

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Міщенко Михайла Дмитровича
на тему «**Керування за прогновною моделлю
у лінійних дискретних системах**»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань **12 Інформаційні технології**
за спеціальністю **124 Системний аналіз**

1. Актуальність теми дисертації

Існує досить велика кількість систем, які допускають формалізацію у вигляді систем з дискретним часом, причому ця узагальнююча модель виявилась адекватним формальним представленням для широкого класу систем, які наявні в навколишньому середовищі або утворені штучно. Традиційний підхід до керування лінійними системами в дискретному часі мають чимало недоліків. Зокрема, одним з них є те, що в реальних системах завжди наявні обмеження на значення керуючого сигналу в тій чи тій формі, що не можна врахувати в рамках теорії керування, зважаючи на особливості застосованого математичного апарату. Іншим недоліком є своєрідне розуміння задачі стабілізації, закладене в основу теорії керування. Ці недоліки в контексті сучасних викликів теорії керування відкривають широкий простір для модифікацій та вдосконалень наявних інструментів для розв'язання задачі стабілізації, а також розробки нових. Підсумовуючи сказане, можна стверджувати, що обрана тема дисертації, присвячена керуванню за прогновною моделлю в лінійних дискретних системах є безумовно актуальною.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що було розроблено новий метод керування лінійними системами, які функціонують у дискретному часі, на основі принципів керування за прогновною моделлю. Це дозволяє безпосередньо враховувати обмеження на величини сигналів керування, а також інші нестандартні обмеження. Метод обґрунтовано з використанням строгих математичних доведень, а також за допомогою обчислювальних експериментів.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Міщенка Михайла Дмитровича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 124 Системний аналіз та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Системний аналіз».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і містить певний особистий внесок здобувача у науковий напрям «Методи керування складними системами на основі прогнозних моделей».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Міщенка Михайла Дмитровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою і складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 191 сторінку.

У **вступі** наведено обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовано його мету і завдання; наведено перелік використаних методів дослідження з посиланнями на відповідні частини дисертації; описано суть наукової новизни дисертації та вказано особистий внесок здобувача; наведено інформацію про апробацію матеріалів дисертації; описано структуру та обсяг дисертації; наведено опис практичного значення отриманих результатів.

У **першому розділі** наведено постановку задачі у загальному вигляді, спільні для всієї дисертації означення та підходи, а також описано відмінність цих підходів від класичних.

У **другому розділі** описано і обґрунтовано з теоретичної точки зору найпростіший варіант керування лінійною системою, що функціонує в дискретному часі. Описаний у цьому розділі метод є радше зручною для теоретичного дослідження абстракцією, аніж методом, придатним до використання на практиці. Його метою може слугувати подальше покращення у наступних розділах.

Третій розділ присвячено розгляду ситуації, школи наявних обчислювальних ресурсів недостатньо для пошуку найкращої прогнозованої траєкторії стабілізації через те, що мінімальна довжина повної стабілізаційної траєкторії зовелика. Для таких ситуацій наведено деякі можливі стратегії пошуку керувань на обмежених горизонтах прогнозування, які дозволяють стабілізувати систему. Ці стратегії обґрунтовано шляхом доведення відповідних теорем. Також наведено і обґрунтовано оригінальний метод

розв'язання оптимізаційної задачі для знаходження такого оптимального керування на обмеженій довжині горизонту прогнозування.

У **четвертому розділі** пропонуються та обговорюються різні підходи до застосування згенерованих послідовностей керувань у петлі зворотного зв'язку при застосуванні щодо реальної системи. Запропоновані підходи проілюстровано у вигляді алгоритмічних блок схем. Описано результати обчислювальних експериментів, які підтверджують працездатність цих підходів.

У **п'ятому розділі** наведено дослідження граничної швидкості стабілізації системи залежно від її структури і початкового стану. Докладно описано дизайн експерименту. Наведені параметри систем та інші константи, використані у обчислювальних експериментах, що забезпечує їх відтворюваність. Отримані результати представлені у вигляді наочної візуалізації. Ці результати визначають напрямок подальших досліджень, наведених у шостому розділі.

У **шостому розділі** пропонується спосіб декомпозиції систем на підсистеми заради покращення цільової функції для вибору оптимальної траєкторії на обмеженому горизонті прогнозування. Задля більш гнучкого задання пріоритетів стабілізації віднайдених підсистем, запропоновано використання гіпердійсних вагових коефіцієнтів. Доведено існування розв'язку та описано спосіб розв'язання відповідних оптимізаційних задач із гіпердійснозначними цільовими функціями.

У **сьомому розділі** наведено метод інтервального оцінювання стану системи за непрямыми вимірюваннями на основі модифікації методу найменших квадратів, а також детально досліджено питання його регуляризації. Наведено і обґрунтовано спосіб вибору довжини історичного інтервалу, вимірювання на якому враховуються при оцінюванні стану з огляду на точність отриманих оцінок.

У **восьмому розділі** досліджено і проілюстровано за допомогою обчислювальних експериментів особливості роботи керування за прогнозною моделлю за різних умов. На основі цього дослідження розроблено та обґрунтовано практичні рекомендації до застосування керування за прогнозною моделлю у лінійних системах. На базі цих рекомендацій сформульовано остаточний алгоритм керування, придатний для практичної реалізації у вигляді контролера. Також описано прийом, який дозволяє досягати другорядних цілей впродовж процесу стабілізації системи. Зокрема, продемонстровано спосіб стабілізації імпульсної когнітивної карти біля наперед заданого цільового стану.

У **висновках** стисло описано переваги отриманого методу керування як порівняти з класичними, а також перелічено деякі побічні результати, отримані впродовж дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлено в 6 наукових публікаціях, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у наукометричній базі Scopus та віднесеному до кuartилів Q1–Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових семінарах.

У публікаціях здобувача висвітлено оригінальні дослідження, рівень яких є достатньо високим. Здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності в наукових публікаціях, представляючи результати своїх досліджень з чітким вказанням джерел та відсутністю плагіату. Публікації здобувача достатньо повно висвітлюють результати, наведені у дисертації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на високий загальний рівень досліджень, проведених в рамках підготовки даної дисертаційної роботи, здобувач не уникнув певних недоліків у роботі. Зокрема, здобувач приділив недостатньо уваги існуючим методам розв'язання оптимізаційних задач, зокрема їхній класифікації та застосовності в контексті поставлених задач та наявних проблем. Використаний у дослідженні пакет СУХОПТ реалізує не найкращий серед існуючих практичних методів розв'язання задач квадратичного програмування, хоча і є зручним для виконання обчислювальних експериментів, а також незрозумілим та необтунтованим є вибір саме такого інструменту для розв'язання поставленої задачі. Використання інших чисельних алгоритмів може покращити швидкодію і зменшити вимоги до апаратного забезпечення при практичному застосуванні отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

7. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Міщенка Михайла Дмитровича на тему «Керування за прогножною моделлю у лінійних дискретних системах» виконана на високому науковому рівні, не

порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пунктах 6–9 «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.

Здобувач Міщенко Михайло Дмитрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз.

Офіційний опонент:

завідувач відділу методів негладкої оптимізації
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



Петро СТЕЦЬОК

