

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
на дисертаційну роботу
Заїки Дениса Олександровича
на тему: «Вдосконалення управління тяговою передачею
маневрових локомотивів шляхом використання
методів штучного інтелекту»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт
галузь знань 27 – Транспорт

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність задачі вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту обумовлена необхідністю покращення експлуатаційних характеристик та зниження витрат палива. Тягові розрахунки є важливою частиною науки про тягу поїздів, одним з основних заходів, що проводяться для організації залізничних робіт і проектування залізничних ліній. Методики тягових розрахунків включають в себе комплекс методів і прийомів з визначення маси поїзда, швидкості та часу руху по ділянці, витрати палива та електроенергії на тягу, а також у вирішенні задач з гальмування. Економічний ефект підприємств промислового залізничного транспорту, ефективність використання локомотивного та вагонного парку безпосередньо залежать від точності тягових розрахунків. В роботі доопрацьовано існуючі методи тягових розрахунків для маневрових локомотивів ЧМЕЗ шляхом врахування різної кількості підключених тягових електричних двигунів (n_{ted}) залежно від поїзної ситуації. Відповідно до даних АТ «Укрзалізниця» основну частину маневрового парку складають тепловози ЧМЕЗ. Маневрові локомотиви даної серії, які виготовлялися ще в 1970-х роках є застарілими та потребують проведення модернізації і впровадження нових сучасних методів інтелектуального автоматизованого управління, для покращення експлуатаційних характеристик та зменшення витрат палива під час виконання маневрової роботи.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до «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 № 44 від 12 січня 2022 р. із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №507 від 03.05.2024 р., вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 261 від 23 березня 2016 року із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №507 від 03.05.2024 р. Наукові результати отримані при виконанні науково-дослідних робіт, зокрема: «Модернізація маневрових тепловозів типу ЧМЕЗ шляхом впровадження системи дистанційного управління і контролю» (№ДР0121U107991) та «Розробка наукових засад комплексного підвищення

безпеки, ефективності експлуатації та управління критичними об'єктами залізничного транспорту в умовах післявоєнного розвитку України» (проект за грантової підтримки Національного фонду досліджень України, реєстраційний номер проєкту 2022.01/0224), у яких автор дисертації є виконавцем і автором звітів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і практичних рекомендацій, їх достовірність

Обґрунтованість та достовірність результатів, отриманих у дисертації Заїки Дениса Олександровича, підтверджується дотриманням методології наукових досліджень та конкретним використанням методів апроксимації, тягових розрахунків, методів штучного інтелекту, нечіткої логіки, методу теорії експертних оцінок, методу Мамдані.

Автор використав зазначені методи для створення математичної моделі руху маневрового локомотива ЧМЕЗ на різних варіантах підключення тягових електричних двигунів та створення математичної моделі інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою передачею.

У процесі дисертаційного дослідження автором використовуються дані, отримані в результаті аналізу вітчизняних та закордонних наукових статей, монографій, міжнародних конференцій та дисертацій. Використовуються також отримані результати розрахунку створеної математичної моделі з визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ, та дані отримані в результаті реалізації моделі інтелектуального автоматизованого управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ за допомогою програмного пакету MATLAB Fuzzy Logic.

На основі аналізу моделей, методів та даних, які використовує автор для вирішення поставлених науково-практичних завдань, можна зробити висновок, що отримані результати в достатній мірі обґрунтовані і достовірні. Все це дає підставу для висновку про достатню обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертації.

3. Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації

Положення дисертації, які містять наукову новизну, базуються на доопрацюванні методів тягових розрахунків для маневрової роботи; удосконаленні управління тяговою передачею маневрових локомотивів з використанням методів штучного інтелекту.

Найбільш значущі результати дослідження, які мають наукову новизну:

– вперше розроблено математичну модель руху маневрового локомотива ЧМЕЗ, яка дає можливість розрахувати основні параметри на часткових навантаженнях тягової передачі. Обмеженнями моделі є коефіцієнт зчеплення коліс з рейками, сили струму тягового генератора та двигунів, а також швидкість руху локомотива. Результатами розрахунку стали теоретично обґрунтовані дані для реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління;

– вперше створено математичну модель інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ. Модель використовує нечітку логіку та реалізується за допомогою методу Мамдані. Метод включає базу знань інтелектуальної системи яка для формалізації та представлення знань в пам'яті інформаційної системи використовує продукційну модель. Дані моделі використовують набір правил «Якщо-то» (продукцій), які визначають, які дії слід виконувати за певних умов. Ці правила дозволяють здійснювати висновок та приймати рішення на основі інформації отриманої за допомогою математичної моделі руху маневрового локомотива;

– доопрацьовано існуючі методи тягових розрахунків для маневрових локомотивів ЧМЕЗ шляхом введення коефіцієнту n_{ted} , що враховує кількість підключених ТЕД. Використання такого підходу дає можливість дослідити рух локомотива за різні варіанти підключення тягових електричних двигунів, даний режим роботи не використовувався в експлуатації раніше.

Наукові розробки обґрунтовані та відповідають темі дисертації, а висновки є достовірними, що підтверджується сукупністю представлених результатів.

У дисертації представлені нові теоретичні положення, ідеї та практичні рекомендації, які є аргументованими, вперше отримані дисертантом та сприяють вирішенню важливого науково-практичного завдання вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту.

4. Практичне значення результатів дисертації

Отримані результати та рекомендації розширюють теоретичну основу для впровадження інтелектуальних автоматизованих систем управління тяговою передачею маневрових локомотивів. Вирішені задачі дозволили: дослідити рух маневрового локомотива ЧМЕЗ на різних варіантах підключення ТЕД, такий режим раніше використовувався тільки в аварійних випадках; розробити та науково обґрунтувати модель автоматизованого управління тяговою передачею, яка враховує значення маси складу, середнє навантаження на вісь, параметри профілю колії, швидкість та кількість підключених ТЕД для роботи.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи Заїки Дениса Олександровича полягає в удосконаленні управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту.

Основні результати роботи впроваджено в ТОВ НВП «Локомотив Транс Сервіс», під час розробки автоматизованої системи управління тяговою електричною передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ, яка дозволила покращити процес управління тепловозом, завдяки розширенню режимів управління тяговою передачею. В результаті впровадження очікується економія палива під час виконання маневрової роботи локомотивом ЧМЕЗ в середньому на 14 літрів за 12-ти годинну робочу зміну, відповідний акт про впровадження представлений в ДОДАТКУ Б дисертації с. 150.

Додатково результати роботи впроваджено в навчальний процес Державного університету інфраструктури та технологій при підготовці магістрів за спеціальностями 273 «Залізничний транспорт» та 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка». В теоретичну складову дисципліни «Інтелектуальні технології в локомотивному господарстві» (обсяг дисципліни 6 кредитів, 15 лекцій, 30 лабораторних робіт, 15 практичних занять) додано теоретичні основи створення бази знань інтелектуальної системи управління тяговим рухомим складом. В практичну складову дисципліни «Інтелектуальні технології в локомотивному господарстві» (обсяг дисципліни 6 кредитів, 15 лекцій, 30 лабораторних робіт, 15 практичних занять) додано практичне заняття «Створення моделі автоматизованого керування тяговою електричною передачею маневрового локомотива шляхом використання методу Мамдані». Відповідний акт про впровадження представлений в ДОДАТКУ А дисертації с. 148.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформованих у дисертації, в наукових публікаціях

Матеріали дисертації опубліковані у чотирьох основних наукових працях, що відповідають п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого постановою КМУ № 44 від 12.01.2022 р. із змінами внесеними згідно з Постановою КМ №507 від 03.05.2024 р. , з яких одна праця у закордонних виданнях (індексована в наукометричній базі Scopus та має квартиль Q2), три праці у фахових виданнях затверджених МОН України. Також опубліковано сім додаткових праць (один патент України на корисну модель та шість праць апробаційного характеру, які доповідалися, обговорювалися та ухвалені на наступних конференціях: *Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*, (Vancouver February 2-4, 2022.), *15-та Міжнародна науково-практична конференції* (м. Херсон, 13-15 березня 2024 р.), *II-га Міжнародна науково-практична конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців*, (29-30 листопада 2023 р.), *I-ша Міжнародна мультидисциплінарна науково – практична конференція молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців* (м. Київ, 6-7 квітня 2023 р.), *II-га Всеукраїнська науково-практичної конференція* (м. Київ, 3-5 квітня 2024 р.), *Proceedings of I International Scientific and Practical Conference* (Boston, August 22-24, 2024).

6. Відсутність порушення академічної доброчесності

Результати перевірки роботи сервісом StrikePlagiarism, аналізу публікацій здобувача, тексту дисертаційного дослідження та використаних джерел, свідчать про відсутність порушення принципів академічної доброчесності.

7. Структура та зміст дисертаційного дослідження

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Повний обсяг складає 180 сторінок, у тому числі 103 сторінки основного тексту, 34 сторінки додатків, 10 таблиць, 50 рисунків. Розташовані на окремих сторінках таблиці та рисунки займають 24 сторінку. Список використаних джерел включає 100 найменувань на 13 сторінках.

Зміст анотації є узагальненим коротким викладом основного змісту дисертації та висвітлює її основні наукові положення, висновки і рекомендації. Анотацію подано державною та англійською мовами. В анотації стисло представлені основні результати дослідження із зазначенням наукової новизни та практичного значення.

У вступі наведено обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, описано зв'язок роботи з науковими темами, визначено мету і завдання наукових досліджень, наукову новизну і практичне значення результатів роботи, особистий внесок здобувача, інформацію щодо апробації результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз існуючих робіт які пов'язані з тяговими розрахунками рухомого складу (с. 28–29). Описані основні властивості тягового електричного двигуна, які виражаються робочими характеристиками, які діляться на електромеханічні характеристики, віднесені до валу ТЕД і електротягові характеристики на ободі рушійних коліс. Проаналізовано існуючу електромеханічну характеристику ТЕД ТЕ006 (с. 30). Приведено основні формули для визначення опору руху рухомого складу. Використовуючи існуючу тягову характеристику, струмову характеристику тягового генератора, навантажувальну характеристику маневрового локомотива ЧМЕЗ, було отримано аналітичні вирази за допомогою методу апроксимації. Автором зазначено, що дані вирази увійшли в математичну модель руху маневрового локомотива. На сторінках з 45-ї по 57-у було проаналізовано сучасний стан розвитку залізничного транспорту з використанням методів штучного інтелекту. Відповідний аналіз дозволив сформулювати наукову гіпотезу, яка представлена на сторінці 65.

У другому розділі розроблено математичну модель для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ на різних схемах підключення ТЕД. Основний математичний апарат який використовується в моделі висвітлено на сторінці 65. Модель має обмеження за: коефіцієнтом зчеплення коліс з рейками; швидкістю руху локомотива; струму тягового електричного генератора; струму ТЕД; перевищення температури ТЕД над навколишнім середовищем. Результатами розрахунку моделі стали графічні залежності роботи маневрового локомотива з 3-ї по 8-му позицію контролера машиніста для двох варіантів підключення ТЕД, а саме руху на чотирьох ТЕД та шести. Для аналізу була обрана ділянку довжиною 300 метрів. Встановлено, що такий режим руху дозволить покращити ефективність експлуатації та зменшити витрати палива протягом 12-ти годинної робочої зміни (с. 88). Отримані значення коефіцієнту корисної дії (с. 84) підтверджують можливість впровадження даного режиму руху локомотива, який на існуючих локомотивах

є аварійним режимом. Результати роботи дозволяють оцінити можливість введення такого режиму руху, як штатного режиму.

У третьому розділі представлено модель інтелектуального автоматизованого управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ, яка базується на методах штучного інтелекту, зокрема на методах нечіткої логіки та реалізується за допомогою методу Мамдані (с. 92). На сьогоднішній день інтелектуальні системи керування отримали значний розвиток у техніці. Дані технології дозволяють створювати більш адаптивні, надійні та ефективні системи, які здатні краще реагувати на змінні умови і невизначеності. Розроблено нечітку базу знань інтелектуальної автоматизованої системи використовуючи отримані результати розрахунку математичної моделі для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива. Перелік логічних правил які входять в нечітку базу знань представлено у вигляді продукцій ДОДАТОК І (с. 174). Для програмування моделі використано пакет розширення Fuzzy Logic MATLAB.

В процесі розробки автоматизованої системи було визначено перелік факторів, що впливають на прийняття керуючого рішення при управлінні тяговою електричною передачею маневрового локомотива. Для запропонованої системи використовується 54 нечітких логічних правил, а для подальших досліджень пропонується розширити базу, додавши правила про виконання маневрової роботи локомотивом з 15-тю 4-х вісними вагонами.

Результатами розрахунку автоматизованої моделі управління тяговою передачею маневрового локомотива є керівні сигнали. За допомогою яких, можна реалізувати оптимальний режим руху для конкретного поїзда та ділянки експлуатації. В даному вигляді модель автоматизованої системи управління тяговою передачею локомотива показує свою адекватність.

Для фазифікації вхідних та вихідних величин в основному використовуються характеристичні функції трапецієвидної та трикутної форми.

У четвертому розділі визначено витрати та економію палива маневровим локомотивом ЧМЕЗ за робочу зміну, при різних варіантах роботи тягової електричної передачі.

Створено таблицю відсоткового використання позиції контролера машиніста за 12-ти годину робочу зміну (с. 124). Розраховано показники витрати палива за годину роботи тепловоза на різних варіантах підключення ТЕД. Створено таблиці загального значення витрати палива на кожній із позицій контролера машиніста протягом поїздки на шести ТЕД, та використовуючи змішане підключення чотирьох та шести ТЕД.

Відповідно до представлених розрахунків використовувати змішане підключення ТЕД доцільно, оскільки за 12-ти годинну роботу локомотива можна зменшити витрати палива на 12,31 кг, що складає 14,66 літрів. У зв'язку з військового станом та постійним зростанням цін на дизельне паливо в Україні, важливості набувають питання підвищення продуктивності маневрових тепловозів та зменшення ними споживання дизельного палива в будь яких розмірах.

Річна економічна ефективність системи складає 567 108 тис. грн. (с.128). Термін окупності становить вісім місяців та три тижні.

У висновках автором викладено найбільш важливі наукові та практичні результати дослідження, що відповідають поставленій меті та завданням дослідження.

Дисертаційна робота Заїки Дениса Олександровича за змістом, структурою та оформленням відповідає вимогам до дисертацій. Наукові положення рецензованої дисертаційної роботи базується на широкому використанні фундаментальних дослідженнях, як вітчизняних, так і закордонних фахівців, наукових доповідей та матеріалів наукових конференцій. Ґрунтовність джерел, на які посилається дисертаційна робота не викликає сумнівів. Наукова обробка літературних джерел здійснена на достатньо глибокому і конкретному рівні.

8. Дискусійні положення та зауваження

Оцінюючи в цілому достатній рівень теоретичного і методичного обґрунтування наукових висновків та пропозицій, необхідно відмітити, що деякі положення є дискусійними та/або викликають певні зауваження (пропозиції).

1. В математичній моделі для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива в подальших дослідженнях слід розширити діапазон шляху на якому виконується експеримент.

2. В подальших дослідженнях в математичній моделі для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива слід врахувати не тільки ідеальні умови експлуатації та стану рухомого складу, а також дослідити вже працюючі локомотиви, які закріплені за відповідним депо, та створити для них тягові характеристики, струмові характеристики та ін. Це дозволить оцінити розбіжності розрахункових даних від реальних та покращити точність моделі.

3. Для універсальності автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрових локомотивів слід дослідити більшу кількість локомотивів, їх технічний стан та стан тягової передачі. Дані характеристики допоможуть в створенні універсальної нечіткої бази знань для системи управління.

4. Для створення бази знань інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ, проведено фазифікацію вхідних параметрів таких, як сила тяги, швидкість руху, маса складу, струм тягового генератора, струм ТЕД, температура перевищення ТЕД над навколишнім середовищем. Для кожного із вхідних параметрів використовується діапазон понять в множині функції такий, як: [дуже малий, малий, середній, великий, дуже великий]. Для збільшення точності системи слід дослідити вибір та обґрунтування кожної функції приналежності та розширити перелік даних понять до: [дуже малий, малий, нижче за середній, середній, вище за середній, великий, дуже великий].

5. В моделі інтелектуального автоматизованого управління тяговою передачею маневрового локомотива, на виході з системи в розділі «Необхідне положення органів керування» сигнали «Положення рукоятки крану ум.№ 395» та «Положення рукоятки крану ум.№ 254» представлені, як чіткі. Положення даних кранів, відповідає «ІІ-поїзному» це означає, що система не має впливу на гальмівне обладнання, а тільки отримує сигнал від датчиків, про положення

органів гальмування. В дослідженні слід було приділити більшу увагу процесам гальмування, бо це безпосередньо впливає на безпеку руху.

6. На сторінці 87 в реченні: «Перевищення температури над навколишньою середою» слід вжити термін «над навколишнім середовищем».

7. В роботі допущено орфографічні та пунктуаційні помилки і неточності, а саме: на сторінці 88 не вистачає крапки перед реченням: « В результаті можна зробити висновок...»; на сторінці 95 не вистачає коми після формули (3.4); на сторінці 95 допущено орфографічну помилку в слові: «Під-умов», за правилами дане слово пишеться разом; на сторінці 122 допущено орфографічну помилку в слові «Експертних оцінок».

Загалом наведені зауваження та дискусійні аспекти не зменшують теоретичної та практичної цінності результатів дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку. Вони радше є рекомендаціями для подальшого розширення предмету майбутніх наукових досліджень.

9. Загальний висновок за дисертаційним дослідженням

У дисертаційній роботі достатньо інформативно відображено основні результати наукових досліджень, а матеріал викладено на достатньому науковому рівні.

Дисертаційна робота Заїки Дениса Олександровича на тему «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту» є завершеною науковою роботою, в якій запропоновано нові теоретичні положення і науково-практичні рекомендації щодо удосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання інтелектуальних автоматизованих систем, які базуються на методах штучного інтелекту.

Висновки за дисертацією в повній мірі охоплюють результати дослідження і є коректними. Результати проведених здобувачем досліджень мають істотне значення для спеціальності 273 – Залізничний транспорт, зокрема для розвитку систем управління локомотивами. Публікації повною мірою розкривають зміст дисертаційної роботи.

Дисертація Заїки Дениса Олександровича на тему: «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту» відповідає спеціальності 273 – Залізничний транспорт, за формою і змістом відповідає вимогам «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 № 44 від 12 січня 2022 р. із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №507 від 03.05.2024 р., вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 261 від 23 березня 2016 року із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №507 від 03.05.2024 р.

Вважаю, що дисертаційне дослідження на тему: «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту» відповідає встановленим вимогам, а її автор Заїка Денис Олександрович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 273 – Залізничний транспорт галузі знань 27 – Транспорт.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри «Локомотиви»
Українського державного університету
науки і технологій

 Дмитро БОБИРЬ

