робастного управления классом объектов с помощью одного робастного регулятора. Установлено, что при изменении параметров электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования можно использовать параметры одного робастного регулятора и одного робастного наблюдателя, которые синтезированы для одного центрального объекта управления, что подтверждает их слабую чувствительность к изменению параметров электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования как объекта управления.

Разработана методика синтеза стохастических робастных регуляторов электромеханической системы с распределенными параметрами механической части объекта регулирования. С помощью синтезированных стохастических

робастных регуляторов удалось получить приемлемые показатели качества для электромеханической системы с распределенными параметрами механической

части объекта регулирования с учетом наличия упругих элементов. Дальнейшее повышение точности стабилизации сдерживается энергетическими ограничениями исполнительных устройств и информационными ограничениями измерительных приборов. Приведены примеры динамических характеристик синтезированных систем.

Ключевые слова: электромеханическая система, распределенные параметры механической части объекта регулирования, динамические характеристики, робастное управление.

Bouakline Mohamed Ali. Robust control synthesis by electromechanics system with distributed parameter systems of plant mechanical part. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of engineering science on speciality 05.09.03 – electrical engineering complexes and systems. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2011.

The dissertation is devoted the solution of robust control synthesis by electromechanics system with distributed parameter systems of plant mechanical part.

The mathematical models of horizon and vertical electric drive by electromechanics system taking into account elastic elements in distributed parameter systems of plant mechanical part are developed.

The task of synthesis of robust regulators and robust observers is decided for a control electric drive with elastic elements as plant with distributed parameter systems of plant mechanical part is developed.

By the synthesized robust regulator high quality is secured of adjusting. It is shown that the synthesized robust regulators and robust observers are small sensible to the change of parameters of electromechanics system with distributed parameter systems of plant mechanical part

Keywords: electromechanics system, distributed parameter systems of plant mechanical part, dynamic characteristics, robust control.

