

Принято до Вченої ради
ДФ СЧ, 820, 004 17.12.2021
Доктор Валентин Пузур
голова Вченої ради

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Ткаченка Віктора Петровича

на дисертаційну роботу Помазана Данила Павловича на тему «Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 27 – Транспорт, за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт

Актуальність теми дисертації.

Питанням енергоефективності перевізного процесу на залізничному транспорті приділяється значна увага як в Україні, так і у всьому світі. Витрати на паливо та електроенергію складають значну частку в структурі витрат залізничного транспорту, і зниження цієї складової дозволяє підвищити економічну ефективність і конкурентоспроможність з іншими видами транспорту.

В силу того, що основна частка палива в даний час імпортується на Україну, зниження рівня його витрат тяговим рухомим складом дозволяє знизити рівень залежності залізничного транспорту від зовнішніх факторів.

Основним заходом, спрямованим на зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів тяговим рухомим складом, є його модернізація зі зниженням питомої витрати палива на одиницю виконаної роботи і підвищенням коефіцієнту корисної дії, а також його заміна на більш сучасний і енергоефективний рухомий склад.

Світова тенденція розвитку галузі локомотивобудування вказує на все більш широке застосування енергоємних накопичувачів енергії на маневрових локомотивах. Режим роботи з постійно змінним навантаженням і періодичним поєднанням тяги і гальмування в значній мірі схильні до використання накопичувачів енергії. Їх застосування покращує проходження перехідних процесів одночасно в перетворювачах і приводі локомотивів. Вони також дозволяють в найбільш повній мірі використовувати енергію рекуперативного гальмування.

Таким чином, актуальним завданням є розробка методів та заходів з підвищення енергоефективності тепловозів з тяговою електричною передачею.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, створенні наукових положень, висновків та рекомендацій здобувачем застосовані дані, які одержані з літературних джерел, результатів аналізу сучасного стану та перспектив розвитку методів та технологій підвищення енергоефективності тягового рухомого складу залізниць як України, так і світу, тому їх можна вважати досить обґрунтованими.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується даними, що отримані в результаті імітаційного та фізичного моделювання.

Все це доводить обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертації.

Наукова новизна результатів роботи.

Дисертаційна робота вирішує актуальне наукове завдання, важливе для галузі залізничного транспорту. Можна погодитись, що вона містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково-обґрунтовані результати, а саме:

- вперше для вибору структури системи «тепловий двигун–тяговий електропривод» на прикладі тепловоза використано функцію бажаності Харінгтона, що дозволяє оцінювати складові системи, базуючись, як на якісних, так і на кількісних показниках їх роботи;
- удосконалено алгоритм оптимізації кривої руху поїзда з гібридним маневровим тепловозом на основі застосування принципу оптимальності Белмана, що дає змогу більш точно визначити енергооптимальні режими ведення поїзда і надати рекомендації щодо вибору співвідношень між потужностями основного та додаткового джерел живлення;
- набув подальшого розвитку принцип імітаційного моделювання роботи дизельного двигуна на основі індикаторної діаграми його роботи. Удосконалення враховує залежність між потужністю, яка розвивається дизельним двигуном, та коефіцієнтом завантаженості двигуна;
- набув подальшого розвитку принцип імітаційного моделювання роботи лінійного електромеханічного перетворювача електромагнітного типу, що є складовою вільнопоршневого двигуна внутрішнього згорання та дозволяє провести дослідження і визначити основні особливості роботи такої дизель-генераторної установки в якості бортового джерела енергії на тепловозі.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи достатня, результати дисертації опубліковані у 17 наукових працях, з них: 4 статті наукових у фахових виданнях України, 1 стаття, опублікована у періодичному науковому виданні іншої держави, що входить до Європейського Союзу, 11 публікацій у матеріалах міжнародних наукових конференцій (з них 5 внесені до бази Scopus) та 1 патент на корисну модель. Результати досліджень викладені у п'яти розділах дисертаційної роботи. Вимоги постанови КМУ від 06.09.2019 р. №167 «Про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно постанов КМУ №979 від 20.10.2020 р. та №608 від 09.06.2021 р. до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

Аналіз змісту та форми дисертаційної роботи.

Дисертація написана на достатньому мовностилістичному рівні. У вступі обґрунтовано актуальність вирішення завдання розробки методів та заходів з підвищення енергоефективності тепловозів, визначені мета, завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова новизна й практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ дисертаційного дослідження присвячено аналізу можливих конфігурацій тягових електричних передач тепловозів України та світу. Проведено аналіз узагальнених показників бажаності для різних варіацій складових системи «тепловий двигун – тяговий електропривод». Автором визначено, що найкращі показники серед великої множини конфігурацій мають системи із асинхронним тяговим електроприводом, накопичувачем енергії у вигляді акумуляторної батареї та джерелом енергії, що може бути реалізований двома шляхами: ротаційний дизельний двигун з синхронним генератором із постійними магнітами або вільнопоршневий двигун із лінійним генератором електромагнітного типу. Ці два варіанти конфігурацій тягової електричної передачі прийняті автором для проведення подальших досліджень у наступних розділах.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено моделюванню складових гібридної тягової електричної передачі тепловоза. У розділі розроблено імітаційні моделі ротаційної дизель-генераторної установки тепловоза із

синхронним генератором з постійними магнітами, тягового асинхронного електроприводу із векторною системою керування, літій-залізо-фосфатної акумуляторної батареї, двоключового DC/DC buck-boost перетворювача із системою контролю рівня заряду накопичувача. Результатом розробки кожної з моделей є проведені імітаційні моделювання у середовищі Matlab із отриманням осцилограм основних координат процесів, що відбуваються у складових тягової електричної передачі. Шляхом порівняння результатів моделювання із паспортними даними прототипів визначено адекватність розроблених моделей.

Третій розділ дисертації присвячений розробці моделі руху поїзда ділянкою шляху із врахуванням виникнення нестационарних процесів таких, як юз та боксування, із можливістю дослідження їх впливу на процеси, що протікають у системі «тепловий двигун – накопичувач енергії – тяговий електропривод» тепловоза. Розроблена модель базується на одномасовій розрахунковій схемі тягового електроприводу та враховує особливості характеру зміни коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою в процесі руху поїзда. Розроблена модель також враховує вплив характеру шляху на рух поїзда та роботу тягової одиниці.

Із використанням моделей розроблених у другому та третьому розділах автором проведено моделювання руху поїзда ділянкою шляху із реальним профілем шляху, що відповідає ділянці Харків – Борки. У результаті моделювання отримано осцилограми зміни швидкості руху, тягового моменту, рівня заряду накопичувача енергії та кількості спожитого тепловозом пального.

Четвертий розділ дисертаційного дослідження присвячений оптимізації режимів ведення поїзда ділянкою шляху Харків – Борки, а також визначенню співвідношення потужностей основного і додаткового джерел енергії на тепловозі. В якості цільової функції для задачі оптимізації обрано кількість витраченої енергії на рух тепловоза із поїздом. Вирішення оптимізаційної задачі виконано засобами динамічного програмування: методом прямого проходу та методом на основі принципу оптимальності Белмана. Аналіз результатів, отриманих двома методами, показує досить велику збіжність. У результаті оптимізації отримано енергооптимальні тахограми ведення поїзда ділянкою шляху. Проведений комплекс досліджень на основі оптимізаційного алгоритму дав змогу отримати тривимірну поверхню, що відображає залежність витрат енергії від відсоткового співвідношення джерел енергії та середньої швидкості руху поїзда.

У розділі проведено моделювання руху поїзда за оптимальною кривою швидкості із використанням розроблених у попередніх розділах моделей. Результати моделювання вказують на зниження кількості спожитого пального, що підтверджує доцільність проведеного оптимізаційного пошуку.

П'ятий розділ розкриває питання застосування вільнопоршневого двигуна внутрішнього згорання в якості бортового джерела енергії. У розділі проведено вибір конструкції такої силової установки та розроблено її імітаційну модель, яка

включає в себе модель циліндра двигуна внутрішнього згорання та модель лінійного електромеханічного перетворювача електромагнітного типу.

Для перевірки адекватності розробленої моделі автором розроблено фізичну модель системи із вільнопоршневим двигуном та проведено експеримент із отриманням осцилограм перехідного процесу.

Для наведеної конструкції за алгоритмами, представленими у четвертому розділі, проведено оптимізаційний пошук оптимальної кривої руху. У розділі проведено моделювання руху поїзда ділянкою шляху із тепловозом, що оснащений енергетичною установкою у вигляді вільнопоршневого двигуна. Результати моделювання вказують на зниження рівня спожитого пального тепловозом, що підтверджує перспективність застосування такої системи.

У висновках сформульовано основні результати, що отримані у роботі.

У додатках представлено опис алгоритмів, що розроблені у дисертації, та акти впровадження результатів роботи.

Зауваження до дисертаційної роботи.

В цілому дисертація і анотація до неї, які представлені на відгук, оформлені з дотриманням стандартів на оформлення результатів науково-дослідних робіт, однак необхідно зауважити:

1. У таблицю 1.2 з критеріями оцінки бажаності для різних типів приводів було б доцільно додати показники бажаності тягових статичних перетворювачів цих електроприводів.
2. Функціональна схема гібридної тягової електричної передачі тепловоза (рисунок 2.1) не повністю відображає склад системи «тепловий двигун–накопичувач енергії–електропривод», що досліджується у розділі. Бажано було б додати блоки системи керування та статичні перетворювачі, що застосовані у системі.
3. В другому розділі вибір батареї для дослідження виконано без належного обґрунтування. Не доведено, чому при наявності великого номенклатурного ряду Li-ion акумуляторних батарей прийнято саме літій-залізо-фосфатні батареї.
4. Вибір в якості цільової функції оптимізації витрат енергії виконано без належного обґрунтування і аналізу інших показників таких, як, наприклад, кількості спожитого пального або рівня заряду накопичувача енергії тощо.
5. Не достатньо обґрунтованим є план та умов цифрового експерименту (розділ 4), а саме – діапазон середніх швидкостей для отримання витрат енергії тепловозом при русі від значень середньої швидкості та відсоткової долі потужності накопичувача енергії.

6. В роботі бракує варіантів імітаційного моделювання роботи тепловоза із різними поїздами (за кількістю вагонів). Наявність таких варіантів дала б більш обґрунтовані результати досліджень.

Перелічені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати дослідження та ніяким чином не зменшують наукову і практичну цінність роботи та позитивне враження від її результатів.

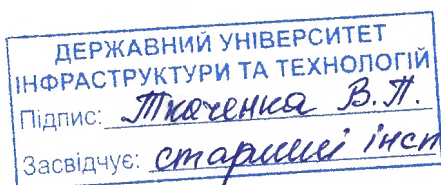
Загальні висновки та оцінка дисертації.

Дисертаційна робота, яка представлена на відгук, є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка містить раніше незахищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в області підвищення енергоефективності систем залізничного транспорту.

В підсумку, з оглядом на актуальність проблеми, високий рівень виконаних досліджень та результати практичного впровадження вважаю, що дисертаційна робота «Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза» відповідає вимогам постанови КМУ від 06.09.2019 р. №167 «Про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно постанов КМУ №979 від 20.10.2020 р. та №608 від 09.06.2021 р. та чинним вимогам МОН України, а її автор Помазан Данило Павлович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт галузі знань 27 – Транспорт.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри електромеханіки
та рухомого складу залізниць
Державного університету
інфраструктури та технологій

Віктор ТКАЧЕНКО



Віктор Ткаченко