

## ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри комп'ютерних технологій Донецький національний університету доктора технічних наук, професора Каргіна А. О. на дисертацію Бриксіна Володимира Олександровича “Моделі та методи автоматизованого керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції швидкості”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування

**Актуальність теми дисертації.** Аналіз сучасного стану залізничного транспорту показує, що одним із важливих напрямків розвитку є підвищення швидкості руху поїздів, з метою збільшення ефективності перевезень. Основним стримуючим фактором на цьому шляху є обмежені психофізіологічні характеристики машиністів, що в свою чергу вимагає впровадження системи автоведення поїзда. Все це дозволить забезпечити виконання більш інтенсивного графіку руху і знизити вплив людського фактору на процес перевезення. Поставлена задача відповідає концепції державної програми реформування залізничного транспорту і основним документам Укрзалізниці. Розробка моделей та методів автоматизованого керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції швидкості, відповідно, визначили актуальність теми дисертаційної роботи.

В дисертації обґрунтовані мета, об'єкт та предмет наукових досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.** Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводилися на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту згідно науково-дослідних робіт “Розробка й дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотива” (ДП №0100U000821), “Дослідження перспективного гібридного тягового привода на базі синхронних машин з постійними магнітами” (ДП №0107U000343) і держбюджетної теми УкрДАЗТ “Розробка методології побудови перспективної системи керування швидкістю поїздів” (Б/Т23/2 від 1.04.2010 р.), у якій здобувач брав участь як виконавець.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації** визначається зіставленням результатів, отриманих в даній роботі, з результатами моделювання та експериментальних досліджень; достатньою кількістю публікацій, отриманих автором, а також обговоренням на міжнародних та національних конференціях і семінарах; порівнянням теоретичних і експериментальних даних.

Підтвердженням адекватності основних положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи є коректне використання фундаментальних положень теорії

автоматичного управління, теорії операційного числення для розробки і дослідження показників якості системи автоматичного управління, методів теорії нечіткого управління, які застосовані для побудови адаптивного нечіткого регулятора. Оцінка ефективності системи управління, що запропонована, здійснена на основі експериментальних даних, отриманих в лабораторних і промислових умовах.

**Новизна результатів** дисертації у загальнотеоретичному плані полягає в тому, що в певному сенсі розвинені методи аналізу та синтезу нечітких і адаптивних фільтрів і регуляторів. Показана можливість ефективності застосування адаптивних регуляторів і регуляторів з нечіткою логікою для управління поїздом.

Новими науковими результатами, отриманими в дисертації є:

- вперше розроблено математичну модель графіку руху для автоматизованої системи керування швидкістю поїзда на основі сплайн інтерполяції, що відрізняється урахуванням адаптивної кількості термів, це дозволяє забезпечити необхідну точність виконання заданого графіку на високих швидкостях;
- удосконалено математичну модель керування швидкістю на основі нечітких мереж Петрі, яка відрізняється від відомих, врахуванням заданої кількості термів відповідно необхідної точності виконання, що дозволяє здійснити корекцію поточної швидкості в процесі руху поїзда;
- подальший розвиток набув метод синтезу контуру керування поїздом з ПІ- регулятором і адаптивним фільтром, що відрізняється від відомих використанням критерію гарантованої ступеня стійкості і враховує третій порядок характеристичного рівняння і запізнювання об'єкта в замкнутому контурі керування.

**Практичне значення одержаних результатів** для процесу керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції його швидкості у наступному.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: на ДП завод "Електроважмаш" при синтезі системи керування засобами залізничного транспорту, що дозволило моделювати процеси керування на підставі критерію гарантованого ступеня стійкості (КГСС) та забезпечити побудову автоматизованих систем керування, застосовуючи моделі більш високого порядку. Розроблені процедури моделювання процесів керування швидкістю поїзда дозволяють будувати АРМ диспетчерського персоналу для дослідження процедур керування швидкістю поїзда.

Запропонована процедура настроювання контурів керування швидкістю поїзда на підставі нового КГСС що впроваджена на ДП "Електроважмаш" для розроблення систем керування маневровим тепловозом ТЕМ103, при цьому зросла перешкодозахищеність контурів керування й скоротилася тривалість перехідних процесів, за рахунок чого зменшені витрати енергоресурсів на 9% (акт упровадження ДП завод "Електроважмаш").

Впроваджені в навчальний процес кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем УкрДАЗТу прикладні програми, що реалізують моделі адаптивних фільт-

рів, диференціаторів і регуляторів на ПЕОМ, а також моделі адаптивного керування для підготовки магістрів, слухачів курсів підвищення кваліфікації керівного складу та фахівців залізничного транспорту України. Методику й результати досліджень використано в лабораторних роботах з дисципліни "Теорія автоматичного керування й штучного інтелекту (акт упровадження УкрДАЗТ).

**Відповідність дисертації встановленим вимогам.** Аналіз сукупності наукових та практичних результатів, представлених у дисертаційній роботі Бриксіна В. О., дозволяє зробити висновок що робота є завершеним і цілісним дослідженням з логічним викладом матеріалу, узагальнює дослідження автора, написана сучасною науково-технічною мовою.

Оформлення дисертації проведено згідно з вимогами «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника». Стиль викладу матеріальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність її сприйняття.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основного змісту, висновків, списку використаної літератури.

У першому розділі дисертації наведено аналіз існуючих систем керування залізничним транспортом (СКЗТ). Досліджено структури ієрархічної СКЗТ, визначені завдання оптимізації перехідних процесів і енергозбереження, стан теорії й методів побудови систем керування швидкістю руху поїзда, що дозволило виділити багатоконтурність та ієрархічність цих структур, нечіткі значення параметрів, які характеризують процеси регулювання в контурах керування (КК). Це помилки процесів регулювання, властивості поїзда – істотна нелінійність (наявність блоків множення, обернено пропорційні залежності струму від напруги за підтримання заданої потужності енергоустановки й ін.). Умови підвищення швидкості поїзда вимагають використання метода адаптації для автоматизованого ведення графіка руху й забезпечення безпеки перевезень. Формальна модель графіку руху з урахуванням параметру маси поїзда дозволяє визначити та застосувати її для реалізації системи автоведення, щодо оперативного керування швидкістю.

У другому розділі запропоновано моделі керування швидкістю поїзда відповідно до графіку руху поїзда. Модель представлення останнього на основі сплайн інтерполяції з урахуванням такого параметру нечітких систем управління, як кількість термів лінгвістичної змінної, дозволяє забезпечити розрахунки із необхідною точністю його виконання.

У третьому розділі обґрунтовано метод моделювання нечіткої корекції швидкості руху поїзда для створення моделі автоматизованої системи керування (обчислення й завдання необхідних параметрів руху поїзда) з використанням функціональних квазі-двонаправлених динамічних нечітких мереж Петрі (НМП). Структуру відомих НМП запропоновано розширення для функціональних квазі-

вонаправлених складних переходів: ФАЗИФІКАЦІЯ вхідних змінних; ВІДНОШЕННЯ, що реалізує висловлювання ЯКЩО – ТО; КОМПОЗИЦІЮ двох ВІДНОШЕНЬ або max-min – згортання; ДЕФАЗИФІКАЦІЮ вихідних змінних. Фрагмент нечіткої мережі Петрі, що здійснює наведені переходи, дозволяє моделювати нечітке управління із урахуванням часу, тобто розглядати традиційний акт нечіткого управління у дискретних системах, як динамічний процес. Це головна перевага застосування нечіткої мережі Петрі порівняно із традиційними нечіткими системами. Наведено приклад коректування поточної швидкості руху поїзда з використанням нових розширень нечітких переходів та відповідну структурну схему моделі нечіткої корекції швидкості. Наведено комп'ютерне моделювання нечіткої мережі Петрі що розраховує значення вихідної нечіткої змінної «ШВИДКІСТЬ ПОЇЗДА» дискретного регулятора. Наведені відомості, що до системи керування швидкістю на основі нечітких мереж Петрі, яка адаптує кількість правил враховуючи необхідну точність реалізації корекції поточної швидкості поїзда і тим самим зменшує використання машинного ресурсу.

У четвертому розділі досліджено адаптивне керування в дискретних системах високого порядку із запізнюванням. Проведено аналіз характеристик перешкод, що діють у СУЗТ, і обґрунтовано процедуру автоматичної ідентифікації дисперсій випадкових сигналів і перешкод. Вибрано критерій оптимальності, який урахує математичне очікування різниці модуля куба вихідного сигналу фільтру із математичним очікуванням квадрата сигналу помилки фільтрації. Отримано співвідношення для розрахунку оптимальних значень адаптивного фільтру, що характеризує смугу пропускання фільтра для випадкового корисного сигналу і дає оцінку поточного змінювання оптимального відношення рівнів корисного сигналу й перешкоди. Розроблено метод безпосереднього синтезу цифрового ПІ-регулятора для систем 3-го порядку зі змінними параметрами й запізнюванням з наведеною безперервною частиною передавальної функції керування. Розглянута комп'ютерна модель адаптивного фільтру і регулятора управління швидкістю руху поїзда дозволила знизити вплив перешкод від напівпровідникових перетворювачів у процесі їх функціонування.

У додатках містяться комп'ютерна програма розрахунку (за авторським свідоцтвом) оптимальних параметрів настроювання адаптивного контуру керування та акти впровадження.

**Основні результати досліджень опубліковані** достатньо повно у 17 наукових публікаціях (10 статей у наукових фахових виданнях з переліку спеціалізованих видань МОН України, серед яких 2 статті в виданнях, що входять до наукометричних баз даних, 1- авторське свідоцтво, 6 – у матеріалах конференцій) та пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях.

**Зміст автореферату** відповідає основним положенням та висновкам, зроб-

леними у дисертації, а дисертаційна робота Бриксіна В. О. відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування за п.1 - аналіз і синтез систем управління технічними, технологічними, економічними і соціальними процесами, зокрема з елементами штучного інтелекту; за п.2 - моделювання, оптимізація й адаптація керованих процесів у динамічних системах, що здійснюються в реальному часі, зокрема з використанням математичних моделей у процесі функціонування систем управління.

**Недоліки та зауваження.** Основними недоліками та зауваженнями дисертації є:

1. У дисертаційній роботі, починаючи зі сторінки 50 і далі, використовується термін «*продукційний* нечіткий логічний висновок». Це не зовсім так. В нечітких продукційних системах у полях ЯКЦО і ТО застосовуються нечіткі факти - нечіткі атомарні структури, які не можуть бути більш деталізованими. На той же час у дисертації проводяться дослідження кількості термів нечітких змінних усі правила записані із лінгвістичними змінними. Це означає, що застосовується апарат «нечітких систем, заснованих на правах із лінгвістичними змінними». У літературі нечіткі продукційні системи відокремлюють від нечітких систем, заснованих на правах із лінгвістичними змінними. Вони уявляють різний формальний апарат.

2. У п. 2.1 на рис. 2.4 і рис. 2.5 наведені дані що до структури системи нечіткого Завдання швидкості. У той же час ніде не наведено дані, чи навіть приклади, нечітких правил. Це не дозволяє зрозуміти, чи враховано динамічні властивості об'єкта при розрахунках швидкості? Які фізичні властивості об'єкта, ділянок дороги та інші фактори враховуються в розрахунках прискорення поїзду на тих чи інших ділянках проїзду? Ці питання залишаються без відповіді.

3. На стор. 50 на рис. 2.2 не відображена точка  $O'$ . Без цього не зрозумілі усі подальші перетворення. Так, не зрозуміло обґрунтування того, що  $y_c = kx_c^2$  у (2.3). Не зрозуміло сенс термів лінгвістичних змінних, так саме, як і сенс лінгвістичних змінних  $y, x$ . Якщо у взяти із рис. 2.2, то це стан. Тоді не розкрито сенс термів що до цих станів. І, як наслідок, чому  $m = n + 1$ ?

4. В роботі та авторефераті присутні окремі неточності в позначеннях та термінології, а також при форматуванні, наприклад, на рис. 1.2 обоє рівня системи обозначені, як «середній рівень», на стор. 44, 50 відсутня нумерація формул та розмірність, у формулі для  $t_{A-B}$  на стр. 44 вказано невірно розмірність: метри замість секунд.

5. Занадто великий об'єм першої глави – 38 стор. Деякий матеріал можна було б перенести до другої та третьої глави.

6. У п. 2.2.1 «Приклад реалізації нечіткої продукційної системи автоматичного завдання необхідної швидкості руху поїзда на ділянці» наведені тільки screenshot MATLAB, із яких важко побачити кількісні характеристики, щоб оцінити си-

стему правил, лінгвістичні змінні, їх терми і таке інше. Повна характеристика нечіткої системи відсутня. Було б доцільно навести усю цю інформацію у додатках.

7. Недостатньо повно наведена інформація що до фазінейромережі на рис. 2.9.

8. У розділі 3 перші три параграфи п.3.1-3.3 перевантажені відомостями, які носять більш оглядовий характер, ніж дослідницький чи з метою обґрунтування. На мій погляд їх можна було б значно скоротити.

9. У висновках до 3 розділу не наведено обґрунтування переваг модифікованих нечітких мереж Петрі над безпосереднім застосуванням процедур нечіткого виведення до вирішення завдань управління.

10. Є зауваження до загальних висновків. Вони не відбивають основні результати дослідження.

Вище означені недоліки та зауваження не впливають на загальний позитивний висновок щодо даної дисертації.

### **Загальні висновки по дисертаційній роботі.**

Тема і зміст дисертації Бриксіна В. О. відповідають паспорту спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування.

Враховуючи одержані наукові результати, їх значення для практики, вважаю, що дисертаційна робота Бриксіна В. О є завершеним науковим дослідженням і містить науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують важливу задачу розроблення нових моделей, методів підвищення ефективності систем керування швидкістю поїздів на основі синтезу нечітких і адаптивних систем. Усі результати дисертаційної роботи здобувачем одержано особисто, опубліковано у науково-технічних виданнях та апробовано на міжнародних наукових конференціях і семінарах.

Викладене вище дозволяє вважати, що дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а її автор, Бриксін В. О., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри комп’ютерних технологій

Донецького національного університету...

МОН України, доктор технічних наук,

професор



ОН України,

А. О. Каргін

Підпис завідувача кафедри комп’ютер

технологій д.т.н., проф. Каргіна А.О. засвідчую:

*О.Т. Важенина*