

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації 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»

Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації створений після публічної презентації результатів дисертації Заїки Дениса Олександровича та її обговоренні (протокол №1 від 3 грудня 2024 року додається), Державного університету інфраструктури та технологій, що реалізує освітньо-наукову програму (ОНП) «Залізничний транспорт» за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт, галузь знань 27 «Транспорт».

За результатами публічної презентації дисертаційної роботи на тему: «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту», виконаної здобувачем кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Заїкою Денисом Олександровичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт», галузь знань 27 «Транспорт», що відбулася на розширеному засіданні кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій протокол № 1 від 03.12.2024 р., та основі вивчення та аналізу наукових публікацій здобувача, дійшли такого висновку:

Науковий рівень дисертації відповідає чинним вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, наукова новизна отриманих результатів обумовлена новим рішенням наукового завдання вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами. 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 проекту 2022.01/0224), у яких автор дисертації є виконавцем і автором звітів.

Актуальність теми дослідження. Розвиток залізничного транспорту потребує постійного вдосконалення методів управління локомотивами, зокрема, маневровими, які відіграють важливу роль в організації залізничних перевезень. Ефективне використання локомотивів є основним завданням для залізниць. За

2021 – 2023 роки суттєво погіршилися основні експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту : вантажообіг, пасажирообіг, середньодобова продуктивність локомотиву. Відповідно до даних АТ «Укрзалізниця» на 01.01.2024р. інвентарний парк маневрових тепловозів складається з 1247 одиниць, в експлуатуючому парку – 817 одиниць. Інвентарний парк маневрових локомотивів серії ЧМЕЗ налічує 1014 одиниць з них 736 використовується в експлуатації. Експлуатуючий парк маневрових локомотивів перебільшив свій середній вік майже на 40 років. Працюючі тепловози при маневровій роботі використовують здебільшого режими часткового навантаження, за рахунок неможливості працювати на повну потужність.

Аналізуючи вище наведені фактори, які впливають на ефективне використання локомотивів, можна зробити висновок, що для покращення експлуатаційних характеристик, необхідно проводити модернізацію, та впроваджувати нові сучасні методи інтелектуального автоматизованого управління та діагностики локомотивів.

Об'єктом дослідження є тягова передача маневрових локомотивів.

Предметом дослідження є методи та моделі інтелектуального управління тяговою передачею маневрових локомотивів.

Науковим завданням в дисертаційній роботі визначено вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту.

Мета дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту.

Завдання дослідження.

1. Дослідити існуючі методи тягових розрахунків; методи визначення опору руху рухомого складу; тягову характеристику; струмову характеристику тягового генератора; навантажувальну характеристику та витрати палива в режимі тяги маневрового локомотива ЧМЕЗ, виконати апроксимацію даних характеристик для отримання аналітичних виразів;

2. виконати аналіз існуючих систем автоматизованого керування на основі теорії штучного інтелекту;

3. розробити математичну модель визначення тягово – енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ на часткових навантаженнях тягової електричної передачі;

4. виконати розрахунок коефіцієнту корисної дії тягової електричної передачі маневрового локомотива ЧМЕЗ з урахуванням часткових режимів навантаження;

5. створити базу знань інтелектуальної моделі автоматизованого управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ;

6. розробити математичну модель інтелектуальної системи автоматизованого управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ;

7. визначити економічну доцільність використання запропонованого методу управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ.

Нові наукові результати. 1. *Вперше* розроблено математичну модель для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ, яка на відміну від існуючих, має можливість визначення основних параметрів на часткових навантаженнях передачі. За результатами моделі отримано теоретично обґрунтовані данні для реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою електричною передачею локомотива у всьому діапазоні навантажень.

2. *Вперше* розроблено математичну модель інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотивом ЧМЕЗ, використовуючи метод експертних оцінок та методи нечіткої логіки, зокрема, алгоритм Мамдані, що включає базу знань інтелектуальної системи, яка для формалізації та представлення знань в пам'яті інформаційної системи використовує продукційну модель, поєднуючи елементи логічних та мережевих підходів керування.

Автором *доопрацьовано* існуючі методи тягових розрахунків, шляхом врахування різної кількості підключених ТЕД (n_{ted}) відповідно до поїзної ситуації. Використання такого методу дозволило провести об'єктивне оцінювання роботи маневрового локомотива ЧМЕЗ на різних варіантах підключення ТЕД.

Практична значимість основні наукові результати роботи впроваджені в ТОВ НВП «Локомотив Транс Сервіс» при модернізації маневрових тепловозів типу ЧМЕЗ шляхом удосконалення систем управління тяговою електричною передачею. Результати роботи впроваджені у навчальний процес ДУІТ при підготовці магістрів за спеціальностями 273 «Залізничний транспорт», та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійних програм «Локомотиви та локомотивне господарство», та «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися методи апроксимації в розділі 1, підпунктах 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 для отримання аналітичних виразів, які ввійшли в основу математичної моделі для визначення тяго-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ. Використовуючи методи тягових розрахунків в розділі 2, підпункті 2.1 розроблено математичну модель для визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ. Методи штучного інтелекту використано в розділі 3, підпункті 3.1 для розробки бази знань інтелектуальної автоматизованої системи управління з можливістю самонавчання. Методи нечіткої логіки використані в розділі 3, підпункті 3.2 для фазифікації вхідних сигналів бази даних інтелектуальної автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотива. Метод Мамдані використано в розділі 3, підпункті 3.2 для реалізації розробленої інтелектуальної моделі автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотива ЧМЕЗ.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати дисертації отримані автором особисто. В основних наукових роботах, які написані в співавторстві, здобувачеві належать:

- аналіз робіт у галузі штучного інтелекту та теорії управління локомотивом;
- розроблено математичне моделювання нечіткого класифікатора;
- створено модель СІПР у програмному пакеті Matlab, проведено експериментальне дослідження СІПР;
- розроблено структуру ієрархії значущих критеріїв для вибору нових локомотивів, виконано розвинення методу Saaty шляхом перетворення ієрархії у штучну нейронну мережу;
- проведено апроксимацію існуючих характеристик маневрового локомотива ЧМЕЗ, побудовано математичну модель руху маневрового локомотива ЧМЕЗ;
- розроблено математичну модель автоматизованої системи управління тяговою передачею маневрового локомотива, використовуючи методи нечіткої логіки та метод експертних оцінок. Для запропонованої моделі використовується алгоритм Мамдані. Алгоритм включає базу знань інтелектуальної системи, яка для формалізації та представлення знань в пам'яті використовує продукційну

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та ухвалені на 6-ти конференціях: *Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*, (Vancouver February 2-4, 2022.), *15-та Міжнародна науково-практична конференція* (м. Херсон, 13-15 березня 2024 р.), *II-га Міжнародна науково-практична конференція 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).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані у 11 наукових працях, з яких 1 праця у закордонних виданнях (індексовані в наукометричній базі Scopus та має кuartиль Q2), 3 праці у фахових виданнях затверджених МОН України, а також 7 додаткових праць (1 патент України на корисну модель та 6 праць апробаційного характеру).

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

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

Основні наукові праці:

1. Gorobchenko, O., Holub, H., & Zaika, D. (2024). Theoretical basics of the self-learning system of intelligent locomotive decision support systems. *Archives of Transport*, 71(3), 169–186. <https://doi.org/10.61089/aot2024.gaevsp41> (Q2)

2. Gorobchenko, O., Matsiuk, V., Holub, H., Zaika, D., & Gritsuk, I. (2023). The theoretical basis of the choice of new locomotives for Ukraine in the post-war period. *Transport Systems and Technologies*, (42), 34–44. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-42-3>

3. Горобченко, О. М., & Заїка, Д. О. (2024). Створення математичної моделі визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, (208), 146–162. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>

4. Gorobchenko, O., & Zaika, D. (2024). Creation of a model of automated traction control of maneuvering locomotives by using artificial intelligence methods. *Transport Systems and Technologies*, (44), 8–26. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-44-1>

Праці апробаційного характеру:

5. Горобченко, О. М., & Заїка, Д. О. (2022). Огляд методів та перспективи використання штучного інтелекту на залізничному транспорті. *Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*, Vancouver, Canada, February 2–4, 2022 (pp. 184–192).

6. Горобченко, О. М., & Заїка, Д. О. (2024). Дослідження тяго-енергетичних показників маневрового локомотива ЧМЕЗ на різних варіантах підключення тягових електричних двигунів. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: тези доп. учасників 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Херсон, Україна, 13-15 березня 2024 р. (с. 52–54.) Херсон: ХДМА.

7. Замостян, Ю. М., & Заїка, Д. О. (2023). Аналіз систем залізничної автоматизації SIEMENS AG. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: тези доповідей учасників II-ї Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців*, м. Київ, Україна, 29–30 листопада 2023 р. (с. 112–117). Київ: ДУІТ.

8. Романчук, Б. О., & Заїка, Д. О. (2023). Інновації та перспективи діагностування параметрів тягового електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням за допомогою програмного забезпечення MATLAB SIMULINK r2022b. *Сучасна наука: тези доповідей I-ї Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців*, м. Київ, Україна, 6–7 квітня 2023 р. (с. 103–107). Київ: ДУІТ.

9. Zakharchenko, K., & Zaika, D. (2024). Automatic train control system overview. *Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України: тези доповідей учасників II Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Київ, Україна, 3–5 квітня 2024 р. (с. 77–79). Київ: ДУІТ.

10. Gorobchenko, O., Zaika, D., Holub, H., & Kulbovskiy, I. (2024). Development of an intelligent control model for a maneuvering locomotive using the Mamdani method. *Innovations and Prospects of World Science. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference: Current Trends in Scientific Research Development*, Boston, USA, August 22–24, 2024 (pp. 70–77).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Горобченко, О. М., Винокуров Д. В., Гулак С. О., Заїка, Д. О., Малюк С. В., Твердомед В. М., & Неведров О. В. (2022). Пристрій автоматизованого діагностування кіл керування електровозів ЧС-4 (Пат. на корисну модель № 151531). Україна: G05B 23/00 G05B 23/02. № u202103250. Заявл. 10.06.2021; опубл. 10.08.2022, Бюл. № 32.

Дисертація здобувача Заїки Дениса Олександровича на тему «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту» відповідає спеціальності 273 – Залізничний транспорт, 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..

Дисертація Заїки Дениса Олександровича на тему «Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту» рекомендується до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт, галузь знань 27 «Транспорт».

Головуючий на засіданні
міжкафедрального
наукового семінару Київського
інституту залізничного
транспорту Державного
університету інфраструктури та
технологій, зав. каф.
електромеханіки
та рухомого складу залізниць,
д-р. техн. наук, професор



Віктор ТКАЧЕНКО

Секретар міжкафедрального
наукового семінару к.т.н., доцент



Сергій ГУЛАК