

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Дениса Ігоря Володимировича**

«Покращення динамічних показників роботи гібридного тепловозу з вентиляльно-індукторним приводом», що представлена на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.22.07 — рухомий склад залізниць і тяга поїздів

Загальний аналіз дисертації

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 187 сторінок і містить 116 рисунків та 13 таблиць по тексту, 49 рисунків і 1 таблиця на 32 окремих сторінках, 92 найменування використаних джерел на 11 сторінках, 3 додатки на 13 сторінках.

Дисертація та автореферат написано українською мовою. Обсяг автореферату складає 25 сторінок.

Обсяг основного тексту, структура дисертації, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті дисертації відповідає чинним вимогам МОН.

Актуальність теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найважливіших задач економіки будь-якої країни.

В українській економіці залізничний транспорт є одним з найбільших споживачів енергоресурсів, тому енергетична ефективність в сучасних умовах є важливим фактором підвищення конкурентоспроможності українських залізниць на внутрішньому і міжнародному ринку транспортних послуг.

На залізницях України експлуатуються тепловози, що виготовлені у минулому

сторіччі, а тому до першочергових задач, які потребують вирішення, можна віднести питання їх модернізації за для приведення їх характеристик до світових стандартів локомотивобудування. З огляду на це, та з урахуванням положень «Концепції розвитку транспортно-залізничного комплексу України на середньо терміновий період до 2020 року» (Наказ Державної адміністрації залізничного транспорту №764 від 05.11.2001 р.) застосування гібридних систем для маневрових тепловозів є досить перспективним напрямком.

Дисертаційна робота пов'язана з програмними завданнями щодо удосконалення конструкції маневрових тепловозів шляхом їх модернізації і виконувалася за планами науково-дослідних робіт на замовлення Укрзалізниці, промислових підприємств за завданнями, що видані Українському державному університету залізничного транспорту, а саме «Розробка програми-методики експлуатаційних випробувань на працездатність модернізованого маневрового тепловозу ЧМЕЗ потужністю 970 КВт та обробка результатів випробувань» (ДР № 113U006586), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

На залізницях світу простежується тенденція до зниження потужностей дизель-генераторних установок маневрових тепловозів та запровадження гібридних систем.

На підставі вищезазначеного вважаю, що дослідження, виконані здобувачем, які спрямовані на зменшення витрати палива тепловозом шляхом розробки гібридної силової установки, дозволяють кваліфікувати цю роботу як таку, що є актуальною.

Оцінка змісту дисертації та автореферату.

Текст дисертації викладено в чіткій логічній послідовності. Стиль викладу змісту роботи відповідає нормам, прийнятим у науковій літературі. Дисертація й автореферат оформлені відповідно до чинних вимог.

У *вступі* обґрунтована актуальність дослідження, сформульована мета і визначені основні завдання роботи, дана характеристика наукової новизни і обґрунтована практична цінність отриманих результатів, показано зв'язок роботи з Державними програмами.

У *першому розділі* проведено аналіз тенденцій розвитку вітчизняного

локомотивобудування та за кордоном, обґрунтовано напрямок досліджень. Виконано аналіз альтернативних варіантів приводу нового покоління, який показав: можливість створення конкурентоспроможного транспортного засобу з використанням комбінованої енергоустановки. Показано, що подібне рішення дозволяє значно скоротити витрати пального, так як більша частина маневрової роботи буде здійснюватися на живленні від тягової акумуляторної батареї, і забезпечувати високу екологічність локомотива. Також приведено обґрунтування вибору мети дисертаційної роботи і сформульовані завдання для дослідження.

У *другому розділі* розроблена математична модель роботи маневрового тепловозу ЧМЕЗ та виконаний аналіз отриманих результатів. На тепловозах ЧМЕЗ встановлений чотиритактний дизель K6S310DR з вертикальним розміщенням циліндрів та водяним охолодженням. В основу імітаційної моделі дизеля покладена індикаторна діаграма його роботи. На тепловозі встановлені тяговий десятиполюсний генератор постійного струму незалежного збудження TD-802 та тяговий двигун постійного струму послідовного збудження TE-006, які також були змодельовані у середовищі Matlab. Модель блоків опору руху поїзда виконана за емпіричними формулами для локомотива та вагонів. У якості профілю шляху використаний профіль ділянки Харків – Мерефа. При дослідженні руху потяга на імітаційній моделі задавались тахограми з максимальними швидкостями в інтервалі 40-80 км/год з кроком 10 км/год.

У *третьому розділі* проведенні дослідження, що направлені на вивчення можливості застосування гібридної силової установки на маневровому тепловозі як із базовими двигунами постійного струму, так і з тяговими вентиляно-індукторними двигунами. Моделювання накопичувачів енергії проводилось на основі зарядно-розрядних характеристик, що були апроксимовані поліномами Чебишева. Для отримання осцилограм роботи гібридного тепловозу була розроблена імітаційна модель, яка дозволила використовувати в якості тягового як двигун постійного струму, так і вентиляно-індукторний. Отримано поверхні, які відображають залежності витрат палива, напруги акумуляторної батареї від максимальної швидкості тахограми та часу руху перегонном для двох типів електроприводів. За результатами досліджень показано, що з використанням вентиляно-індукторного приводу спостерігається тенденція більш інтенсивного зменшення витрат палива з

ростом максимальних швидкостей трикутної тахограми швидкості у діапазоні 80-95 км/год. Зменшення витрат палива в даному діапазоні складає 0,5-1,5%. В діапазоні швидкостей 55-75 км/год спостерігається зниження витрат палива тепловозом через перехід конденсатора в режим заряду акумуляторної батареї. На основі проведеного аналізу встановлено залежність витрат палива тепловозом від режиму ведення поїзда, тому існує необхідність в розробці системи автоматичного керування з використанням регулятора швидкості, який би більш точно скорегувати задану тахограму.

У четвертому розділі синтезовано регулятори швидкості та виконано аналіз їх роботи з точки зору основних показників якості регулювання. Система керування вентильно-індукторним приводом являє собою систему підлеглого регулювання координат з можливістю використання традиційних та нетрадиційних регуляторів швидкості, таких як модальний та на базі нечіткої логіки. Для синтезованих регуляторів швидкості були створені їх імітаційні моделі, на підставі яких отримані осцилограми роботи двигунів при постійному навантаженні. Були визначені основні показники якості роботи синтезованих регуляторів. З отриманих результатів видно, що найбільш якісний перехідний процес відповідає нечіткому регулятору швидкості. Для дослідження роботи гібридного тепловозу з вентильно-індукторним приводом було створено його узагальнену модель з використанням всіх необхідних підструктур гібридного тепловозу та нечітким регулятором швидкості. Отримані результати моделювання роботи гібридного маневрового тепловозу з вентильно-індукторним приводом та нечітким ПД-регулятором дають змогу стверджувати про доцільність застосування такого типу приводу на гібридних тепловозах. Завдяки більш точному підтриманню швидкості руху поїзда ділянкою витрати палива зменшились у порівнянні з вентильно-індукторним приводом, що керується від контролера машиніста, на 2,1 кг, що складає 8,56%. Також у процесі роботи локомотива знизилась глибина розряду акумуляторної батареї, що обумовлюється підтриманням регулятором струму двигуна на рівні, що відповідає потребам роботи у кожен момент часу. Застосування регуляторів не тільки дає економічну вигоду, а й виключає людський фактор при роботі локомотива, що підвищує безпеку руху.

У п'ятому розділі проведено експериментальні дослідження на діючому обладнанні, яке було спрямовано на синтез системи керування вентильно-

індукторним приводом, перевірку ефективності системи керування з модальним та на базі нечіткої логіки регуляторами, а також на вивчення специфіки роботи вентильно-індукторного двигуна в системі колесо – тяговий двигун. В якості об'єкта керування був обраний чотирьохфазний вентильно-індукторний двигун. Випробування вентильно-індукторного приводу проводилися з використанням розробленої системи управління. За допомогою комп'ютера проводилося повне управління приводом: вибір типу регулятора швидкості, діапазон, плавність і напрямок її регулювання, вибір алгоритму плавності пуску і забезпечення необхідного пускового зусилля. Результати досліджень показали високу ефективність запропонованої системи керування та підтвердили теоретичні розрахунки і результати математичного моделювання.

Висновки в дисертаційній роботі достатньо обґрунтовані й відповідають сучасним поглядам на питання, які розглядаються автором.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Теоретичною базою виконаних досліджень є фундаментальні положення теорії автоматичного керування. Методи узагальненої теорії електромеханічних перетворювачів енергії використовувалися для розрахунку електромеханічних систем; метод кінцевих елементів та комбінований коло-польовий метод – для розрахунку магнітного поля електромеханічних перетворювачів енергії; метод Чина-Хронса-Ресвіка – для синтезу регулятора швидкості; методи наближення функцій – для апроксимації дискретних експериментальних даних цифрового моделювання; сучасні системи комп'ютерної математики – для обчислення значення параметрів систем. Достовірність і наукова новизна результатів роботи

Результати дисертації не суперечать висновкам та рекомендаціям досліджень, проведених вітчизняними та закордонними вченими у напрямку експериментальних розробок гібридних силових систем.

Достовірність і наукова новизна результатів роботи

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується обґрунтованістю проведених досліджень, як з наукової, так і практичної точок зору, заснованих на використанні фундаментальних положень теоретичних основ

електротехніки, теорії автоматичного керування, теорії математичного аналізу, теорії електропривода, математичного моделювання та експериментальних досліджень.

Поставлені в роботі задачі вирішені на високому науковому рівні. Їх розв'язанню властиві певні елементи наукової новизни. Це стосується розробки математичної моделі роботи гібридного тепловоза з використанням реального профілю шляху ділянки Харків–Мерефа та основних рівнянь руху потягу, синтезу двох типів регуляторів швидкості (модального та на основі нечіткої логіки) вентильно-індукторного приводу та імітаційної моделі вентильно-індукторного приводу.

Всі запропоновані підходи і рішення підпорядковані основній меті роботи і сприяють підвищенню функціональних можливостей мікропроцесорної системи керування вентильно-індукторним електроприводом гібридного тепловозу з модальним та фазі регуляторами. У сукупності вони складають певний внесок у розвиток теорії електричної тяги.

Теоретичні положення, що отримані в роботі, перевірені дослідженнями з використанням математичного моделювання, лабораторними та практичними експериментами. В роботі для цього запропоновані і розроблена математична модель маневрового тепловозу ЧМЕЗ та узагальнена модель роботи гібридного тепловозу з вентильно-індукторним приводом та нечітким регулятором швидкості, створено лабораторний стенд та дослідні зразки системи та об'єкту керування.

Наукова новизна результатів, які отримані в дисертації, полягає в тому, що:

- вперше розроблено імітаційну модель роботи гібридного тепловоза з використанням реального профілю шляху колії ділянки Харків–Мерефа та проведено дослідження змінити витрати пального в залежності від максимальної швидкості та часу руху по перегону;
- удосконалено імітаційну модель дизельного двигуна, що враховує особливості поведінки його індикаторної діаграми при чотиритактному режимі його роботи;
- удосконалено імітаційні моделі акумуляторної батареї та іоністора, робота яких основана на зарядно-розрядних характеристиках, що характеризується нелінійностями.

Набули подальшого розвитку:

- математичні моделі вентиляно-індукторних двигунів як об'єкту керування з урахуванням особливостей роботи в поєднанні з гібридною системою;
- методи синтезу регуляторів швидкості, які дозволили враховувати вплив нелінійних властивостей об'єкта керування та підвищити показники якості регулювання;
- імітаційна модель роботи гібридного тепловозу на базі вентиляно-індукторного приводу з різними типами нелінійних регуляторів швидкості;
- реальна фізична модель системи колісна пара – вентиляно-індукторний двигун.

Усі положення і результати, які отримані автором в дисертації, є науковою основою вирішення науково-практичного завдання зменшення витрат палива тепловозом шляхом розробки гібридної силової установки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці методики визначення параметрів системи керування гібридним тепловозом з вентиляно-індукторним приводом;
- розробці методики створення імітаційних моделей дизельних двигунів та накопичувачів енергії, що враховують нелінійність таких елементів;
- створенні дослідного зразку системи колесо – тяговий двигун з системою автоматичного керування на базі нечіткої логіки.

Повнота викладу наукових положень дисертації в опублікованих працях

Результати дисертації опубліковані в 8 наукових працях, з них: 5 – у наукових фахових виданнях України (4 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 3 – у періодичних фахових виданнях (Scopus та Web of Science).

Дисертацію в повному обсязі розглянуто та схвалено на розширеному засіданні кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ в присутності членів спеціалізованої вченої ради К26.820.01.

Автореферат має ідентичний зміст з текстом дисертації і в повній мірі відображає її основні положення.

Практичне впровадження результатів роботи на виробництві та у навчальному процесі підтверджується відповідними актами, які наведено в Додатках до дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до дисертації

1. В розділі 2 доцільно було б провести оптимізацію режимів ведення поїзда ділянкою шляху не тільки за кількістю спожитого тепловозом пального, а й за іншими критеріями (наприклад, час проходження), а також дослідити вплив на споживання пального не тільки трикутних тахограм, а й інших варіантів (розгін та гальмування з різними темпами).

2. Бажано було б в розділі 3 дослідити вплив конфігурації системи накопичення енергії на роботу гібридної тягової передачі тепловоза.

3. В розділі 4 нез'ясованим залишається вибір коефіцієнтів ПІ-регулятора, що імітує роботу регулятора кількості обертів дизеля.

4. В 5 розділі доцільно було б експериментально перевірити вплив характеристики тертя на динаміку роботи вентиляно-індукторного приводу.

5. В роботі бажано було б провести порівняльний аналіз різних схем побудови гібридної тягової електричної передачі тепловоза.

6. Зустрічаються деякі редакційні стилістичні помилки та русизми. Відсутній список позначень, що ускладнює аналіз тексту.

7. Рукопис має відхилення від норм та вимог ЄСКД, щодо оформлення таблиць, формул та рисунків.

Відмічені зауваження не знижують загальну позитивну наукову і практичну цінність дисертаційної роботи Дениса І. В., яка виконана на достатньому науковому та практичному рівнях.

Загальна оцінка дисертації

Оцінюючи дисертацію в цілому, можна зазначити, що вона є закінченою науково-прикладною працею, яка має як наукову новизну, так і практичну цінність і є одним із шляхів вирішення важливого науково-прикладного завдання зменшення витрат палива тепловозом шляхом розробки гібридної силової установки з мікропроцесорною системою керування вентиляно-індукторним електроприводом.

Дисертаційна робота «Покращення динамічних показників роботи гібридного тепловозу з вентиляно – індукторним приводом» відповідає вимогам п.п. 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету

Міністрів України від 24.07.2013 № 567 до кандидатських дисертацій (зі змінами, внесеними згідно Постанови КМУ №656 від 19.08.2015), а її автор, Денис Ігор Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

Офіційний опонент: доктор технічних наук за спеціальністю 05.22.07, професор, завідувач кафедри «Локомотиви» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



Особистий підпис Капіца Михайло Іванович
засвідчую
нач. загального відділу Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
<i>Левинська О.О.</i>
_____ 20__ р.