

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Помазана Данила Павловича
на тему: «**Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза»**
на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 27 «Транспорт»
зі спеціальності 273 «Залізничний транспорт»

Підготували рецензенти Українського державного університету залізничного транспорту, призначені рішенням вченої ради від 04.11.2021 р. (протокол № 10):

Крашенінін Олександр Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу;

Яцько Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з планами наукових робіт закладу вищої освіти

В умовах постійного подорожчання паливо-мастильних матеріалів досить важливим є питання підвищення енергоефективності залізничних компаній за для збереження їх конкурентних переваг як на вітчизняному ринку, так і на міжнародній арені.

Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України №321-р від 07 квітня 2021 року, виділяє енергоефективність транспорту як один з найважливіших напрямків розвитку залізниць України. Підвищення енергоефективності планується досягти двома шляхами: зниженням витрат за рахунок раціонального використання ресурсів, а також завдяки розвитку електричного транспорту.

З огляду на відсутність електрифікації на 37% ділянок залізниці, а також через економічну недоцільність використання потужних вантажних локомотивів у вивізній роботі запровадження гібридної тепловозної тяги дає змогу вирішити як питання енергоефективності доставки вантажів споживачам.

Застарілий парк маневрових тепловозів із майже 98% морально та фізично зношеними тяговими одиницями вимагає пошуку рішень, які дали б змогу підвищити енергоефективність локомотивів з найменшими капітальними вкладеннями. Одним із шляхів вирішення цього питання є модернізація існуючого парку з впровадженням нових підходів світового локомотивобудування.

Вищенаведені факти дають змогу стверджувати, що пошук шляхів підвищення енергоефективності тепловозів залізниць України є актуальним питанням, що потребує вирішення.

Частини досліджень, результати яких викладено в дисертації, виконано в межах науково-дослідної роботи Українського державного університету заліз-

ничного транспорту «Дослідження роботи гібридного маневрового тепловоза», № ДР 0119U101900.

Таким чином, тематика наукових досліджень, що проведені в дисертаційній роботі, є актуальною та узгодженою з науковою діяльністю установи, в якій виконано дисертаційну роботу.

2. Наукове завдання, вирішення якого отримано в дисертації

Метою рецензованої дисертаційної роботи є розробка методів та заходів з підвищення енергоефективності тепловозів з тяговою електричною передачею.

Для досягнення зазначеної мети здобувачем були поставлені такі завдання, які виконані в ході дисертаційного дослідження:

- аналіз існуючих типів тягових електричних передач та шляхів підвищення їх енергоефективності;
- розробка імітаційних моделей роботи складових частин тягової електричної передачі гібридного тепловозу побудованого на базі ЧМЕЗ;
- розробка імітаційної моделі руху тепловоза з навантаженням, що враховує реальний профіль ділянки шляху;
- вибір оптимального режиму ведення поїзда, вибір основного джерела енергії на тепловозі, а також його співвідношення з допоміжним;
- розробка математичної моделі вільно-поршневого двигуна внутрішнього згорання з лінійним генератором як бортового джерела енергії на тяговому рухомому складі.

Вирішення поставлених завдань сприяє зниженню витрат паливно-мастильних матеріалів маневровим тепловозом на виконання вивізної роботи, що підвищує його показники енергоефективності та екологічності.

3. Положення, які виносяться на захист, та їх наукова новизна

Здобувачем вирішено актуальне науково-прикладне завдання з розробки комплексу методів та заходів із підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза для виконання маневрової та вивізної роботи на залізницях не тільки України, а й світу.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є процеси, що протікають в системі «тепловий двигун – тяговий електропривод – накопичувач енергії».

Предметом дослідження є гібридний маневровий тепловоз з різними конфігураціями системи «тепловий двигун – тяговий електропривод – накопичувач енергії».

Положення, що виносяться на захист, і являють наукову новизну дисертаційного дослідження, такі:

Вперше:

- вибір конфігурації системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза із використання функції бажаності Харінгтона, яка дозволяє викона-

ти оцінку складових системи базуючись як на якісних показниках їх роботи, так і на кількісних;

– проведено оптимізаційний пошук кривої руху поїзда з використанням гібридного маневрового тепловозу ділянкою шляху із застосуванням методу динамічного програмування на базі принципу оптимальності Белмана, що дає змогу визначити енергооптимальні режими ведення поїзда і надати рекомендації щодо вибору співвідношень між потужностями основного та додаткового джерел живлення;

Удосконалено:

– математичну модель руху поїзда ділянкою із врахуванням впливу виникнення нестационарних режимів таких, як боксування та юз, що дозволяє дослідити процеси, які протікають при цьому в системі «тепловий двигун – тяговий електропривод – накопичувач енергії» тепловоза;

Набули подальшого розвитку:

– імітаційна модель дизельного двигуна, яка, на відміну від відомих, що базуються на індикаторній діаграмі його роботи, враховує залежність між силою, яка розвивається дизельним двигуном, та коефіцієнтом завантаження двигуна, даючи при цьому змогу підвищити точність розрахунку кількості спожитого пального при роботі дизель-генераторної установки без значного ускладнення моделі;

– імітаційна модель лінійного електромеханічного перетворювача електромагнітного типу, що є складовою частиною вільнопоршневого двигуна внутрішнього згорання та дозволяє провести дослідження і визначити основні особливості роботи такої дизель-генераторної установки в якості бортового джерела енергії на тепловозі.

Усі положення, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно в процесі виконання дисертаційного дослідження.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист

Дисертаційна робота здобувача Помазана Д.П. є завершеною науково-прикладною працею, яка виконувалася протягом 2017 – 2021 рр.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи є в достатній мірі обґрунтованими та впливають із результатів проведених у ній досліджень. При написанні роботи використано значний обсяг літературних джерел, з яких близько 40% іноземні. Серед них значна кількість наукових публікацій, які індексуються авторитетними міжнародними наукометричними базами Scopus і WoS.

У процесі дисертаційного дослідження здобувачем застосовано сучасні наукові методи і теорії, зокрема: метод порівняльного аналізу технічних засобів на основі функції бажаності Харінгтона для визначення конфігурації системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза, метод узагальненої теорії електромеханічних перетворювачів енергії при побудові імітаційних моделей тягових асинхронних двигунів, методи апроксимації кубічними сплайнами

при розробці імітаційних моделей, що базуються на діаграмах роботи системи, метод кінцевих елементів – при розробці імітаційної моделі лінійного електро-механічного перетворювача електромагнітного типу, методи динамічного програмування, а саме метод прямого проходу та метод на основі принципу оптимальності Белмана, під час вирішення оптимізаційної задачі пошуку кривої руху поїзда, методи синтезу регуляторів при налаштуванні контурів струму для заряду та розряду накопичувача енергії, контуру струму та контуру швидкості для векторної системи керування асинхронним двигуном, методи спрощення структурних схем при математичному моделюванні складових елементів системи «тепловий двигун – тяговий електропривод – накопичувач енергії».

Представлена дисертаційна робота характеризується логічним, послідовним і системним викладом матеріалу на основі наукового обґрунтування. Чітко просліджується логічна завершеність роботи. Одержані у процесі наукового дослідження результати є адекватними, оскільки вони є перевірені в ході комп'ютерних та фізичних експериментів.

Крім того, обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження, наукових положень та рекомендацій дисертанта підтверджено їхньою апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях.

Вищевикладене дозволяє зробити висновок про всебічну обґрунтованість і достовірність представлених у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і рекомендацій та про високий науковий рівень розглянутої дисертації.

5. Наукове та практичне значення роботи

Вирішене актуальне науково-прикладне завдання з розробки комплексу методів та заходів із підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза для виконання маневрової та вивізної роботи на залізницях створює теоретико-методологічне та науково-прикладне підґрунтя для розв'язання низки практичних завдань, пов'язаних із підвищенням показників енергоефективності та екологічності тягового рухомого складу залізниць при виконанні ним маневрової та вивізної роботи.

Практична цінність результатів дисертації полягає в такому:

- підвищенні енергоефективності систем гібридної тяги при виконанні ними роботи із переміщення вантажів;
- зниженні капітальних витрат при проведенні модернізації існуючого рухомого складу за рахунок можливості оптимального вибору співвідношення потужностей основного та додаткового бортових джерел енергії;
- зниженні витрат паливно-мастильних матеріалів шляхом запровадження енергооптимальних режимів ведення поїзда ділянкою по заданій кривій швидкості;
- підвищенні ККД системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза за рахунок застосування нових конструкцій бортових дизель-генераторних установок.

6. Апробація результатів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких наукових конференціях: IV міжнародна науково-технічна конференція студентів, магістрів та аспірантів «Інформатика, управління та штучний інтелект» (м. Харків, Україна, 2017 р.); 80-та міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, Україна, 2018 р.); XXVI міжнародна науково-практична конференція «MicroCAD-2018» (м. Харків, Україна, 2018 р.); 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (м. Чеське Будейовіце, Чехія, 2019 р.); XXVII міжнародна науково-практична конференція «MicroCAD-2019» (м. Харків, Україна, 2019 р.); International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (м. Кременчук, Україна, 2019 р.); V всеукраїнська науково-технічна конференція «ПАСЕБ-2019» (м. Харків, Україна, 2019 р.); 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (м. Деггендорф, Німеччина, 2020 р.); Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (м. Кременчук, Україна, 2020 р.).

Повністю дисертація доповідалася, обговорювалася і була схвалена на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також на фаховому семінарі кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту за участю рецензентів 23.11.2021 р.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових публікаціях та особистий внесок здобувача в них

Дисертаційна робота є результатом самостійного науково-прикладного дослідження автора. Результати дисертаційного дослідження, що складають його наукову новизну та виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, у тому числі 4 наукових статі у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 2 включено до міжнародних наукометричних баз; 1 наукова стаття в іноземному виданні країни – члена ЄС; одна додаткова праця (патент на корисну модель); 11 праць апробаційного характеру (матеріали доповідей на наукових конференціях).

Основні наукові праці:

Наукові праці у фахових виданнях України:

1. Буряковський, С.Г., Маслій, А.С., Помазан Д.П., Деніс, І.В. Обґрунтування необхідності модернізації тепловозу ЧМЕЗ із використанням гібридної силової установки. *Електрифікація транспорту. Науковий журнал*. 2016. Вип.№ 12. С. 82 – 86.

2. Buriakovskiy S., Maslii A., Panchenko V., Pomazan D., Denys I. The research of the operation modes of the diesel locomotive CHME3 on the imitation model. *Electrical engineering & electromechanics*. 2018. No. 2, P. 59 – 62.

3. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Kovalchuk O. Analysis of ways of

increasing the energy efficiency of traction electric transmission of shunting diesel locomotive. *COMPUTATIONAL PROBLEMS OF ELECTRICAL ENGINEERING*. 2019. Vol. 9. No. 1, P. 1 – 4.

4. Buriakovskiy S., Babaiev M., Liubarskiy B., Maslii Ar., Pomazan D., Karpenko N., Maslii An., Denys I. Quality assessment of control over the traction valve-inductor drive of a hybrid diesel locomotive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. No. 1, P. 68 –75.

Публікації у виданнях інших держав:

5. Buriakovskiy S., Liubarskiy B., Maslii A., Pomazan D., Tavrina T. Research of a hybrid diesel locomotive power plant based on a free-piston engine. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2020. Vol. 22. No. 3, P. 103 – 109.

Праці апробаційного характеру:

6. Буряковський С.Г., Помазан Д.П. Застосування моделювання для створення енергоефективного тепловозу. *Інформатика, управління та штучний інтелект: матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів, м. Харків (21 – 22 листопада 2017 р).* – Харків: НТУ «ХП», 2017. С. 25.

7. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П. Дослідження роботи гібридного тепловоза на імітаційній моделі. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 80 міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків (24 – 26 квітня 2018 р).* – Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 73.

8. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Деніс І.В. Дослідження режимів роботи тепловоза ЧМЕЗ за допомогою імітаційної моделі. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, м. Харків (16 – 18 травня 2018 р).* – Харків: НТУ «ХП», 2018. С. 182.

9. Buriakovskiy S., Liubarskiy B., Maslii A., Pomazan D., Panchenko V. and Maslii A. Mathematical Modelling of Prospective Transport Systems Electromechanical Energy Transducers on Basis of the Generalized Model. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 – Proceedings. IEEE, 05 – 07 June 2019. P. 76–79. DOI: 10.1109/ACITT.2019.8779998.*

10. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Карпенко Н.П., Маслій Н.В. Розрахунок тягового синхронного генератора з постійними магнітами маневрового тепловоза у програмному комплексі FEMM. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, м. Харків (15 – 17 травня 2019 р).* – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 224.

11. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D. Searching of The Optimum Configuration of The Traction Electric Transmission of The Shunting Locomotive. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019 – Proceedings. IEEE, 23 – 25 September 2019. P. 22–25. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896525.*

12. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Сафронов О.Е., Туренко О.Г. Підвищення енергоефективності маневрового тепловозу шляхом за-

стосування накопичувачів енергії. *Практические аспекты совместимости электромагнитной и молниезащиты*: тези доповідей V всеукраїнської науково-технічної конференції ПАСЕБ-2019, м. Харків (16 – 18 жовтня 2019 р). – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 24–25.

13. Буряковський С.Г., Маслій А.С., Помазан Д.П., Карпенко Н.П., Маслій Н.В. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку магнітних полів електромеханічних перетворювачів. *Практические аспекты совместимости электромагнитной и молниезащиты*: тези доповідей V всеукраїнської науково-технічної конференції ПАСЕБ-2019, м. Харків (16 – 18 жовтня 2019 р). – Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 27.

14. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Panchenko V., Overianova L., Omelianenko H. Multi-criteria Quality Evaluation of Energy Storage Devices for Rolling Stock Using Harrington's Desirability Function. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 – Proceedings*. IEEE, 12 – 14 May 2020. P. 158–163. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160105.

15. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Maslii A. Mathematical Modeling of Non-stationary Processes during Train Movement. *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 – Proceedings*. IEEE, 16 – 18 September 2020. P. 213–216. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208919.

16. Buriakovskiy S., Maslii A., Pomazan D., Maslii A., Panchuk O., Rybin A. Study of Methods for Charging of Energy Storage Devices of Railway Traction Units. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice, PAEP 2020 – Proceedings*. IEEE, 21 – 25 September 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240794.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

17. Пат. на корисну модель 122882, Україна, МПК F02B 7/04 (2006.01), F02B 7/00 (2006.01), H02J 3/00 (2006.01) Система генерування електричної енергії. Б.Г. Любарський, С.Г. Буряковський, А.С. Маслій, Д.П. Помазан. Заявка u201908198 від 14.07.2019; опубл. 10.02.2020, бюл. № 3.

8. Оцінка мови та стилю дисертації

Структура дисертації є чіткою та зрозумілою, мова викладення є граматною, стиль відповідає прийнятому в науковій літературі.

Загалом, структура, мова та стиль викладення дисертації відповідають вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

9. Основні недоліки та зауваження до роботи

Основні зауваження до роботи полягають у наступному:

1. У першому розділі дисертації при проведенні вибору типу бортового накопичувача енергії доцільно було б провести порівняльний аналіз електрохімічних, електричних та електромеханічних накопичувачів та визначити значення функції бажаності для кожного з них;

2. Не зовсім зрозумілим є вибір показників для визначення критерія бажаності та кількості. Доцільно порівняти ефективність критерія бажаності при виборі і формуванні моделі і методу експертного аналізу.

3. Під час проведення моделювання роботи асинхронного двигуна із векторною системою керування бажано було б навести окрім осцилограм швидкості обертання та зміни електромагнітного моменту двигуна також і осцилограми зміни напруги й струму, що дозволило б більш наглядно представити характер перехідних процесів;

4. Із тексту дисертації незрозумілим є чому перевірка адекватності моделі акумуляторної батареї проводилась шляхом порівняння розрядних характеристик із розрахунковими саме у діапазоні розрядних струмів від 154 до 2310 А;

5. При складанні розрахункової схеми тягового електроприводу тепловозу бажано було б навести критерії, за якими обрано саме одномасову схему, а не двомасову або багатомасову;

6. Із тексту дисертації не до кінця зрозуміло яким чином було враховано вплив маси поїзда на характер його руху ділянкою, тобто чи було враховано розподілений характер маси або вона була представлена матеріальною точкою без врахування розподілу та взаємодії між масами окремих вагонів;

7. У роботі не до кінця розкритим є питання відмови від застосування методів лінійного програмування при проведенні оптимізаційного пошуку та переходу до динамічного програмування;

8. Викликає деяку невизначеність призначення роботи модернізованого у роботі тепловоза: маневрова чи вивізна;

9. З метою представлення характеру впливу співвідношення потужностей джерел енергії на результат оптимізаційного пошуку методом прямого проходу доцільно було б навести оптимальні тахограма ведення поїзда із середньою швидкістю 40 км/год та різними значеннями співвідношення потужностей;

10. Із тексту дисертації незрозумілим є вибір кроку дискретизації довжини шляху, який дорівнює 100 м, при проведенні оптимізаційного обчислення із використанням принципу оптимальності Белмана;

11. Доцільно було б більш детально розкрити питання виконання розрахунку параметрів лінійного електромеханічного перетворювача електромагнітного типу у програмному комплексі FEMM;

11. Незрозуміло чому в якості прототипу для модернізації прийнято тепловоз ЧМЕЗ, термін експлуатації якого вже перевищує нормативний. У зв'язку з цим бажано було б показати економічну доцільність такої кардинальної та наукоємної модернізації.

Загальне враження від дисертації позитивне, а вказані недоліки не зменшують наукового теоретичного та практичного значення даної дисертаційної роботи, мають рекомендаційне спрямування і не знижують наукову цінність дисертації.

10. Рекомендація дисертації до захисту

Дисертація здобувача Помазана Д.П. на тему «Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза» відповідає вимогам п. 10 Тимчасового порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167, та рекомендується до розгляду і захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 27 «Транспорт» за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт».

11. Загальні висновки і рекомендації

1. Дисертаційна робота Помазана Д.П. на тему «Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза» є актуальним, завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, яке містить наукову новизну, практичну цінність, має теоретичне та практичне обґрунтування.

2. Робота використовує сучасний математичний апарат, передові теорії та методи, що забезпечують досягнення поставлених у ній мети та завдань.

3. Робота є цілісною науковою працею, в якій використані нестандартні підходи до розв'язання поставленої науково-прикладної задачі.

4. Матеріал роботи викладено стилістично грамотно та в логічній послідовності. Дисертант володіє методологією наукового пошуку, має достатньо широкий світогляд, володіє сучасними методами та прийомами прикладних наукових досліджень.

5. Дисертаційна робота здобувача Помазана Д.П. на тему «Підвищення енергоефективності системи «тепловий двигун – тяговий електропривод» тепловоза» виконана відповідно до вимог п.п. 9 – 18 Тимчасового порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167, та рекомендується до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

«___» _____ 20__ р.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

**Доктор технічних наук,
професор**

**Кандидат технічних наук,
доцент**



Олександр КРАШЕНІНІН



Сергій ЯЦЬКО