

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента

Цимбала Сергія Володимировича

на дисертацію **ГОЛОВАТОГО Артема Олеговича** на тему:

«Підвищення ефективності експлуатації мобільних машин інтелектуалізацією процесів їх використання на підприємстві», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» (галузь знань 13 «Механічна інженерія»)

Дисертаційна робота містить анотацію українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 158 найменувань та 7 додатків. Основний зміст викладено на 175 сторінках комп'ютерного тексту, що містить 18 рисунків і 11 таблиць.

Актуальність обраної теми. Тема дисертаційної роботи повністю відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та сучасним концепціям технологічного розвитку в межах концепції Індустрії 4.0, оскільки спрямована на інтелектуалізацію процесів експлуатації мобільних машин, інтеграцію цифрових технологій і підвищення ефективності та надійності виробничих систем.

Ефективність експлуатації мобільних машин є визначальним чинником стабільного функціонування виробничих підприємств. Зростання витрат на технічне обслуговування, підвищена енергоємність, а також втрати продуктивності внаслідок простоїв, перевантажень і технічних несправностей обумовлюють необхідність розроблення нових підходів до управління надійністю та ефективністю використання техніки на підприємстві, особливо це стосується машинобудівного підприємства. Традиційні методи, що базуються на регламентному обслуговуванні, ручному контролі та ізольованих локальних рішеннях, характеризуються низькою адаптивністю та обмеженою здатністю реагувати на динамічні зміни умов виробничого середовища.

В умовах цифрової трансформації промисловості особливої актуальності набуває системне оновлення принципів експлуатації мобільної техніки з

урахуванням великих масивів телеметричних даних, технічного стану, топології виробничих і логістичних зв'язків, а також можливостей автоматизованого аналізу й адаптивного управління. У цьому контексті дослідження інтелектуальних моделей експлуатації мобільних машин із застосуванням методів штучного інтелекту, зокрема графових нейронних мереж, є обґрунтованим і своєчасним як з позицій галузевого машинобудування, так і з точки зору реалізації принципів Індустрії 4.0.

Інтелектуалізація експлуатаційних процесів передбачає впровадження сенсорних систем, цифрових двійників, алгоритмів динамічного навчання та графових структур, що забезпечують адаптивний, контекстно-орієнтований режим функціонування мобільних машин і обладнання. Такий підхід дає змогу не лише оперативно виявляти відхилення у роботі, а й прогнозувати технічні несправності, оптимізувати маршрути переміщення, а також автоматично коригувати режими роботи з урахуванням навантаження, стану елементів системи та зовнішніх умов.

На відміну від класичних підходів, використання графових нейронних мереж забезпечує якісно новий рівень експлуатації мобільної техніки, що характеризується підвищеною надійністю і ефективністю, економічністю та здатністю до самооптимізації. Це створює передумови для більш ефективного планування ресурсів, зниження аварійності, удосконалення виробничих процесів і загального підвищення результативності діяльності підприємств. Промислове середовище, з його структурованими процесами, повторюваними операціями та значними обсягами даних, є сприятливим для апробації, впровадження та масштабування таких інтелектуальних рішень.

Успішна реалізація інтелектуальних систем управління експлуатацією мобільних машин потребує не лише технічної готовності, а й розвитку цифрової культури, належного рівня підготовки персоналу та організаційної гнучкості підприємств. Інтеграція сенсорних даних, телеметрії та алгоритмів машинного навчання у виробничі процеси формує основу для переходу до інтелектуалізованої експлуатації техніки, що відповідає сучасним викликам Індустрії 4.0 та відкриває нові можливості для підвищення ефективності

виробничих систем машинобудівних підприємств.

Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт ЦНТУ в межах наукових тем кафедри експлуатації та ремонту машин: «Експлуатаційно-логістичні основи розробки та впровадження інтелектуальних систем технічного сервісу транспортних машин» (№ держ. реєстрації 0119U000615) та «Підвищення надійності і ефективності системи агропромислового виробництва інтелектуальними та транспортно-логістичними технологіями» (№ держ. реєстрації 0121U110833).

Ступінь обґрунтованості наукових положень. Наукові положення дисертації базуються на ґрунтовному аналізі сучасного стану мобільних машин на машинобудівному підприємстві та тенденцій їх інтелектуалізації у виробничих системах. Автор послідовно доводить необхідність переходу від традиційних методів експлуатації до цифрових рішень, використовуючи аргументи, що спираються на статистичні дані, огляд зарубіжного та національного досвіду, а також виявлені проблемні аспекти впровадження інтелектуальних систем. Це забезпечує високий рівень обґрунтованості вихідних положень дослідження.

Запропонований метод застосування графових нейронних мереж для оптимізації ефективності експлуатації мобільних машин підтверджений як теоретичними моделями, так і практичною апробацією на підприємстві. Автор детально описує архітектуру дво- та тришарових моделей, механізм супервізованого навчання та процес формування графа підприємства. Такий комплексний підхід свідчить про системність і наукову достовірність положень, що відповідає вимогам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Особливу увагу приділено математичному апарату, який забезпечує формалізацію процесів оптимізації. Використання векторів-вчителів, функцій витрат та алгоритмів динамічного оновлення вагових коефіцієнтів демонструє високий рівень теоретичної підготовки автора та підтверджує коректність запропонованих рішень. Це відповідає фундаментальним завданням галузевого машинобудування – створенню надійних і ефективних методів управління технікою.

Практична реалізація методу на прикладі підприємства ТОВ «АРК ГРУПП»

засвідчує прикладну цінність роботи. Результати оптимізації, отримані в ході інтеграції графової нейронної мережі, підтверджують адекватність теоретичних положень і доводять їхню ефективність у реальних умовах виробництва. Це забезпечує високий ступінь обґрунтованості наукових висновків та їх відповідність сучасним вимогам концепції Індустрії 4.0.

Наукові положення дисертації є добре аргументованими, підтвердженими як теоретичними, так і практичними результатами, що відповідає вимогам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та сприяє розвитку напрямів інтелектуалізації виробничих систем.

Достовірність отриманих результатів. Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується використанням сучасного математичного апарату та алгоритмів графових нейронних мереж, які пройшли перевірку на реальних виробничих даних. Здобувач застосував формалізовані моделі графа підприємства, що дозволяють адекватно відобразити структуру та взаємозв'язки між мобільними машинами, технологічними процесами та логістичними потоками. Це гарантує відповідність отриманих результатів реальним умовам експлуатації.

Важливим чинником достовірності є проведене моделювання дво- та тришарових архітектур графових нейронних мереж, яке підтвердило збіжність алгоритмів та стабільність навчання моделі. Використання функцій втрат і механізмів супервізованого навчання забезпечило коректність оптимізаційних рішень, що відповідає вимогам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» щодо наукової строгості та технічної обґрунтованості.

Практична апробація на підприємстві ТОВ «АРК ГРУПП» стала ключовим підтвердженням достовірності результатів. Отримані дані щодо підвищення ефективності експлуатації мобільних машин, зниження витрат та покращення надійності техніки узгоджуються з теоретичними положеннями дисертації. Це свідчить про те, що запропонований метод не лише має теоретичну цінність, але й довів свою ефективність у реальних виробничих умовах.

Таким чином, результати дослідження є достовірними, підтвердженими як математичними моделями, так і практичними експериментами. Вони

відповідають сучасним науковим вимогам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та забезпечують основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем управління мобільними машинами в умовах Індустрії 4.0.

Наукова новизна дисертації полягає у розробці та впровадженні методу графових нейронних мереж для оптимізації ефективності експлуатації мобільних машин у виробничих системах. Вперше запропоновано формування графа підприємства як цифрової моделі, що відображає взаємозв'язки між технічними об'єктами, процесами та потоками різної природи. Такий підхід дозволяє здійснювати комплексну оптимізацію експлуатації машин, враховуючи багатofакторні залежності та динаміку зміни виробничого середовища.

Здобувачем розроблено та обґрунтовано різні моделі архітектури графових нейронних мереж, які забезпечують адаптивне управління мобільними машинами та підвищення їхньої надійності. Новизна полягає у застосуванні супервізованого динамічного навчання для виробничих даних, що дозволяє прогнозувати технічні відмови, оптимізувати режими роботи мобільних машин у реальному часі виробничої системи та підвищувати ефективність використання ресурсів підприємства.

Важливим елементом новизни є інтеграція концепції цифрового двійника мобільної машини у виробничі процеси. Це створює передумови для інтелектуалізації експлуатації, зниження витрат на технічне обслуговування та підвищення ефективності використання техніки. Уперше показано можливість застосування графових моделей для побудови цифрових двійників, що відповідає стратегічним напрямкам розвитку спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» в умовах Індустрії 4.0.

Додатково новизна полягає у порівняльному аналізі дво- та тришарових архітектур графових нейронних мереж, що дозволило визначити оптимальні умови їх застосування залежно від складності виробничих процесів. Це дає можливість формувати рекомендації для підприємств різного масштабу та рівня автоматизації, що розширює практичну значущість дослідження. Таким чином, дисертація пропонує новий підхід до управління експлуатацією мобільних машин, який поєднує класичні принципи машинобудування з сучасними методами

штучного інтелекту, забезпечуючи наукову новизну та прикладну цінність роботи.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях. Основні наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, достатньо повно відображені в опублікованих працях автора, загальна кількість яких становить 23 наукові праці. Серед них — 6 статей у фахових виданнях України, одна стаття, індексована в базі даних Scopus, 13 матеріалів і тез доповідей, опублікованих за результатами участі в міжнародних та всеукраїнських конференціях, а також розділи у двох монографіях і одному навчальному посібнику. Такий обсяг публікацій відповідає сучасним вимогам до дисертаційних робіт і забезпечує належну апробацію результатів дослідження.

У наукових статтях відображено ключові теоретичні положення дисертації, обґрунтовано наукову новизну запропонованих підходів, наведено математичні моделі та алгоритми, що відповідають сучасному рівню розвитку спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» в умовах цифрової трансформації. Публікація у Scopus засвідчує відповідність результатів міжнародним стандартам досліджень у сфері інтелектуалізації виробничих процесів та застосування методів штучного інтелекту.

Матеріали й тези доповідей, представлені на конференціях, відображають результати апробації дисертаційних положень, дискусійні аспекти роботи та підтверджують їх практичну значущість. Розділи у монографіях і навчальному посібнику містять узагальнення окремих результатів дослідження та сприяють їх поширенню в освітньому і науково практичному середовищі, що відповідає завданням Індустрії 4.0 щодо інтеграції нових знань у навчальний процес.

Загалом обсяг і зміст публікацій автора забезпечують повноту висвітлення основних результатів дисертаційного дослідження, їх наукову апробацію та підтверджують можливість практичного впровадження. Практична цінність опублікованих результатів полягає у можливості використання розроблених моделей і алгоритмів у діяльності виробничих підприємств для підвищення ефективності та надійності експлуатації мобільних машин, оптимізації виробничо логістичних процесів і підтримки прийняття управлінських рішень у цифровому

виробничому середовищі.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота має чітку та логічну структуру, що відповідає класичним вимогам до досліджень у галузі машинобудування. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання та методологічні основи дослідження, що створює міцний фундамент для подальшого викладу матеріалу. Перелік умовних позначень і скорочень забезпечує зручність сприйняття тексту та свідчить про академічну коректність оформлення.

У першому розділі здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану мобільних машин, їхньої класифікації, рівня надійності та ефективності експлуатації. Значну увагу приділено сучасним технологіям інтелектуалізації виробництва та досвіду впровадження інтелектуальних систем у різних країнах. Це дозволяє окреслити проблемні питання та сформулювати чіткі завдання дослідження, що відповідає вимогам спеціальності 133 щодо системного аналізу технічних об'єктів.

Другий розділ присвячено розробці узагальненого методу застосування графових нейронних мереж для оптимізації ефективності використання мобільних машин. Здобувач детально описує принципи роботи моделі, архітектуру дво- та тришарових мереж, механізми навчання та формування графа підприємства. Це свідчить про високий рівень теоретичної підготовки та новаторський підхід до вирішення задач машинобудування в умовах цифрової трансформації.

У третьому розділі викладено теоретичні основи методу, включно з формальними визначеннями, математичним описом механізму графових нейронних мереж, моделюванням архітектур та аналізом збіжності алгоритму. Такий рівень деталізації забезпечує наукову достовірність положень і відповідає фундаментальним вимогам спеціальності 133, орієнтованої на створення нових методів підвищення надійності та ефективності техніки.

Четвертий розділ має прикладний характер і демонструє реалізацію запропонованого методу на підприємстві ТОВ «АРК ГРУПП». Автор описує вихідні умови, формує графову модель підприємства, застосовує архітектуру нейронної мережі та наводить результати оптимізації. Практична апробація підтверджує прикладну цінність роботи та її відповідність сучасним викликам

Індустрії 4.0.

Загалом, зміст дисертації є цілісним, послідовним і відповідає вимогам спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Робота поєднує системний аналіз, математичне моделювання та практичну реалізацію, що забезпечує її наукову новизну та прикладну значущість.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Анотації українською та англійською мовами узагальнюють ключові результати й висновки дослідження та повністю узгоджуються зі змістом дисертаційної роботи.

Відсутність порушень академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора ознак академічного плагіату не виявлено. Посилання на власні наукові праці та джерела інших авторів подано коректно з дотриманням вимог академічного цитування. Випадків фальсифікації або неправомірних запозичень не встановлено, що свідчить про виконання дослідження відповідно до принципів академічної доброчесності.

Зауваження та пропозиції до дисертації.

1. Розділ 1 може бути посилений за рахунок більш широкого висвітлення взаємозв'язку мобільних машин із концепціями Індустрії 4.0, кіберфізичних систем і цифрових двійників, що є важливими складовими інтелектуалізації техніки на виробничому підприємстві.

2. Варто було б більш чіткіше відобразити взаємозв'язок між показниками надійності та ефективності експлуатації мобільних машин на машинобудівному підприємстві, зокрема показати вплив змін надійності на продуктивність і витрати на виробництві (п.1.2, розділ 1).

3. Слід було приділити більше уваги експлуатаційним факторам (режими роботи, навантаження, умови середовища), які суттєво впливають на надійність і ефективність мобільних машин в процесі функціонування виробничої системи на підприємстві.

4. У п. 2.1, розділу 2, доцільно більш чіткіше формалізувати математичну постановку задачі графового подання підприємства, зокрема задати множини вузлів, ребер та відображення функціональних зв'язків між ними. Переважність

концептуального характеру підходу графової нейронної мережі ускладнює відтворення моделі підприємства.

5. Не враховано стохастичний характер виробничих процесів: випадкові відмови, затримки, коливання навантаження та ін.

6. У таблицях 2.1, стор. 74 та 2.2, стор. 75 відсутні одиниці вимірювання параметрів, що ускладнює їх практичне застосування.

7. Зазначена універсальність графового підходу є слушною, однак доцільно було б окреслити межі його застосування та можливі обмеження.

8. У тришаровій моделі бажано більш чітко формалізувати механізм урахування впливу віддалених вузлів.

9. Нормалізація матриці суміжності представлена у двох варіантах, формули (3.4) та (3.16), однак відсутнє пояснення вибору конкретної форми у практичній реалізації.

10. Візуалізація графа машинобудівного підприємства є сильною стороною, однак не формалізовано критерії оцінки оптимальності його структури.

ВИСНОВОК

Дисертація Головатого Артема Олеговича на тему «Підвищення ефективності експлуатації мобільних машин інтелектуалізацією процесів їх використання на підприємстві», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» у межах галузі знань 13 «Механічна інженерія», становить завершене, системно організоване та науково вмотивоване дослідження, виконане на належному теоретичному, методологічному й прикладному рівнях.

У роботі вирішено важливу науково-прикладну задачу, що полягає у підвищенні ефективності функціонування, надійності та адаптивності експлуатації мобільних машин шляхом упровадження інтелектуальних підходів. Отримані результати узгоджуються з актуальними напрямками розвитку галузевого машинобудування, зокрема процесами цифровізації виробництва та впровадження концепцій Індустрії 4.0.

Отримані в дисертаційному дослідженні результати відзначаються науковою

новизною, обґрунтованістю та практичною цінністю, а також достатньо повно висвітлені в наукових публікаціях здобувача. Основні положення роботи пройшли апробацію на науково-практичних конференціях і підтверджені результатами практичного впровадження.

Дисертаційна робота 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».

На підставі проведеного аналізу вважаю, що автор дисертації Головатий Артем Олегович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (галузь знань 13 «Механічна інженерія»).

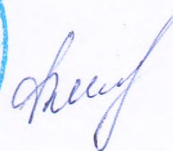
Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри автомобілів
та транспортного менеджменту
Вінницького національного
технічного університету



Сергій ЦИМБАЛ

Учений секретар Вченої ради ВНТУ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри безпеки життєдіяльності
та педагогіки безпеки



Інна ВІШТАК