

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Пузиря Володимира Григоровича на дисертацію **Неведрова Олександра Вікторовича «Розвиток теоретичних основ інтелектуальних систем керування локомотивом»**, що подана до захисту на здобуття ступеня доктора філософії із галузі знань 27 – «Транспорт» за спеціальністю 273 – «Залізничний транспорт»

Робота виконана в Державному університеті інфраструктури та технологій (м. Київ) Міністерства освіти і науки України.

1. Актуальність теми дисертації, зв'язок з науковими програмами.

Транспорт, як галузь господарської діяльності, набуває дедалі більшої ваги для економіки країни. Логістичні зв'язки будь-якого підприємства потребують чіткої та безпечної роботи перевізників. Залізничний транспорт не є виключенням і забезпечує суттєву частину перевезень вантажів та пасажирів в Україні. Безпека на залізничному транспорті завжди була тією базою, на якій ґрунтувалося його функціонування і на поточний момент це система управління безпекою перевезень, заснована на виявленні і усуненні джерел небезпеки та здійсненні контролю за ризиками з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків.

Разом з тим, розвиток суміжних галузей, бурхливе вдосконалення інформаційних технологій та технічних засобів з ними пов'язаних, призводять до дедалі більшої інтелектуалізації праці. На різних рівнях управління залізничним транспортом вона проявляється по-різному, але саме у локомотивному господарстві, яке забезпечує процес перевезень тяговими ресурсами, ефект інтелектуалізації праці локомотивної бригади може бути найсуттєвішим. То ж, дисертаційну роботу Неведрова О.В., що спрямована на подальше вдосконалення інтелектуалізації управління локомотивом слід вважати цілком актуальною.

Для детального розгляду здобувачем було обрано методи та моделі прийняття рішень під час автоматизованого процесу керування локомотивом, що охоплює професійну діяльність залізничних операторів з найбільшим рівнем впливу на безпеку – машиністів локомотивів. Сформульована автором мета дисертаційної роботи спрямована на розвиток теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту.

Дисертаційна робота містить матеріали науково-дослідних робіт, які виконувалися в Державному університеті інфраструктури та технологій: «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 та співавтором звітів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.

Дисертаційна робота Неведрова О.В. є завершеним, логічно побудованим науковим дослідженням, результати якого є достатньо аргументованими та обґрунтованими, що підтверджує їх достовірність. Завдання дисертації, обрані автором, відповідають меті, об'єкту та предмету дослідження.

У дисертаційній роботі автором досліджено математичні моделі оцінки керуючих дій під час ведення поїзда та розглянуто методологічні основи підвищення якості керування за рахунок використання теорії розпізнавання образів. Наведені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані, базуються на глибокому аналізі публікацій

вітчизняних на закордонних дослідників інтелектуалізації праці операторів транспорту та практичних розрахунках проведеного експерименту.

3. Структура та зміст дисертаційного дослідження.

Дисертація Неведрова О.В. складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, вступу, 4 розділів та висновків. Повний обсяг складає 147 сторінок, у тому числі 115 сторінок основного тексту, 9 таблиць, 25 рисунків. Розташовані на окремих аркушах рисунки займають 6 сторінок. Список використаних джерел включає 115 найменувань на 13 сторінках, акти впровадження результатів від 2 організацій на 4 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи та її зв'язок з науково-дослідними програмами. Визначено мету і завдання досліджень, наведено методи досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Сформульовано об'єкт і предмет дослідження. Визначений особистий внесок здобувача у працях зі співавторами. Наведено перелік наукових заходів, на яких проходила апробація результатів досліджень, а також структуру та обсяг дисертації.

У **першому** розділі наведено аналіз праць провідних вчених щодо впливу людського чинника на безпеку перевезень та статистичних даних по вітчизняних залізницях та закордонних компаніях стосовно причин та наслідків транспортних подій (стор. 22-26). Огляд сучасних ергономічних та технічних рішень в управлінні локомотивом (стор. 27-31) дозволяє автору стверджувати, що в теперішній час, не зважаючи на розвиток систем автоматичного керування та контролю ведення поїздів, не вдалося повністю уникнути шкідливих впливів людського фактору на процес керування поїздом.

Подальший аналіз робочого місця машиніста локомотива (стор. 37-41), як однієї з ланок ергатичної людино-машинної системи виконано автором для оцінки ефективності подачі інформації від індикаційних пристроїв

локомотива. Детально розглянуто конструктивні особливості пультів управління вітчизняних локомотивів, наведено результати ергономічних оцінок кабін машиністів закордонними дослідниками. В цілому це привело автора до висновку, що розташування приладів контролю та керування на більшості локомотивів, що експлуатується Укрзалізницею, не оптимальне з точки зору сучасного уявлення про психофізіологічне навантаження машиніста локомотива.

Запропоновані шляхи підвищення якості підготовки локомотивних бригад (стор. 41-45) базуються на тому, що найбільш ефективним засобом навчання і тренування машиністів є спеціалізовані тренажерні комплекси, які оснащені спеціальними технічними пристроями і програмами, що розширюють і поліпшують професійні можливості машиністів під час роботи на реальному локомотиві. Для раціональної насиченості таких тренажерів алгоритмами оптимального ведення та оцінки дій машиніста необхідно мати певну класифікацію поїзних ситуацій, що автор реалізував через аналіз можливих методів класифікації (стор. 31-36) та дійшов висновку щодо застосування методу кластерного аналізу як найбільш коректного для вирішення задачі розпізнавання поїзних ситуацій.

Другий розділ присвячено розробленню математичної моделі оцінки керуючих дій під час ведення поїзда. Перш за все здійснено аналіз факторів, що впливають на виникнення помилок машиністів локомотивів (стор. 48-52). Цій проблемі приділяла увагу значна кількість дослідників з різних країн, що дало змогу автору запропонувати наступну класифікацію помилок з вини людини, а саме: помилки управління через неправильне виконання встановлених процедур; помилки технічного обслуговування з-за неякісного ремонту обладнання або недбалості під час проведення передрейсового контролю; помилки проектування; помилки контролю у процесі приймання; привнесені помилки для яких неможливо визначити – виникли вони з вини людини чи пов'язані з обладнанням.

Критерій оптимальності керуючої діяльності машиніста (стор. 52-60) з множини допустимих керуючих рішень автор пропонує здійснювати наступним чином: вибір критерію може проводитися неоднозначно через суперечливість цілей, які знаходяться в протиріччі; якщо потрібно оптимізувати один з параметрів при дотриманні обмежувальних вимог на інші параметри, то формується частковий критерій; за наявності декількох критеріїв оптимальності вибирається адитивний критерій; якщо суттєву роль відіграють зміни часткових критеріїв застосовується мультиплікативний критерій оптимальності; якщо необхідно досягти рівності нормованих значень конфліктних часткових критеріїв застосовується мінімаксний критерій.

Для оцінювання якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив» (стор. 60-67) автором обраний підхід, за якого показники надійності повинні бути єдиними для всіх ланок цієї системи і містити в собі в явному вигляді показники надійності її окремих ланок - машиніста і локомотива. Однак, якщо з методичної точки зору доцільно представляти людину-оператора як одну з ланок системи то і слід зважати на те, що людина є специфічною ланкою із властивими тільки їй особливостями і використання існуючої теорії надійності при оцінці діяльності людини має обмежений характер. Якість роботи передбачається оцінювати комплексним критерієм, який складається з часткових показників, що утворюють оцінки які відображають ту чи іншу властивість системи керування. Для застосування автором було обрано декілька часткових критеріїв, а саме: частковий критерій безпеки руху; частковий критерій витрати енергоресурсів на тягу поїздів; частковий критерій дотримання графіку руху поїзду. На величини цих критеріїв впливають багато чинників, що являють собою як якісні, так і кількісні показники. Тому запропоновано укрупнену ієрархічну класифікацію у вигляді дерева логічного висновку (рис. 2.13, стор 65). Елементи ієрархічного дерева визначаються наступним чином: корінь дерева – якість процесу функціонування ергатичної системи «поїзд-машиніст»;

термінальні вершини – часткові впливаючі фактори; нетермінальні вершини – згортання впливаючих факторів; дуги графа, що виходять з нетермінальних вершин – часткові критерії впливу.

3 розділ (стор. 68-103) автор присвятив методологічним основам підвищення якості керування локомотивом шляхом використання теорії розпізнавання образів. Зокрема з'ясовано, що під час керування поїздом машиніст часто знаходиться в складних обставинах, обумовлених одночасним знаходженням у декількох поїзних ситуаціях з орієнтовного переліку ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом. То ж автор вважає необхідним визначити усі можливі комбінації поїзних ситуацій для визначення підходів до керування локомотивом у кожній з них. Оскільки кожна поїзна ситуація характеризується множиною факторів, що її описують то для наочного зображення співвідношень між підмножинами універсальної множини використано діаграми Ейлера-Венна (рис. 3.2 стор. 70). Такі діаграми визначають логічний зв'язок між різними варіантами одночасного виникнення різних поїзних ситуацій, що дозволяє визначити та формалізувати критерій, за яким оцінюється поточна поїзна обстановка.

Формальна постановка автором задачі класифікації поїзних ситуацій (стор. 72-74) зведена автором до того, що об'єкти класифікації розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу. Сукупність ознак, які відносяться до одного образу, є вектором ознак. Вектори ознак приймають значення в просторі ознак. В рамках задачі розпізнавання вважається, що кожному образу ставиться у відповідність єдине значення вектора ознак і навпаки: кожному значенню вектора ознак відповідає єдиний образ. Класифікатором або вирішальним правилом є правило віднесення образу поїзної ситуації до одного з класів на підставі його вектору ознак.

Диференціювання поїзних ситуацій пропонується здійснювати за допомогою кластерного аналізу (стор 74-91). Порядок його здійснення

дозволяє виділяти кластери як завгодно складної форми за умови, що різні частини таких кластерів з'єднані ланцюжками близьких один до одного елементів. Мірою відмінності обрано квадрат евклідової відстані.

Запропоновано підхід до визначення вагових коефіцієнтів поїзних ситуацій. Для цього введено ієрархію ситуацій за режимами руху (безпечний режим; режим, що потребує підвищеної уваги; небезпечний режим). Всі групи критеріїв, самі критерії та варіанти порівнюються один з одним за шкалою 1..9 за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. В результаті отримано об'єктивну оцінку для порівняння різних ситуацій при веденні поїзду: найбільш загрозливими є ситуації s_{10} - рух у несприятливих погодних умовах, s_{11} - перешкода попереду, s_7 - рух під червоний на спуск (рис 3.4 стор.90).

Для вибору інформативного набору ознак із розпізнавання поїзних ситуацій автор вирішальним критерієм інформативності пропонує вважати величину втрат від помилок. Навіть якщо розподіли генеральної сукупності відомі, обчислення втрат пов'язано з дуже великими витратами машинного часу. У зв'язку з цим необхідно знайти критерії, більш просто обчислювані і разом з тим жорстко пов'язані з оцінкою втрат. Проаналізовані алгоритми, серед яких найбільш розповсюджені: метод послідовного скорочення (алгоритм Del); метод послідовного додавання ознак (алгоритм Add); метод випадкового пошуку з адаптацією (алгоритм ВПА). Останній було визнано таким, що має суттєві переваги над алгоритмами Add, Del та DelAdd.

Використання методу випадкового пошуку з адаптацією для визначення кола найбільш інформативних ознак поїзних ситуацій (стор 98-101) було реалізовано автором до множини ознак з 25 членів, сформованих в результаті аналізу інформаційних потоків, що виникають при керуванні поїздом. Після певної кількості циклів пошуку та адаптації процес стабілізується і таким чином обрано ознаки, що мають найбільшу інформативність, а саме: швидкість руху; вільність колії попереду; відстань

до сигналу; загальна оцінка стану гальм поїзду; відхилення витрати енергоресурсів на тягу від норми.

У **четвертому** розділі наведено результати практичної реалізації запропонованих заходів в локомотивному господарстві та навчальному процесі. Запропоновано основні вимоги до програмного забезпечення локомотивних систем підтримки прийняття рішень (стор. 104-109). Показано, що найбільш ефективне застосування інтелектуальних технологій можливе лише у випадку поєднання з використанням сучасного обладнання. Стосовно залізничного транспорту це означає, що впровадження систем підтримки прийняття рішень (СППР) повинно передбачатися на етапі проектування та реконструкції основних об'єктів інфраструктури або транспортних засобів. Певний акцент автором здійснено також на забезпеченні повноти безпеки програмного забезпечення для таких систем (стор. 107-109).

Локомотивні СППР мають свої особливості, які полягають (в першу чергу) у обмеженості часу на прийняття рішень і дуже високій ціні невірних рішень. Крім того це і надширокий спектр поточних ситуацій, в яких опиняється локомотивна бригада як суб'єкт керування; велика кількість об'єктів керування (локомотивів), на яких потрібно оновлювати актуальні бази знань; можливість адаптації під різні умови поїзної роботи та зміни в нормативній документації. То ж автором сформовано основні завдання локомотивних СППР (стор. 110-113).

Експериментальне дослідження ефективності запропонованої моделі визначення напруженості роботи машиніста (стор. 113-121) здійснювалось на базі тренажерного комплексу для підготовки машиністів локомотивів в Державному університеті інфраструктури та технологій. Тренажер являє собою програмно-апаратний комплекс, що містить реальну кабіну машиніста зі всіма органами керування поїздом, мультимедійний проектор та екран, програму-тренажер, що виводить на екран реальну ділянку залізниці від станції Київ-Пасажирський до станції Фастів (рис. 4.1, 4.2 стор. 115-116).

Проведений експеримент дав змогу отримати дані щодо параметру напруженості роботи машиніста в умовах, коли він одночасно знаходиться у декількох складних ситуаціях (табл .4.2, стор. 121). Це підтвердило достатню адекватність розробленої моделі визначення напруженості роботи машиніста. Похибка розрахункових і експериментальних даних у перерахунку на відносні одиниці не перевищила 16%.

Автором обґрунтована економічна доцільність впровадження локомотивних СППР (стор. 121-126) з розрахунком терміну їх окупності, яка не перевищує 2 роки.

У **загальних висновках** (стор. 129-130) автор виклав у стислій формі результати роботи, яка присвячена вирішенню актуального наукового завдання розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом шляхом використання методів теорії штучного інтелекту. Висновки показують вміння здобувача пов'язати поставлені завдання з отриманими результатами, окреслити головне і чітко сформулювати досягнуте та узагальнено відображають зміст роботи.

Отже, робота Неведрова О.В. є завершеною науковою працею і оформлена відповідно до встановлених вимог МОН України.

4. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові результати досліджень і рекомендації є повністю обґрунтованими і достовірними, що підтверджується логікою постановки цілей та завдань досліджень, коректним використанням апробованих наукових методів шляхом узагальнення і систематизації, власних теоретичних та експериментальних досліджень.

Вперше отриманими науковими результатами можуть вважатися такі:

- застосування адитивного критерію оцінки керуючих дій машиніста під час ведення поїзда у вигляді співвідношення формалізованих показників

якості роботи системи «поїзд-машиніст», таких як безпека руху, витрати енергоресурсів на тягу та виконання графіку руху;

- формалізація параметру «напруженість роботи машиніста» в процесі керування локомотивом, який, на відміну від існуючих підходів до оцінки роботи машиніста, враховує типи поточних поїзних ситуацій і їх взаємний вплив на роботу локомотивної бригади;

Таким, що набув **подальшого розвитку та вдосконалення** є:

– метод визначення величини вагових коефіцієнтів для поїзних ситуацій шляхом використання методу Сааті для різних режимів руху поїзду. Використання такого підходу зробило можливим проведення об'єктивного оцінювання поїзних ситуацій та класифікацію їх за режимами руху як небезпечні, які потребують додаткової уваги, такі, що потребують невідкладних дій та безпечні.

Представлені в дисертації результати наукових досліджень отримані автором особисто, що підтверджується зробленими публікаціями та патентом.

5. Практичне значення дисертаційної роботи.

Практична цінність результатів роботи.

Результати дослідження мають безпосереднє значення для підвищення безпеки перевезень на залізницях шляхом впровадження удосконалених алгоритмів роботи системи підтримки прийняття рішень для машиністів. Розроблено нові алгоритми та запропоновано розширення режимів моделювання для удосконалення роботи тренажерного комплексу з підготовки машиністів локомотивів в ДУІТ. Завдяки цьому був значно розширений спектр ситуацій, що моделюються на тренажері, та вдосконалено систему обробки результатів тренувальних поїздок. Основні результати роботи впроваджено у технологічні процеси модернізації систем керування локомотивів на науково-виробничому підприємстві «Локомотив

транс сервіс» та у навчальний процес ДУІТ при підготовці та підвищенні кваліфікації фахівців спеціальності 273 – Залізничний транспорт.

6. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Результати досліджень досить повно висвітлено у: 5 основних наукових працях, розміщених у фахових виданнях та тих, що включені до міжнародних наукометричних баз; 4 наукових працях апробаційного характеру; 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права. Основні теоретичні положення та результати досліджень доповідалися та опубліковані у матеріалах 4 науково-технічних і науково-практичних конференцій, які проходили з 2019 до 2023 року.

7. Дотримання академічної доброчесності

За результатами розгляду наданих матеріалів не виявлено фактів порушення академічної доброчесності. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації є достатнім.

8. Дискусійні положення та зауваження

В цілому дисертаційна робота не викликає принципових заперечень, викладені положення є завершеними, докази аргументованими, значна бібліографія дозволяє опиратись на думку широкого кола дослідників, власні сентенції пройшли апробацію у достатній кількості публікацій та наукових заходах. Разом з тим слід вказати на деякі положення дискусійного характеру, які викликають певні зауваження:

1. У анотації (стор.2, абзац 3) постановку мети роботи викладено таким чином, що результату ніби вже досягнуто. Рациональніше, на мій погляд, було б формулювати мету роботи як таку, що «дозволить» досягти певного результату.

2. На рис. 2.1 (стор. 51) не позначено у яких одиницях здійснюється відображення даних на осях.

3. На стор. 52 третій абзац п.2.2 незрозуміло про які години йде мова у останньому реченні.

4. Формула 2.1 на стор. 55 описує певну цільову функцію, однак не задаються її мета і обмеження. Крім того, у описі складових цієї формули слід було б ретельніше підійти до визначення «часткових» критеріїв, або вони у всіх випадках «часткові», або «приватні». З математичної точки зору, розуміючи, що мова йде про критерії, які є частиною чогось більшого раціональніше застосовувати термін «часткові».

5. У формулах 2.2 та 2.3 (стор.56) не пояснено, що собою являє змінна $F(X)$.

6. Нумерація формул у розділі 2 дублюється. Формули з однаковими номерами присутні в різних частинах розділу (напр. стор. 55 та 61 і далі).

7. У висновку 4 по розділу II (стор. 66) автор звертається до функцій, які у самому розділі не наведено.

8. У формулі 3.4 (стор. 75) не вказано ціль та обмеження цільової функції.

9. На стор. 85 міститься посилання на джерело [100], яке не є пов'язаним з використанням методу Сааті (патент США). Така ж похибка у посиланнях і на стор. 100 – джерело [105]. Посилання на стор. 121 має номер [116], що відсутній у переліку джерел.

10. Стор. 93 останній абзац містить незрозумілий вираз стосовно міри труднощі розпізнавання D.

9. Загальний висновок по роботі.

Зазначені вище зауваження та недоліки мають переважно уточнюючий характер або стосуються напрямів подальшого вдосконалення отриманих результатів. Отже, загалом дисертація Неведрова Олександра Вікторовича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-прикладне завдання розвитку теоретичних основ систем керування локомотивом, мають наукову новизну і практичне значення.

Автор дисертації показав достатньо глибокі теоретичні знання у обраному напрямку та володіння сучасними методами проведення досліджень.

Висновки та рекомендації здобувача мають наукову та практичну цінність і можуть бути використаними для підвищення безпеки перевезень.

Основні положення дисертації достатньо повно розкрито у зазначених в дисертації публікаціях.

За змістом, формою, рівнем та стилем викладення дисертація Неведрова Олександра Вікторовича **«Розвиток теоретичних основ інтелектуальних систем керування локомотивом»** є завершеним самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково-обґрунтовані результати у сфері локомотивного господарства залізниць та відповідає основним вимогам, викладеним у 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 від 12 січня 2022 р. № 44. Робота оформлена у відповідності до вимог Наказу МОН України «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» від 12.01.2017 р. №40.

Вважаю, що Неведров Олександр Вікторович заслуговує присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 27 –«Транспорт» за спеціальністю 273 – «Залізничний транспорт».

Офіційний опонент

Завідувач кафедри експлуатації

та ремонту рухомого складу

Українського державного університету

залізничного транспорту,

доктор технічних наук, професор



Особистий підпис

Засвідчую 29.11 2023 р.

Завідуючий канцелярією

УкрДУЗТ

В. Г. Пузир

Відгук офіційного опонента Пузир В.Г.