



# НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

## АВТОМАТИКА AUTOMATICS-2013

# МАТЕРІАЛИ

**XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ,  
присвяченої 100-річчю  
з дня народження  
академіка НАНУ О. Г. Івахненка**

**25-27 вересня 2013 р.**



**Миколаїв ■ 2013**

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ КОМІТЕТ РОСІЇ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В. М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН І ДКА УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ І СИСТЕМ НАН І МОН УКРАЇНИ  
МОСКОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені М. В. ЛОМОНОSOVA  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала МАКАРОВА  
АКАДЕМІЯ НАУК СУДНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ

## **АВТОМАТИКА / AUTOMATICS – 2013**

**XX Міжнародна конференція з автоматичного управління, присвячена 100-річчю з дня народження академіка О. Г. Івахненка**

# **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

25–27 вересня 2013 року

*Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова,  
пр. Героїв Сталінграда, 9*

УДК 004.9+681.5+681.7+519.8

ББК 32.97

А 34

## ОРГАНІЗАТОРИ

Національна академія наук України

Міністерство освіти і науки України

Українська Асоціація з автоматичного управління

Національний комітет Росії з автоматичного управління

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

Інститут космічних досліджень НАН і ДКА України

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
і систем НАН і МОН України

Московський державний університет імені М. В. Ломоносова

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Академія наук суднобудування України

**Матеріали публікуються за оригіналами, які представлені авторами.  
Претензії щодо змісту та якості матеріалів не приймаються.**

**Відповідальний за випуск:**

Тимченко В. Л.

ISBN 978-966-321-263-0

А 34 **Автоматика / Automatics – 2013** : Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління, 25–27 вересня 2013 р. — Миколаїв : НУК, 2013. — 384 с.

У виданні зібрано матеріали Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління, присвяченої 100-річчю з дня народження академіка НАНУ О. Г. Івахненка.

УДК 004.9+681.5+681.7+519.8

ББК 32.97

ISBN 978-966-321-263-0

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2013

# МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

## Співголови:

Кунцевич В.М., проф. (Україна, Київ)  
Куржанський О.Б., проф. (Росія, Москва)

## Члени комітету:

Васільєв С.М.,	проф. (Росія, Москва)
Войнаровски Й.,	проф. (Польща, Глівіце)
Гил-Лафуенте А.М.,	проф. (Іспанія, Барселона)
Гриценко В.І.,	проф. (Україна, Київ)
Губарев В.Ф.,	проф. (Україна, Київ)
Кацпшик Я.,	проф. (Польща, Варшава)
Кондратенко Ю.П.,	проф. (Україна, Миколаїв)
Ковальов О.М.,	проф. (Україна, Донецьк)
Кривонос Ю.Г.,	проф. (Україна, Київ)
Куценко О.С.,	проф. (Україна, Харків)
Ладанюк А.П.,	проф. (Україна, Київ)
Лебедєв Д.В.,	проф. (Україна, Київ)
Любчик Л.М.,	проф. (Україна, Харків)
Пряшніков Ф.Д.,	проф. (Україна, Севастополь)
Рижков С.С.,	проф. (Україна, Миколаїв)
Саймон Д.,	проф. (США, Клівленд)
Сопронюк Ф.О.,	проф. (Україна, Чернівці)
Тодорцев Ю.К.,	проф. (Україна, Одеса)
Чикрій А. О.,	проф. (Україна, Київ)
Ягер Р.Р.,	проф. (США, Нью Йорк)

# МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

## Співголови:

Кунцевич В.М., проф. (Україна, Київ)  
Куржанський О.Б., проф. (Росія, Москва)

## Члени комітету:

Васільєв С.М.,	проф. (Росія, Москва)
Войнаровски Й.,	проф. (Польща, Глівіце)
Гил-Лафуенте А.М.,	проф. (Іспанія, Барселона)
Гриценко В.І.,	проф. (Україна, Київ)
Губарев В.Ф.,	проф. (Україна, Київ)
Кацпшик Я.,	проф. (Польща, Варшава)
Кондратенко Ю.П.,	проф. (Україна, Миколаїв)
Ковальов О.М.,	проф. (Україна, Донецьк)
Кривонос Ю.Г.,	проф. (Україна, Київ)
Куценко О.С.,	проф. (Україна, Харків)
Ладанюк А.П.,	проф. (Україна, Київ)
Лебедєв Д.В.,	проф. (Україна, Київ)
Любчик Л.М.,	проф. (Україна, Харків)
Пряшніков Ф.Д.,	проф. (Україна, Севастополь)
Рижков С.С.,	проф. (Україна, Миколаїв)
Саймон Д.,	проф. (США, Клівленд)
Сопронюк Ф.О.,	проф. (Україна, Чернівці)
Тодорцев Ю.К.,	проф. (Україна, Одеса)
Чикрій А. О.,	проф. (Україна, Київ)
Ягер Р.Р.,	проф. (США, Нью Йорк)

33. Никитина Т. Б., Татарченко М. О. «Синтез комбинированных систем стохастического робастного управления».....	199
34. Олійник Р. В. «Спеціалізація СІР4 для управління розподіленою мережевою інфраструктурою поліграфічного підприємства». ....	201
35. Беглов К. В. «Анализ свойств энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 при регулировании мощности». ....	202
36. Коврыженко Д. В. «Моделирование динамики открывающего регулятора расхода сжатого воздуха по уровню давления управляющего сигнала». ....	203
37. Пастушенко В. Й., Стеценко А. М. «Керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур з врахуванням дії випадкових збурюючих факторів». ....	205
38. Барсуков А. И., Кошулян С. Д., Пурич Д. А. «Оптимизация структуры сложных объектов после восстановления». ....	207
39. Черно А. А., Гуров А. П. «Управление резонансным электромагнитным вибрационным приводом на основе алгоритма дискретного преобразования Фурье».....	209
40. Назарова Н. С., Вінниченко Д. В. «Гібридна система керування генераторів імпульсних струмів для розряднімпульсної штамповки».....	211
41. Радченко В. П., Щербина Г. С., Тригуб И. Г. «Автоматизированная система стабилизации толщины проката на среднесортных станах».....	212
42. Суздаль В. С., Етифанов Ю. М., Козьмин Ю. С. «Синтез робастного линейно-квадратичного управления для многомерного процесса кристаллизации». ....	214
43. Романов М. С. «Побудова моделі автоматичного керування технологічним комплексом пивзаводу із застосуванням графодинамічного підходу». ....	216
44. Караченец Д. В. «Управление перекачкой нефти в сети магистральных нефтепроводов».....	218
45. Селиванова А. В., Мазурок Т. Л. «Автоматизация управления обобщенной холодильной установкой».....	220
46. Хлопенко Н. Я., Гаврилов С. А. «Моделирование переходных процессов в асинхронном электроприводе с вязкоупругой связью и управляемой электромагнитной муфтой». ....	222
47. Чубик Р. В., Горбатюк Р. М., Мокрицький Р. Б. «Адаптивне керування процесами у вібрмашинах для віброабразивної обробки деталей». ....	223



# Синтез комбинированных систем стохастического робастного управления

Т.Б. Никитина, М.О. Татарченко

*Annotation* – A method of combined systems synthesis of stochastic robust control, allowing to use most complete present information about the referent and disturbance influence for the rise of high exactness of control is offered. An example of dynamic descriptions comparison of synthesized robust control system with anisotropic regulator and system with the model regulator is resulted. It is shown, that the application of robust regulators of the two-mass electromechanics system allowed to decrease of control rotation speed error of mechanism approximately in two times.

*Key words:* combined control, stochastic robust control, structure of the stochastic robust combined system.

## I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗЬ С НАУЧНЫМИ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ

Центральной проблемой современной теории и практики автоматического управления является создание систем, способных обеспечивать высокую точность управления при интенсивных задающих и возмущающих воздействиях широкого спектра частот.

## II. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Синтез систем комбинированного управления, у которых сочетается принцип управления по разомкнутому и замкнутому контуру, позволяет получать точность, недостижимую в классических системах только с обратной связью [1-2]. В последнее время в ряде отечественных и зарубежных работ появилось направление по созданию систем комбинированного управления на основе синтеза систем робастного управления, в которых используется управление как по разомкнутому, так и по замкнутому контуру – т.е., по сути – комбинированное управление. Такое управление в англоязычной литературе называется «2-degree-of-freedom  $H_\infty$  design» – робастное управление удвоенной размерности степени свободы [3-5]. Однако в этих работах не рассмотрены вопросы синтеза стохастических систем комбинированного робастного управления.

## III. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является разработка методики синтеза комбинированных систем стохастического робастного управления, у которых используется информация о задающем и возмущающем воздействиях для минимизации анизотропийной нормы системы. Задачей статьи является синтез и исследование динамических характеристик стохастической робастной системы управления электромеханической системой.

## IV. МЕТОД РЕШЕНИЯ

В системах комбинированного управления синтез контура обратной связи выполняется для обеспечения устой-

чивости и заданных показателей качества регулирования. Синтез разомкнутого контура регулирования по заданию осуществляется из условия, чтобы передаточная функция от задающего воздействия до выходной координаты системы была бы равна желаемой передаточной функции, в частности, для следящих систем, равной единице, что соответствует комбинированному управлению по задающему воздействию.

Синтез разомкнутого контура регулирования по возмущению выполняется из условия, чтобы передаточная функция от возмущающего воздействия до выходной координаты системы была бы тождественно равна нулю. Заметим, что условие инвариантности по задающему воздействию может быть записана в форме тождественного равенства нулю передаточной функции ошибки отработки системой задающего воздействия.

Одним из интенсивно развивающихся подходов к синтезу робастных систем управления является синтез регуляторов, минимизирующих анизотропийную норму вектора цели управления [3]. Введем в вектор цели стохастического робастного управления ошибку отработки системой задающего воздействия и ошибку компенсации возмущающего воздействия с соответствующими весами. В векторе цели стохастического робастного управления введем также переменные состояния системы, которые необходимо ограничивать, либо которые влияют на качественные показатели работы системы. Кроме того, в вектор цели обязательно включим управляющее воздействие, которое также необходимо ограничивать при синтезе робастного управления. Все эти компоненты берутся с определенными весами, которые определяются в процессе синтеза робастного управления.

Введем вектор состояния расширенной системы, включающий вектор состояния объекта управления и вектора состояния моделей задающего и возмущающего воздействий. Введем вектор внешних воздействий, компонентами которого являются вектора, возбуждающие модели формирующих фильтров векторов задающего и возмущающего воздействий, а также помех измерения векторов задающих и возмущающих воздействий, а также помех измерения векторов выхода исходного объекта управления и доступных для измерения векторов состояния объекта управления.

При таком подходе для формирования управления используется информация о задающем и возмущающем воздействиях для получения минимальной анизотропийной нормы ошибки отработки системой задающего воздействия и компенсации возмущающего воздействия. При этом условия инвариантности фактически формулируются в виде минимизации анизотропийной нормы передаточной функции ошибки отработки системой задающего воздействия и анизотропийной нормы передаточной

функции компенсации системой возмущающего воздействия.

Решение задачи стохастической робастной оптимизации сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала [3]. Для решения уравнения Риккати используется алгоритм для нахождения обобщенных собственных векторов Шура, а для решения уравнения Ляпунова используется алгоритм Шура для унитарной триангуляции матрицы.

## V. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим экспериментальные характеристики двухмассовой электромеханической системы. Механическая часть системы выполнена на базе двух однотипных двигателей, валы которых соединены упругой передачей. Рассмотрим результаты моделирования системы стабилизации скорости вращения двух массовой электромеханической системы при действии случайного изменения момента сопротивления, который формируется с помощью второго двигателя, на вход которого подается случайное изменение напряжения от генератора случайных чисел с помощью формирующего фильтра.

На рис. 1 показаны реализации случайных процессов скорости вращения механизма двухмассовой электромеханической системы а) с типовым регулятором и б) с робастным регулятором. Как видно из этих рисунков, применение робастных регуляторов позволило уменьшить ошибку регулирования скорости вращения механизма примерно в два раза.

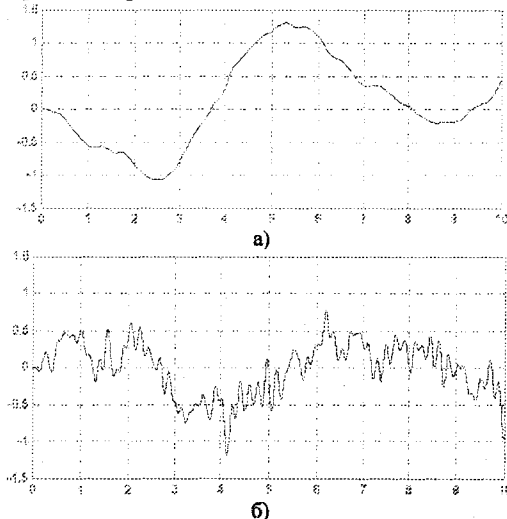


Рис. 1. Экспериментальные переходные процессы скорости вращения механизма двухмассовой электромеханической системы

## VI. ВЫВОДЫ

Для повышения точности систем управления в работе рассматривается синтез анизотропных регуляторов комбинированных систем робастного управления электромеханическими системами, с помощью которых ми-

нимизируется анизотропная норма в форме пространства состояний. При этом фактически используется комбинация стохастической нормы системы и средней анизотропии случайного сигнала, что и приводит к одному варианту стохастической нормы - анизотропной нормой. Такой регулятор формирует управляющее воздействие на вход системы по ее измеряемому выходу и представляет собой динамический блок типа компенсатора, объединяющий робастный наблюдатель и робастный регулятор.

При синтезе стохастического робастного управления эффект комбинированного управления определяется тем, что используются вся имеющаяся информация о возмущении и возмущающем воздействии. Причем при синтезе робастного управления учитываются поиски измерения этих сигналов, с помощью соответствующих технических устройств. Однако, в отличие от классического комбинированного управления, когда разомкнутые контуры управления по задающему и возмущающему воздействиям синтезируются отдельно, независимо друг от друга и, как правило, после синтеза контура обратной связи, при робастном управлении синтез контуров разомкнутого и замкнутого управлений выполняется одновременно для минимизации анизотропной нормы вектора цели робастного управления.

Разработана методика синтеза анизотропного робастного регулятора комбинированной системы управления скоростью двухмассовой электромеханической системы. Приведен пример сравнения динамических характеристик синтезированной системы робастного управления с анизотропным регулятором и системы с типовым регулятором. Показано, что применение робастных регуляторов позволило уменьшить ошибку регулирования скорости вращения механизма примерно в два раза.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Кунцевич В.М. Инвариантность и квазиинвариантность систем управления / В.М. Кунцевич // Праці міжнародної конференції «50 років інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України». – Київ: інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – 2008. – С. 61-74.
- [2] Кунцевич В.М. Квазиинвариантность, робастність и адаптація в системах управління / В.М. Кунцевич // Труды научного семинара «70 – лет теории инвариантности». Москва, 2 июня 2008 г. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 61 – 90.
- [3] D.-W. Gu, P.Hr. Petkov, Konstantinov M.M. Robust Control Design with MATLAB. – Springer, 2005. – 389 p.
- [4] D. Hoyle, R. Hyde, D.J.N. Limebeer. An  $H^\infty$  approach to two-degree-of-freedom design. In Proceedings of the 30 th IEEE Conference on Decision and Control. – 1991. – P. 1581-1585.
- [5] D.J.N. Limebeer, E.M. Kasenally, J.D. Perkins. On the design of robust two degree of freedom controllers. Automatica – 1993. – №29. P. 157 – 163.



Наукове видання

# **АВТОМАТИКА / AUTOMATICS – 2013**

Міжнародна конференція  
з автоматичного управління

25–27 вересня 2013 р

## **МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

*(українською, російською та англійською мовами)*

Відповідальний за випуск *Тимченко В. Л.*

Комп'ютерне верстання *Торубара В. В.*

Дизайн обкладинки *Торубара В. В.*

Макетування *Мазанко В. Г.*

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 44,6. Тираж 150 прим. Зам. № 330.

---

Видавець і виготівник

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail: [publishing@nuos.edu.ua](mailto:publishing@nuos.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.