

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, професора кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету **Ауліна Віктора Васильовича** на дисертаційну роботу **Навроцького Андрія Вікторовича** *"Удосконалення моніторингу процесів експлуатації транспортних засобів використанням сучасних інформаційних систем"*

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

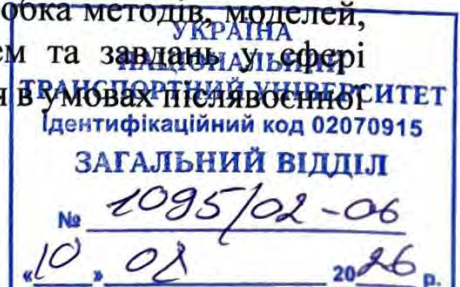
Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що сучасні транспортні засоби (ТЗ) є складними технічними системами, що функціонують в умовах високої інтенсивності експлуатації та змінних факторів інфраструктурного середовища. У таких умовах забезпечення надійності, безпеки та експлуатаційної ефективності ТЗ значною мірою залежить від своєчасного отримання інформації про технічний стан, режими руху і навантаження ТЗ, які визначаються характеристиками управління з боку операторів, параметрами об'єктів перевезень та дорожньо-транспортними умовами.

Моніторинг процесів експлуатації ТЗ сьогодні розглядається як комплексне технічне рішення, що забезпечує спостереження за технічним станом ТЗ, станом операторів та об'єктів перевезення, місцезнаходженням і переміщенням їх в інфраструктурному середовищі, аналіз та використання отриманої інформації для підвищення ефективності процесів експлуатації ТЗ, зокрема для побудови оптимальних маршрутів, раціоналізації режимів руху ТЗ з боку операторів для зменшення витрати палива, контролю режимів праці і відпочинку операторів для підвищення рівня безпеки руху, контролю процесів завантаження-розвантаження об'єктів перевезення та їх стану і умов транспортування, адаптивного планування робіт з відновлення працездатності.

Сучасні інформаційні системи діагностування та моніторингу технічного стану ТЗ, стану операторів та об'єктів перевезення, місцезнаходження і переміщення їх в інфраструктурному середовищі відрізняються апаратним та програмним забезпеченням, функціональними можливостями, рівнем повноти інформації щодо всіх складових експлуатації ТЗ, вартістю та доступністю для споживачів.

У зв'язку з цим актуальним науковим напрямом є розроблення методів, моделей та алгоритмів формування, оцінювання та використання таких систем для удосконалення моніторингу процесів експлуатації ТЗ, обґрунтування їх вибору в експлуатаційних умовах та визначення шляхів подальшого розвитку.

Дисертаційне дослідження виконано в рамках тематичних планів науково-дослідних робіт кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету за темами: «Розробка та удосконалення методик, процесів та процедур розв'язання складних комплексних задач у сфері охорони довкілля та збалансованого природокористування – 0121U107570 (2021-2023); «Розробка методів, моделей, методик та інструментів розв'язання складних проблем та завдань у сфері захисту довкілля та збалансованого природокористування в умовах післявоєнної



відбудови України» – 0124U001012 (2024-2026); «Комплексний підхід до відновлення України на засадах сталого розвитку» – 0125U001993 (2025-2027).

2 Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна, повнота їх викладу в опублікованих працях

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Для цього здобувачем проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розроблених та відомих методик, літературних джерел та електронних ресурсів інформації.

Головне наукове положення дисертації полягає у тому, що удосконалюючи систему моніторингу процесів експлуатації транспортних засобів на основі використання сучасних інформаційних систем можливо більш ефективно використовувати ТЗ підчас їх експлуатації. Це наукове положення обґрунтоване на основі логічного змісту та повноти теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновки дисертаційної роботи є достатньо-обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю теоретичних та експериментальних досліджень, проведених підчас виробничої експлуатації ТЗ.

Перший пункт загальних висновків відмічає, що інтенсивний розвиток інформаційних систем та їх широке застосування на автомобільному транспорті сприяють суттєвому поліпшенню ефективності процесів експлуатації ТЗ на основі удосконалення моніторингу технічного стану ТЗ, стану операторів та об'єктів перевезення, місцезнаходження і переміщення їх в інфраструктурному середовищі, а також відповідного аналізу та використання отриманої інформації користувачем. Це потребує наукового підходу до розробки методів, моделей та алгоритмів формування, оцінювання та використання інформаційних систем моніторингу для підвищення експлуатаційної ефективності ТЗ та адаптивного керування відновленням їх працездатності.

Висновок достовірний, про що свідчить проведений дисертантом аналіз.

Другий висновок свідчить, що запропоновано метод систематизації апаратного забезпечення інформаційних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ, який дозволяє проводити структуризацію систем моніторингу за варіантами реалізації морфологічних ознак засобів отримання і передачі інформації щодо операторів, технічного стану ТЗ, об'єктів перевезення та інфраструктурного середовища, засобів аналізу та використання інформації споживачем як основних функціональних елементів морфологічної матриці можливих конфігурацій апаратного забезпечення систем моніторингу.

Висновок підтверджується проведеними дисертантом теоретичними і експериментальними дослідженнями.

Висновок третій сформовано за дослідженнями моніторингу процесів експлуатації ТЗ з відображенням індивідуальних варіантів реалізації 20 морфологічних ознак основних функціональних елементів та дозволяє сформулювати численну кількість допустимих конфігурацій системи, причому

кожна конфігурація має власні переваги та недоліки відповідно до конкретних потреб і умов використання.

Висновок підтверджується проведеними експлуатаційними дослідженнями.

В четвертому висновку удосконалену статистичною обробкою даних інформаційну модель комплексної системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ, яка, на відміну від існуючих, включає функціонал моніторингу процесів експлуатації ТЗ у відповідний момент часу та узагальнену модель сфери застосування системи як інтегрованої сукупності інформаційних компонентів, множини інформаційних елементів, функції автоматизації та завдання обробки даних, уточнені відповідно до сфери застосування системи та канонічні граfi моделей моніторингу окремих функціональних елементів та загальний канонічний граф моделі комплексної системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ.

Висновок достовірний, що підтверджено результатами проведений дисертантом досліджень.

У висновку п'ятому запропоновано комплекс окремих та інтегральний критерій оцінювання ефективності інформаційних систем моніторингу з урахуванням рівня інформаційної взаємодії з оператором. Водночас достовірність, що підтверджується рівнем моніторингу стану транспортних об'єктів, рівнем взаємодії з інфраструктурним середовищем та рівнем аналітичної обробки та використання інформації кінцевим користувачем.

У шостому висновку відображено результати експериментальних досліджень дослідних систем моніторингу, які підтверджують ефективність та адаптивність розроблених підходів до ідентифікації систем моніторингу за варіантами реалізації морфологічних ознак основних функціональних елементів. Висновок свідчить про функціональні можливості отримання, передачі, аналізу та використання інформації щодо операторів, технічного стану ТЗ, об'єктів перевезення та інфраструктурного середовища для удосконалення моніторингу процесів експлуатації ТЗ.

У сьомому висновку наведено результати порівняльної оцінки функціональної ефективності дослідних систем моніторингу за окремими критеріями рівня інформаційної взаємодії з оператором, рівня контролю технічного стану ТЗ, рівня моніторингу стану транспортних об'єктів, рівня взаємодії з інфраструктурним середовищем та рівня аналітичної обробки та використання інформації кінцевим споживачем та встановлено ієрархію їх цифрової зрілості за інтегральним критерієм. Встановлено, що найнижчі значення функціональної ефективності мають системи на основі приладів Launch (IK = 0,2795) та ELM 327 (IK = 0,3775), що пояснюється обмеженням функціоналом та відсутністю повноцінної аналітичної підтримки. Системи на основі трекеру Ruptela (IK = 0,850) та тахографу (IK = 0,775) забезпечують середній рівень ефективності, тоді як інтелектуальні системи ХНАДУ ТЕСА (IK = 0,950) та CMV (IK = 1,000) демонструють найвищі показники завдяки комплексній інтеграції сенсорних даних, аналітичних алгоритмів та підтримки прийняття рішень.

Висновок достовірний, про що свідчить отримані дисертантом результати.

У восьмому висновку наведено оцінку економічної ефективності використання дослідних систем моніторингу для АТП з 10 автопоїздів категорії N3 з типовими показниками транспортної роботи. Показано, що економічний ефект використання систем моніторингу залежить від рівня їх функціональної ефективності, а термін їх окупності складає від 1 місяця до 1 року і 7 місяців і залежить від початкової вартості систем та експлуатаційних витрат під час їх використання.

Висновок достовірний і підтверджується результатами економічної і функціональної ефективності та рівнем експлуатаційних витрат.

У дев'ятому висновку отримані результати, що створюють методичну основу для подальшого удосконалення систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ та дозволили визначити напрями подальшого розвитку галузі, які полягають у глибшій інтеграції систем моніторингу з інфраструктурними сервісами, використанні технологій штучного інтелекту, машинного навчання та прогнозової аналітики. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Комунальному підприємстві «Київблагоустрій» та Комунальному підприємстві «Київзеленбуд» виконавчого органу КМДА, в ТОВ «АТП ЕЛІТ-ТАКСІ». Матеріали роботи застосовуються в навчальному процесі Національного транспортного університету при підготовці бакалаврів, магістрів та докторів філософії за спеціальностями 274 – Автомобільний транспорт, 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Усі пункти висновків логічно випливають із результатів досліджень, проведених здобувачем у дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в результаті досліджень, є достовірними. Це досягається коректним застосуванням положень математичної статистики, теорії експлуатаційної надійності та ефективності, теорії моніторингу процесів експлуатації ТЗ. Зокрема, це стосується висновків у дисертації за № 2-5. Підтвердженням цьому є також узгодженість результатів теоретичних та експериментальних досліджень, використання стандартизованих та розроблених самостійно методик досліджень, що адекватно відтворюються в умовах експлуатації ТЗ. Експериментальні дослідження проводились на засадах системного підходу, статистичного опрацювання інформації. Тому висновки у дисертації за № 6-9 слід визнати достовірними, оскільки вони ґрунтуються на використанні представлених методів досліджень.

3 Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові результати дисертації достатньо повно висвітлено у 11 наукових працях, з яких три статті у фахових виданнях України, одна стаття у виданнях індексована у науковій базі Scopus, 7 публікацій апробаційного характеру, в т.ч. 1 в матеріалах міжнародної конференції індексованій у наукових матеріалах бази Scopus.

Усі відзначені наукові публікації можливо зарахувати за темою дисертації, оскільки вони містять обґрунтування отриманих наукових результатів відповідно до мети статті (поставленого завдання) та висновків; опубліковані у наукових фахових виданнях, які на дату їх опублікування внесені до переліку

наукових фахових видань України, затвердженого в установленому законодавством порядку; опубліковані у наукових періодичних виданнях інших держав з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача.

Здобувач опубліковував не більше ніж одну статтю в одному випуску (номері) наукового видання. Наукових публікацій, в яких повторюються наукові результати, опубліковані раніше в інших наукових публікаціях, що вже зараховані за темою дисертації, не встановлено.

З наукових праць, опублікованих у співавторстві, використано лише ті положення, які належать особисто здобувачу.

Порушень академічної доброчесності не встановлено.

4 Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що вперше запропоновано метод систематизації апаратного забезпечення інформаційних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ, який дозволяє проводити структурування систем моніторингу за варіантами реалізації морфологічних ознак засобів отримання і передачі інформації щодо операторів, технічного стану ТЗ, об'єктів перевезення та інфраструктурного середовища і засобів аналізу та використання інформації споживачем як основних функціональних елементів морфологічної матриці можливих конфігурацій апаратного забезпечення систем моніторингу; сформовано узагальнену морфологічну формулу комплексної системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ, яка відображає індивідуальні варіанти реалізації 20 морфологічних ознак основних функціональних елементів та дозволяє сформулювати численну кількість допустимих конфігурацій системи, причому кожна конфігурація має власні переваги та недоліки відповідно до конкретних потреб і умов використання; запропоновано комплекс критеріїв оцінювання ефективності інформаційних систем моніторингу з урахуванням рівнів інформаційної взаємодії з оператором, рівня контролю технічного стану ТЗ, моніторингу стану транспортних об'єктів, взаємодії з інфраструктурним середовищем та аналітичної обробки і використання інформації кінцевим споживачем.

Удосконалено інформаційну модель комплексної системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ, яка включає функціонал моніторингу процесів експлуатації ТЗ у відповідний момент часу та узагальнену модель сфери застосування системи як інтегровану сукупність інформаційних компонентів з оновленим складом елементів; множини інформаційних елементів, функції автоматизації та завдання обробки даних, уточнені відповідно до сфери застосування системи; канонічні графи моделей моніторингу окремих функціональних елементів та загальний канонічний граф моделі комплексної системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ, для яких визначено часову мітку реєстрації даних.

Набули подальшого розвитку методи формування інформаційних моделей систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ, які дозволили сформулювати алгоритм отримання інформації про об'єкти моніторингу, інтелектуальні

алгоритми аналізу та використання отриманої інформації для діагностування та прогнозування технічного стану ТЗ.

Практичне значення одержаних результатів роботи для науки і виробництва складають: системний алгоритм формування, оцінювання та вибору інформаційних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ; морфологічні структури дослідних систем моніторингу, які поєднують різні варіанти 20 морфологічних ознак засобів отримання, передачі, аналізу та використання інформації; окремі графи моніторингу стану та режимів роботи оператора, моніторингу параметрів технічного стану ТЗ, моніторингу параметрів об'єктів перевезень, моніторингу параметрів інфраструктурного середовища та загальний граф структури моделі системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ; алгоритми отримання, аналізу і використання отриманої інформації для діагностування та прогнозування технічного стану ТЗ, адаптовані для систем моніторингу різної конфігурації; методика оцінювання функціональної та економічної ефективності інформаційних систем моніторингу; кількісні значення окремих та інтегральних критеріїв оцінки функціональної ефективності досліджуваних конфігурацій систем моніторингу та економічних показників їх використання; рекомендації щодо доцільного використання досліджуваних конфігурацій системи моніторингу процесів експлуатації ТЗ.

Результати дисертаційної роботи прийняті до впровадження в Комунальному підприємстві «Київблагоустрій» та Комунальному підприємстві КП По утриманню зелених насаджень (далі - «Київзеленбуд») виконавчого органу КМДА, в ТОВ «АТП ЕЛІТ-ТАКСІ».

Матеріали роботи використовуються у навчальному процесі НТУ при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальностями 274 – Автомобільний транспорт, 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

5 Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

Обсяг дисертації 267 сторінок, з яких 213 сторінки основного тексту. Робота містить 41 таблиць та 52 рисунки. Список використаних джерел складається з 103 найменувань.

Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

У вступі, відповідно до вимог, обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, окреслено новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено дані про апробацію результатів досліджень та публікацій.

У першому розділі виконано аналіз теоретичних та методичних основ моніторингу технічного стану ТЗ, методів і засобів отримання обробки інформації в сучасних системах моніторингу процесів експлуатації ТЗ. Обґрунтовано сутність технічного стану ТЗ як об'єкта інтелектуального моніторингу та систематизовано сучасні підходи до його оцінювання. Проаналізовано існуючі тестові й діагностичні системи ТЗ, визначено

особливості функціонування бортових, стаціонарних і дистанційних засобів діагностування, а також їх роль у побудові сучасних інформаційних систем моніторингу. Узагальнено методи й засоби отримання, передавання, обробки та інтерпретації інформації про технічний стан ТЗ, розглянуто принципи організації інформаційних потоків та сучасні методи фільтрації й агрегації даних. Проведено аналіз можливостей застосування методів штучного інтелекту: експертних систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж, методів машинного навчання та прогнозування залишкового ресурсу для побудови інтелектуальних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ. За результатами аналізу проведено класифікацію інтелектуальних діагностичних систем в управлінні технічним станом ТЗ та визначено основні напрями подальшого удосконалення інформаційних систем моніторингу, сформовано передумови для проведення власних досліджень.

У другому розділі розроблено методичні засади формування та оцінювання комплексних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ. Сформовано функціональні, інформаційні та експлуатаційні вимоги до побудови інтелектуальної системи моніторингу, визначено принципи її інтеграції із зовнішніми інформаційними ресурсами та запропоновано алгоритм проведення досліджень. Розроблено адаптовану архітектуру комплексної інформаційної системи моніторингу, удосконалено підходи до систематизації її морфологічної структури та моделей взаємодії апаратних і програмних компонентів. Запропоновано інформаційну модель комплексної системи моніторингу, яка забезпечує ефективний інформаційний обмін між її функціональними складовими. Розроблено інтелектуальні алгоритми отримання, аналізу й обробки інформації, діагностування несправностей та прогнозування технічного стану ТЗ, а також методику оцінювання ефективності систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ.

У третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень функціональних можливостей шести сучасних дослідних систем моніторингу процесів експлуатації ТЗ з точки зору повноти реалізації процесів отримання, передачі аналізу та використання інформації щодо операторів легкових автомобілів і автопотягів, об'єктів перевезення та інфраструктурного середовища. Обґрунтовано програму, методику та порядок проведення експериментальних досліджень, визначено об'єкти експериментальної перевірки. Досліджено функціональні можливості сучасних діагностичних, телематичних і інформаційних систем моніторингу ТЗ, виконано ідентифікацію їх морфологічних структур та встановлено особливості взаємодії функціональних компонентів. Проведено порівняльне оцінювання процесів інформаційного обміну між елементами дослідних систем у структурі комплексного моніторингу процесів експлуатації ТЗ, узагальнено результати експериментальних досліджень і виконано оцінювання точності отриманих експериментальних даних.

У четвертому розділі наведено результати дослідження ефективності використання дослідних інформаційних систем моніторингу для удосконалення процесів експлуатації ТЗ на основі багатокритеріальної оцінки. Проведено

оцінювання результатів функціонування комплексної системи моніторингу за її основними функціональними елементами, виконано порівняльний аналіз ефективності дослідних систем моніторингу та визначено їх вплив на процеси експлуатації транспортних засобів. Визначено ефективність дослідних систем моніторингу за окремими критеріями рівня інформаційної взаємодії з оператором, рівня контролю технічного стану транспортних засобів, рівня моніторингу стану транспортних об'єктів, рівня взаємодії з інфраструктурним середовищем і рівня аналітичної обробки та використання інформації, встановлено ієрархію їх цифрової зрілості за інтегральним критерієм. Виконано оцінку економічної ефективності використання дослідних систем для моніторингу автопоїздів в експлуатаційних умовах. Здійснено оцінювання економічної ефективності впровадження дослідних систем моніторингу та обґрунтовано доцільність їх практичного використання для підвищення ефективності експлуатації автопоїздів.

Зауваження та пропозиції по дисертації:

1. Під час аналізу сучасних підходів до моніторингу технічного стану (п.1.1) переважно увагу зосереджено на міжнародних стандартах ISO, водночас недостатньо уваги приділено чинним національним нормативним документам України.

2. При описі архітектури інтелектуальної системи моніторингу технічного стану (рис.1.1) слід було врахувати питання інформаційної безпеки, захисту каналів передачі даних та кіберстійкості системи.

3. У роботі розглянуто сучасні засоби дистанційної діагностики (ELM327, Launch), однак не наведено експериментального підтвердження їх функціональних можливостей або порівняння результатів їх використання.

4. Запропонована багаторівнева адаптована архітектура інтелектуальної комплексної системи моніторингу процесів експлуатації (рис.2.3, рис.2.4) є логічною, однак не наведено порівняння її з існуючими еталонними архітектурами (RAMI 4.0, IoT Reference Architecture, ISO 23247 Digital Twin), що дозволило б чіткіше обґрунтувати переваги запропонованого підходу.

5. При побудові інформаційної моделі (2.4) і удосконаленої моделі (2.5), доцільно було б показати інтеграцію із сучасними корпоративними інформаційними системами (ERP, MES, WMS, TMS), які широко використовуються транспортними підприємствами.

6. Оцінювання функціональної ефективності систем моніторингу базується на п'яти критеріях, проте не обґрунтовано, чому саме цей набір критеріїв є достатнім і повністю характеризує функціональні можливості досліджуваних систем.

7. У розрахунках економічної ефективності окремі вихідні параметри (середньодобовий пробіг, тариф перевезень, коефіцієнт технічної готовності) прийнято сталими, хоча на практиці вони можуть суттєво змінюватися залежно від умов експлуатації, також слід було дослідити вплив масштабу автопарку на ефективність впровадження систем моніторингу.

8. Незважаючи на значний обсяг виконаних досліджень, доцільно було б

зазначити практичні обмеження застосування запропонованих моделей і алгоритмів та визначити напрями їх подальшого розвитку в умовах цифровізації транспортної галузі.

Відмічені зауваження не знижують наукової та практичної цінності дисертації і не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому. За обсягом і змістом дисертація відповідає вимогам МОН України, які пред'являються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

Висновок

Одержані здобувачем нові теоретично та експериментально обґрунтовані результати в сукупності розв'язують важливе науково-технічне завдання удосконалення моніторингу процесів експлуатації транспортних засобів використанням сучасних інформаційних систем з урахуванням інформаційної взаємодії з операторами, контролю технічного стану, інфраструктурним середовищем, аналітичної обробки та використання отриманої інформації для забезпечення експлуатаційної ефективності транспортних засобів та адаптивним керуванням відновлення їх працездатності.

В цілому дисертаційна робота Навроцького Андрія Вікторовича на тему "Удосконалення моніторингу процесів експлуатації транспортних засобів використанням сучасних інформаційних систем" є завершеною науковою роботою, виконана на належному науковому рівні, за змістом, структурою та обсягом відповідає встановленим вимогам, виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності та узгоджується з положеннями Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року (у редакції від 08.05.2024) «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» щодо здобуття ступеня доктора філософії, а її автор Навроцький Андрій Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 "Автомобільний транспорт" з галузі знань 27 "Транспорт".

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатації та
ремонту машин Центральноукраїнського
національного технічного
університету



Віктор АУЛІН

Підпис проф. Ауліна В.В.
засвідчую, проректор
з наукової роботи та
міжнародних зв'язків




Андрій ТИХИЙ