

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

к.філос.н., проф.

Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО

“ 12 ” березня 2024 р.



ВИТЯГ

з протоколу № 9 від 28 лютого 2024 р. наукового семінару
кафедри Математичних методів системного аналізу
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри математичних методів системного аналізу: доцент кафедри к.ф.-м.н., доцент Барановська Л. В., професор кафедри д.ф.-м.н., професор Бондаренко В. Г., професор кафедри д.т.н., професор Бідюк П. І., доцент кафедри, к.ф.-м.н., доцент Бохонов Ю. Є., доцент кафедри, к.т.н., доцент Голінко І. М., професор кафедри д.т.н., професор Губарєв В. Ф., професор кафедри д.т.н., доцент Зайченко О. Ю., професор кафедри д.т.н., професор Зайченко Ю. П., асистент кафедри Канцедал Г. О., к.ф.-м.н., с.н.с. Кірік О. Є., професор кафедри д.т.н., доцент Кузнецова Н. В., асистент кафедри Левенчук Л. Б., доцент кафедри д.т.н. Мілявський Ю. Л., здобувач Міщенко М. Д., професор кафедри д.т.н., доцент Недашківська Н. І. доцент кафедри, к. ф. - м. н., доцент Подколзін Г. Б., провідний фахівець навчально-організаційного відділу Рожок О. М., заст. директора НН ІПСА з науково-педагогічної роботи, професор кафедри д.т.н., професор Романенко В. Д., старший викладач кафедри, к.т.н. Савастьянов В. В., доцент кафедри, к.т.н. Савченко І. О., доцент кафедри, к.ф.-м.н. Статкевич В. М., доцент кафедри, к.ф.-м.н. Стусь О. В., професор кафедри д.т.н., доцент Терентьєв О.М., аспірант Тищков М. О., доцент кафедри к.ф.-м.н., доцент Шубенкова І. А, доцент кафедри к. ф.-м.н., доцент Чаповський Ю. А., доцент кафедри к.ф.-м.н., доцент Яковлева А. П.

- з кафедри штучного інтелекту: доцент кафедри к.т.н., доцент Бендюг Б. І., професор кафедри д.т.н., професор Данилов В. Я., доцент кафедри к.т.н., доцент Комариста Б. М.;

- з кафедри системного проектування: аспірант Кузьменко О. В.

Запрошені з інших організацій:

- з Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Житецький Л. С.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення здобувача кафедри математичних методів системного аналізу Міщенка Михайла Дмитровича за матеріалами дисертаційної роботи «Керування за прогнозною моделлю у лінійних дискретних системах», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз Освітньо-наукова програма Системний аналіз.

Тему дисертаційної роботи «Керування за прогнозною моделлю у лінійних дискретних системах» затверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу (протокол № 11 від 30 листопада 2020 року).

Науковим керівником затверджений доктор технічних наук, професор Губарев В. Ф.

2. Запитання до здобувача

Запитання по темі дисертації ставили:

д.т.н., професор Данилов В. Я.,
д.т.н., доцент Зайченко О. Ю.,
д.т.н., професор Зайченко Ю. П.,
к. т. н., с.н.с. Житецький Л. С.,
д.т.н., професор Романенко В. Д.,
к.т.н., доцент Яковлева А. П.

3. Виступи за обговореною роботою

В обговоренні дисертації взяли участь:

д.т.н., професор Данилов В. Я.,
к. т. н., с.н.с. Житецький Л. С.,
д.т.н. Мілявський Ю. Л.,
д.т.н., професор Романенко В. Д.,
к.т.н., доцент Тимощук О. Л.,
к.т.н., доцент Яковлева А. П.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Дослідження присвячене розробці алгоритмів оптимального керування лінійними системами в дискретному часі (ЛСДЧ) побудованих на принципах, суттєво відмінних від класичної теорії керування.

Модель ЛСДЧ широко застосовується у інженерії, адже вона придатна для опису динаміки широкого класу технічних систем, зокрема різноманітного промислового устаткування, механізмів та машин. У свій час ця модель дозволила створювати для них відповідні керуючі пристрої на основі математичного апарату теорії керування. Ця модель також виявилася придатною для опису різноманітних нерукотворних систем з метою керування ними. У зв'язку з цим отримані в рамках дослідження алгоритми придатні до застосування щодо керування широким класом систем і є альтернативними до алгоритмів на базі теорії керування.

Закладений в основу розроблених алгоритмів принцип термінального керування дозволяє стабілізувати систему за найшвидшою можливою траєкторією з урахуванням обмежень на величини керівних сигналів. Це дозволяє не тільки пришвидшити стабілізацію системи, а й забезпечити більшу надійність керування нестійкими системами.

Запропонований спосіб конструювання алгоритму дозволяє враховувати у керуванні другорядні по відношенню до стабілізації цілі. Це дозволило, зокрема, побудувати алгоритм цілеспрямованого керування імпульсною когнітивною картою, який дозволяє до певної міри наперед обирати її цільовий стан.

Ці та інші властивості розроблених алгоритмів дозволяють також застосовувати їх до систем із особливостями, які роблять проблематичним застосування класичної теорії керування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами Дослідження пов'язане з наступними темами:

Робота виконувалась на кафедрі математичних методів системного аналізу Навчально-наукового інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», а також, у рамках НДР у Інституті космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України:

1. Методи та алгоритми ідентифікації динамічних космічних систем за даними наземних і супутникових вимірів. Номер держреєстрації 0122U002169 (01 березня 2020 р. - 31 грудня 2023 р.) / [В. Ф. Губарев, С. В. Мельничук, М. М. Сальников та ін.]

2. Моделювання та керування у космічних системах з зосередженими та розподіленими параметрами Номер держреєстрації 0122U200366 (з 01 січня

2022 р. по 31 грудня 2026 р.) / [В. Ф. Губарев, С.В. Мельничук, М.М. Сальников та ін.]

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

- розроблено метод стабілізаційного керування ЛСДЧ на основі прогностичної моделі, який відрізняється тим, що застосовує розв'язання оптимізаційних задач у реальному часі для синтезу керувань. Це забезпечує можливість у явному вигляді врахувати обмеження на величини сигналів керування та інші нетривіальні та нестандартні обмеження. Також це дозволяє за потреби виконувати додаткові задачі, вторинні щодо основної задачі стабілізації. Розроблений метод відрізняється тим, що не потребує врахування природи невизначеності, яка може бути присутньою в системі. Ці його властивості є суттєвою перевагою перед методами, розробленими раніше на основі теорії керування;

- запропоновано процедуру побудови цільової функції задачі пошуку найкращої траєкторії на основі структурного аналізу системи. Побудована у цей спосіб цільова функція дозволяє знаходити ефективне стабілізаційне керування на обмеженому горизонті прогнозування;

- розроблено метод цілеспрямованої стабілізації імпульсних когнітивних карт, який забезпечує одночасну стабілізацію їх імпульсів разом з приведенням стану до наперед обраного значення і відрізняється використанням оригінальної реалізації зворотнього зв'язку. Описано множину кінцевих станів імпульсної когнітивної карти, яких можливо досягти одночасно зі стабілізацією її імпульсів;

- запропоновано спосіб модифікації методу найменших квадратів (МНК) для оцінки стану системи на основі непрямих вимірювань на обмеженому історичному горизонті в ситуації, коли характер дії зовнішніх збурень на цю систему є нестандартним. Спосіб відрізняється тим, що базується на представленні МНК у вигляді задачі квадратичної оптимізації з метою подальшої зміни структури цієї задачі. Як приклад, розроблено модифікацію МНК для випадку, коли зовнішні збурення діють безпосередньо на стан системи, а не на непрямі вимірювання.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення результатів роботи полягає у тому, що було запропоновано новий підхід до керування ЛСДЧ. Було описано і обґрунтовано застосування цільових функцій із гіпердійсними ваговими коефіцієнтами для синтезу послідовностей керування. У рамках цього підходу було розроблено алгоритм цілеспрямованого керування імпульсними когнітивними картами, що дозволяє в межах можливого приводити систему в бажаний стан під час стабілізації її імпульсів використовуючи оригінальну реалізацію зворотнього зв'язку. Було запропоновано підхід до конструювання специфічних інтервальних оцінювачів стану, що дозволяє отримувати нові оцінювачі під специфічні моделі впливу збурень на систему, який безпосередньо оріє-

нтований на системи керування за прогнозною моделлю, використовуючи дані вимірювань на обмеженому горизонті назад.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у тому, що отримані результати відкривають можливості для розроблення нових контролерів, які задовольняють низку специфічних вимог, таких як задоволення обмежень на проміжні стани системи під час її стабілізації, задоволення обмежень на сигнали керування, а також виконання додаткових задач, вторинних щодо основної задачі стабілізації. Розроблений у межах дослідження алгоритм керування ЛСДЧ рекомендується застосовувати щодо пристроїв, для стабілізації стану яких традиційно використовувалися контролери, побудовані на базі математичного апарату теорії керування. Цей алгоритм здатний забезпечити мінімально можливий час стабілізації, а отже – і максимально швидку реакцію контролера на збурення, що впливають на систему, не порушуючи при цьому обмеження на величини сигналів керування. Ця характеристика стає особливо важливою в разі, коли система нестійка

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися:

1. Міщенко М. Д. Особливості стабілізаційного керування за прогнозною моделлю у лінійних системах. Семінар відділу управління динамічними системами Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України. доп. наук. сем. 2023. (м. Київ. 4 жовт. 2023);

2. Міщенко М. Д. Стабілізуюче управління за прогнозною моделлю в лінійних системах. *Міжнародний науковий семінар «Моделювання і оптимізація в транспорті і логістиці», присвячений пам'яті Д. І. Соломона.* доп. міжнар. наук. сем. 2023. (м. Київ. 10 жовт. 2023). URL: <https://incyb.kiev.ua/event/seminar-motl7-2023-10-10>.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Міщенка М. Д. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових публікацій, у тому числі:

- 3 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 124 Системний аналіз;

- 1 стаття у періодичному науковому виданні проіндексованому у базі Scopus;

- 2 статті у періодичних наукових виданнях України, що додатково відображають результати дисертації.

1. Міщенко М. Д. Структурнообумовлена задача оптимізації для керування за прогноною моделлю у лінійних системах із багатьма змінними та входами. *Проблеми керування та інформатики*. 2022. Т. 67, № 3. С. 22–36. DOI: <https://doi.org/10.34229/2786-6505-2022-3-2>.

2. Губарев В. Ф., Міщенко М. Д. Інтервальний оцінювач стану для лінійних систем з відомою структурою. *Проблеми керування та інформатики*. 2023. Т. 68, № 4. С. 5–23. DOI: <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-4-1>.

Здобувачем запропоновано застосування абсолютного числа обумовленості до вимірювання загальної точності інтервального оцінювача стану на основі МНК, спосіб вимірювання обґрунтовано з робастного та ймовірнісного поглядів, метод регуляризації інтервального оцінювача стану на основі МНК з обґрунтуванням його переваг та недоліків, спосіб визначення необхідного ступеню регуляризації на основі абсолютного числа обумовленості, спосіб модифікації інтервального оцінювача на основі МНК для нестандартних моделей впливу зовнішніх збурень на систему, який отримано згідно з ним модифікований оцінювач для випадку збурень, що впливають безпосередньо на стан; виконано обчислювальні експерименти з демонстрації залежності точності оцінювання від довжини інтервалу врахованих непрямих вимірювань для інтервального оцінювача на основі МНК та обчислювальні експерименти з метою порівняння точності оцінювання оцінювачем на основі МНК і його модифікацією для різних довжин інтервалу врахованих непрямих вимірювань.

3. Міщенко М. Д. Практичні аспекти керування за прогноною моделлю у лінійних системах та когнітивних картах. *Проблеми керування та інформатики*. 2023. Т. 68, № 5. С. 5–22. DOI: <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-5-1>.

4. Gubarev V. F., Mishchenko M. D., Snizhko B. M. Model Predictive Control for Discrete MIMO Linear Systems. *Advanced Control Techniques in Complex Engineering Systems: Theory and Applications. Studies in Systems, Decision and Control* / Ed. Kondratenko Y. P., Chikrii A. A., Gubarev V. F., Kacprzyk J. Cham : Springer, 2019. Vol. 203. P. 63–81. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21927-7_4 (Scopus).

Здобувачем запропоновано метод вичерпного пошуку в задачі оптимізації для синтезу повної стабілізаційної траєкторій; спосіб розв'язання задачі оптимізації в методі оптимальної цілі, для яких запропоновано порядок вичерпного пошуку розбиття індексів.

5. Міщенко М. Д., Губарев В. Ф. Методи керування за прогноною моделлю для дискретних систем з багатьма змінними та входами. *Кібернети-*

ка та обчислювальна техніка. 2020. Вип. 199, № 1. С. 39–58. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt199.01.039>.

Здобувачем виконано обґрунтування з робастного та ймовірнісного поглядів коректності застосування прогнозних траєкторій, отриманих за допомогою детерміністичної моделі, до недетерміністичних систем, сформулював і довів теореми про збіжність за скінченний час проміжних цілей за обмеженого горизонту прогнозування, запропоновано метод вичерпного пошуку в задачі оптимізації для синтезу повної стабілізаційної траєкторій, запропоновано спосіб розв'язання задачі оптимізації в методі оптимальної цілі, для яких запропоновано порядок вичерпного пошуку розбиття індексів, що відповідає розв'язку, виконана експериментальна перевірка частотності різних ситуацій, які виникають у процесі пошуку розбиття індексів, що відповідає розв'язку, сформульовані алгоритми застосування результатів вибору найкращої прогнозованої траєкторії до керування системою, а також проведена експериментальна демонстрація їх роботи.

6. Міщенко М. Д., Губарев В. Ф. Вибір довжини горизонту для керування за прогнозною моделлю у лінійних системах з багатьма змінними та входами. *Кібернетика та обчислювальна техніка*. 2021. Вип. 203, № 1. С. 39–59. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt203.01.039>.

Здобувачу належить ідея про залежність динаміки стабілізації системи від її структури, перевірці якої присвячена стаття, здобувач розробив дизайн обчислювального експерименту, провів його для систем із різною структурою, здобувачу належать ідея представлення результатів цього експерименту у вигляді теплової карти (англ. «heat map»), опис та аналіз результатів.

Якість та кількість публікацій відповідають «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Міщенка Михайла Дмитровича «Керування за прогнозною моделлю у лінійних дискретних системах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського Системний аналіз зі спеціальності 124 Системний аналіз.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Керування за прогножною моделлю у лінійних дискретних системах», подану Міщенком Михайлом Дмитровичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри штучного інтелекту КПІ ім. Ігоря Сікорського Данилов Валерій Якович;

Члени:

рецензенти:

доктор фізико-математичних наук, професор, директор ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського Касьянов Павло Олегович;

доктор технічних наук, доцент кафедри математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського Мілявський Юрій Леонідович;

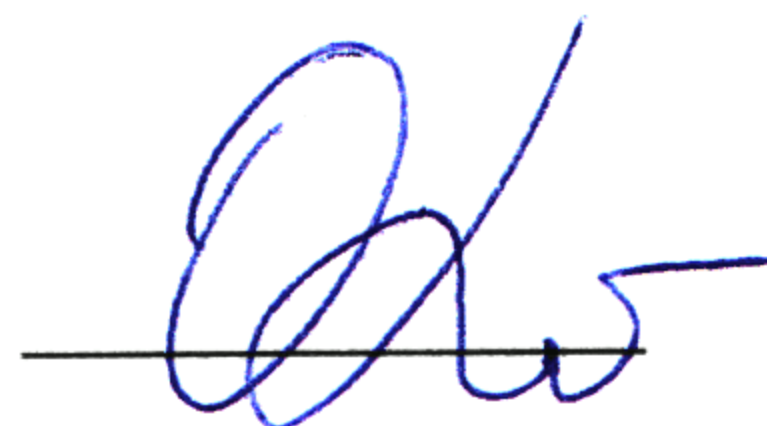
Опоненти:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу методів негладкої оптимізації Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України Стецюк Петро Іванович;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, в. о. завідувача відділу інтелектуальних автоматичних систем Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України Житецький Леонід Сергійович.

Головуюча на засіданні

к.т.н., доцент, завідувач кафедри математичних методів системного аналізу

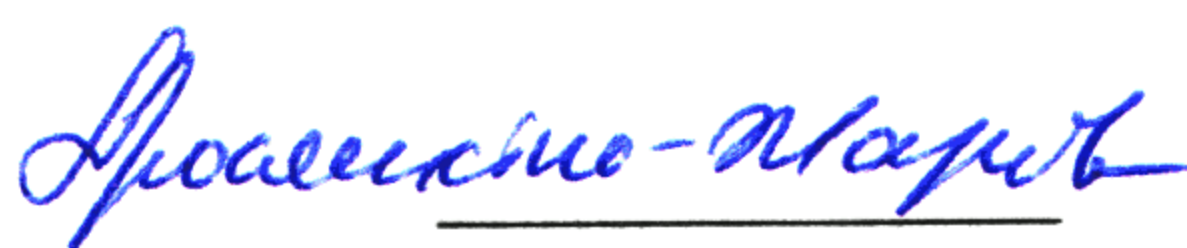


Оксана ТИМОЩУК

Вчений секретар кафедри

математичних методів системного аналізу

к.е.н., доцент



Тетяна ПРОСЯНКІНА-ЖАРОВА