

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри машинобудування та технічного сервісу машин,
кандидата технічних наук Бабенка Андрія Олександровича
на дисертаційну роботу Держинського Ігоря Віталійовича
на тему: **«Підвищення безпеки експлуатації баштового крану за допомогою використання штучного інтелекту у керуючих системах»**, представлену на
здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 13 Механічна інженерія за
спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Актуальність теми дисертації. В умовах стрімкого розвитку будівельної галузі та ускладнення умов експлуатації підйомно-транспортних машин особливої ваги набуває завдання забезпечення надійності, безпеки та ефективного використання ресурсу баштових кранів. Значна частина парку кранів експлуатується понад нормативний строк служби, що обумовлює підвищені ризики відмов, аварій та передчасного вичерпання ресурсу окремих вузлів і систем.

У машинобудівній практиці зростає потреба у переході від традиційного регламентного обслуговування до інтелектуального ресурсного підходу, що базується на реальному технічному стані крана. Це вимагає впровадження інформаційно-керованих систем, здатних здійснювати безперервний моніторинг навантажень, діагностику пошкоджень, прогнозування залишкового ресурсу та прийняття рішень щодо подальшої експлуатації або технічного обслуговування обладнання.

Особливу актуальність ця проблема має для машинобудівної галузі, оскільки модернізація конструкцій кранів і впровадження інтелектуальних систем управління ресурсом відкриває нові перспективи для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної техніки на внутрішньому й зовнішньому ринку.

Запропоновані в дисертації рішення, зокрема розробка інтегрованої системи безпеки, що поєднує прогнозування вітрових навантажень, предиктивну діагностику технічного стану та моніторинг психофізіологічного стану оператора, базуються на сучасних досягненнях в галузі штучного інтелекту, комп'ютерного зору та нейронних мереж. Їхнє впровадження дозволяє не лише забезпечити проактивне запобігання аварійним ситуаціям, але й продовжити життєвий цикл крана, оптимізувати витрати та підвищити безпеку будівельного виробництва.

Таким чином, тема дисертаційного дослідження є надзвичайно актуальною, відповідає сучасним потребам машинобудування та будівельної індустрії й має вагоме прикладне значення в контексті підвищення надійності, ефективності та ресурсоощадності вантажопідіймальних машин.

Оцінка наукового рівня дисертації. Обрана тема дисертаційної роботи є актуальною та безпосередньо пов'язана з вирішенням сучасних науково-технічних проблем у галузі машинобудування, штучного інтелекту та безпеки експлуатації підйомно-транспортних машин.

Тематичне спрямування та мета дослідження свідчать про глибоке розуміння здобувачем як загальносистемних викликів у сфері промислової безпеки, так і перспективних напрямів розвитку застосування інтелектуальних технологій в машинобудуванні. Робота поєднує теоретичну глибину з високим рівнем прикладної значущості, що робить її важливою як у науковому, так і в інженерному контексті.

Використані в дисертації методи відповідають сучасним вимогам до наукових досліджень: системний аналіз, математичне моделювання, цифрова обробка сигналів, методи штучного інтелекту, включаючи нейронні мережі та комп'ютерний зір. Здобувач послідовно виконав усі етапи дослідження: від детального огляду літератури та формалізації проблеми — до побудови структурних моделей, створення програмно-апаратних модулів, їх оптимізації та експериментальної перевірки.

Отримані результати дозволяють ефективно вирішити актуальну науково-практичну задачу — підвищення безпеки та надійності роботи баштового крана за рахунок впровадження інтелектуальної системи управління, здатної здійснювати проактивну діагностику технічного стану, аналіз психофізіологічного стану оператора та прогнозування вітрових навантажень. Усі розроблені рішення підтверджені моделюванням та практичною реалізацією.

Таким чином, дисертаційне дослідження засвідчує високий рівень виконання поставленого наукового завдання, володіння здобувачем сучасною науковою методологією та його здатність до проведення міждисциплінарних прикладних досліджень у сфері машинобудування та техногенної безпеки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації. Дисертаційну роботу, подану до розгляду, можна характеризувати як достатньо обґрунтовану наукову роботу, що має чіткий структурований вигляд. Усі наукові результати, які отримані автором, спираються на фундаментальні положення та сучасні стандарти у галузі промислової безпеки, машинобудування та застосування технологій штучного інтелекту.

Автором на високому науково-технічному рівні і в достатньому обсязі проведені теоретичні та експериментальні дослідження. Для розроблених та вдосконалених інтелектуальних підсистем запропоновано відповідні архітектури та алгоритми їх реалізації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів підтверджується коректною постановкою завдань, аналізом та вибором моделей штучного інтелекту, результатами проведення експериментальної перевірки запропонованих підсистем безпеки.

Достовірність наукових положень і висновків та повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. В запропонованій роботі для досягнення поставленої загальної мети дослідження було розв'язано

ряд взаємопов'язаних задач, зокрема: виконано системний аналіз науково-технічної літератури, стандартів безпеки, статистичних даних для виявлення та класифікації ключових факторів ризику при експлуатації баштових кранів, сучасного стану застосування штучного інтелекту для підвищення рівня безпеки кранів; досліджено параметри технічного стану механізмів крану та розробити підсистему предиктивного обслуговування критичних вузлів на основі глибокого навчання нейронної мережі; розроблено математичну модель та програмно реалізувати підсистему моніторингу психофізіологічного стану оператора на основі методів машинного зору та нейронних мереж для розпізнавання втоми та сонливості в режимі реального часу; розроблено математичну модель прогнозування небезпечних вітрових навантажень на основі глибокого навчання нейронної мережі та розробити алгоритми роботи підсистеми автоматичного превентивного керування стійкістю крану; розроблено архітектуру інтегрованої інтелектуальної системи безпеки крану (ПСБ) шляхом поєднання підсистем предиктивного обслуговування, розпізнавання сонливості та втрати уваги оператора в режимі реального часу, прогнозування вітрових навантажень; проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованої ПСБ на прикладі баштового крану КБ-403.

На основі розв'язання цих завдань сформовано наукові результати і висновки, які в сукупності підтверджують досягнення поставленої мети. Достовірність отриманих наукових результатів в дисертації підтверджена через: чітку постановку завдань дослідження, що відповідають реальним умовам експлуатації будівельної техніки; результатами моделювання та експериментальних досліджень, які демонструють кількісно підтверджені результати щодо підвищення рівня безпеки експлуатації баштових кранів.

Запропоновані результати та висновки були опубліковані та пройшли апробацію згідно встановлених вимог, зокрема у 15 наукових працях, серед яких: 4 основні статті у фахових виданнях , 1 додаткова стаття у фаховому

виданні, та 10 доповідей на міжнародних наукових конференціях. Особистий внесок здобувача, що включає розробку нових методів, алгоритмів та технічних рішень, повною мірою відображений в публікаціях і вказаний у вступі роботи.

Практичне застосування результатів досліджень підкріплене актами впровадження, що додаються до дисертаційної роботи.

Наукова новизна та практична цінність одержаних результатів та висновків. Вперше отримані закономірності зміни діагностичних параметрів технічного стану механізму повороту баштового крану, які дозволили розробити підсистему предиктивного обслуговування з використанням технології глибокого навчання нейронної мережі.

Удосконалено математичну модель підсистеми моніторингу психофізіологічного стану оператора баштового крану на основі методів машинного зору для розпізнавання втоми та сонливості в режимі реального часу. Також удосконалено математичну модель прогнозування небезпечних вітрових навантажень на основі глибокого навчання нейронної мережі, яка дозволяє розробити алгоритми роботи підсистеми автоматичного превентивного керування стійкістю крану.

Набув подальшого розвитку метод підвищення безпеки експлуатації баштових кранів в частині удосконалення системи керування, яка враховує закономірності зміни діагностичних параметрів технічного стану, психофізіологічного стану оператора крану та прогнозування небезпечних вітрових навантажень та використовує технології штучного інтелекту.

Практична цінність результатів дослідження полягає у впровадженні інтегрованого підходу до забезпечення безпеки експлуатації баштових кранів, який значно підвищує рівень безпеки та надійності роботи підйомно-транспортних машин. Розроблені методи та підсистеми дозволяють в режимі реального часу проактивно виявляти ризики, пов'язані з людським фактором (втома оператора крану), технічним станом (зношування чи поломка механізму повороту) та зовнішніми умовами (пориви вітру), прогнозувати розвиток

небезпечних ситуацій та автоматично вживати превентивних заходів. Завдяки цьому досягається комплексне управління ризиками та суттєве зниження аварійності, що є ключовим завданням в умовах роботи з об'єктами підвищеної небезпеки на сучасних будівельних майданчиках.

У практичному аспекті ці результати можуть бути використані для прямого запобігання аваріям, збереження життя та здоров'я персоналу, а також для значного скорочення фінансових збитків, пов'язаних із пошкодженням техніки, руйнуванням об'єктів та тривалими простоями у будівництві.

Структура дисертаційної роботи та відповідність встановленим вимогам. Структура роботи включає всі необхідні компоненти. Мета, задачі, предмет і об'єкт дослідження вибрані коректно і точно описують область дослідження. Ідеї, методи, моделі на результати виражені чітко і лаконічно, узагальнено рекомендації щодо впровадження а також визначено суть вкладу в науку. Зміст кожного розділу логічний, відповідає суті завдання, не містить надлишкової інформації.

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 168 сторінок основного тексту, у тому числі 48 рисунків, 2 таблиці, 154 найменування у списку використаних джерел, 4 додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 168 сторінці.

В анотації дисертації стисло представлені основні результати дослідження із зазначенням наукової новизни та практичного значення, що дозволяє сформулювати загальне уявлення про об'єм і зміст представленої роботи.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дослідження, чітко сформульовано мету та задачі. Визначені об'єкт, предмет та гіпотеза є коректними та повною мірою відображають спрямованість роботи. Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів викладені чітко, а загальна характеристика роботи дає повне уявлення про її структуру та зміст.

У першому розділі проведено глибокий аналіз причин аварійності баштових кранів, що охоплює конструктивні дефекти, людський фактор та зовнішні впливи. Автор доводить обмеженість існуючих, переважно реактивних, систем безпеки. Важливим результатом цього аналізу є виявлення гіпотези дослідження полягає у припущенні, що підвищення безпеки експлуатації баштових кранів можна досягти шляхом впровадження інтелектуальної системи моніторингу, прогнозування та сигналізації на основі штучного інтелекту.

У другому розділі представлено розробку підсистеми предиктивного обслуговування, зосереджену на механізмі повороту. На основі ретельного аналізу фізичних моделей зношування автором науково обґрунтовано вибір вібрації та температури як ключових діагностичних індикаторів. Слід відзначити, що вперше отримано закономірності зміни цих параметрів, що кількісно пов'язують їх рівні з різними стадіями зносу. Цей результат має високу наукову цінність і став основою для створення ефективної моделі діагностики на базі нейронної мережі та розробки завершеного програмно-апаратного модуля.

У третьому розділі розроблено інтелектуальну систему для прогнозування небезпечних вітрових навантажень. Дисертантом проаналізовано недоліки існуючих регламентів, які створюють загрозу для оператора в умовах непередбачуваних змін погоди. Створена система на основі нейронної мережі, що прогнозує швидкість та напрямок вітру з доведеною похибкою прогнозування 16,27%, та її здатність до автоматичного повороту стріли для мінімізації аеродинамічного опору є важливим практичним внеском у підвищення безпеки експлуатації.

У четвертому розділі автор детально аналізує людський фактор як домінуючу причину аварій, пропонуючи обґрунтовану класифікацію помилок операторів на перцептивні, когнітивні та виконавчі. Для протидії ризикам, пов'язаним із втомою та стресом, розроблено систему розпізнавання сонливості

на основі машинного зору. Система, реалізована на платформі Raspberry Pi, що використовує згорткову нейронну мережу для ідентифікації втоми з високою точністю (96%) та може інтегруватися з ПЛК крана для автоматичної зупинки, є завершеним та практично значущим інженерним рішенням.

У п'ятому розділі обґрунтовано стратегію інтеграції розроблених модулів в єдину інтелектуальну систему безпеки. Розроблено чіткі вимоги до модульної архітектури системи та протоколи взаємодії для ключових користувачів. Проведене детальне техніко-економічне обґрунтування переконливо доводить не лише практичну цінність, але й інвестиційну привабливість розробки, що підтверджує високий рівень та завершеність дисертаційної роботи.

Висновки відображають стан і рівень виконання поставлених завдань, об'єктивно показують новизну і практичну цінність отриманих результатів, вказують обмеження та напрямки майбутніх досліджень, є логічно зв'язаними і обґрунтованими.

Список використаних джерел містить 154 найменування, з них 41 вітчизняна публікація. Слід відмітити, що в основному автор спирався на сучасну літературу з використанням досвіду закордонних науковців та розробників у галузі. Посилання в тексті дисертації оформлені коректно, що забезпечує дотримання академічної доброчесності при підготовці роботи.

У цілому подача матеріалу, наукових положень і висновків у дисертаційній роботі вирізняється зрозумілим, послідовним і технічно грамотним стилем викладу. Усі змінні, параметри та позначення використовуються згідно з загальноприйнятими нормами математичного апарату та інженерного моделювання. Пояснення до формул подані чітко, логічно та у повному обсязі, що забезпечує їх правильне тлумачення.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертації та наукових публікацій встановлено, що текст є оригінальним, не виявлено плагіату, самоплагату, фабрикування,

фальсифікування даних чи будь яких інших порушень принципів академічної доброчесності.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації.

Незважаючи на високу якість виконаної роботи, до змісту дисертації виникають окремі зауваження уточнювального та дискусійного характеру:

1. У деяких місцях зустрічається неповне узгодження термінів між текстовою частиною, ілюстраціями та підписами до них. Доцільно було б забезпечити повну термінологічну єдність для покращення сприйняття матеріалу. Також в дисертаційній роботі зустрічаються специфічні терміни, наприклад, «синергетичний ефект», «предиктивне обслуговування» тощо. Бажано при першому вживанні подібних термінів розкривати їх значення.

2. У ряді формул відсутні розшифрування окремих змінних безпосередньо під формулами. Для зручності читача варто було б надати пояснення усіх змінних відразу після відповідного рівняння.

3. Частина графіків і таблиць, хоча й є інформативною, потребує покращення графічного оформлення — зокрема, підвищення контрастності, збільшення розміру шрифтів і нанесення більш чітких підписів осей.

4. У змісті роботи варто було б уточнити назви окремих підрозділів для кращого відображення їх змістового наповнення, особливо в частині, що стосується структури інтегрованої системи.

5. В другому розділі досліджені параметри механізму повороту крану, але не менш важливим є механізм підйому вантажу. Не зрозуміло, чи зміняться, і як зміняться діагностичні параметри для даного механізму?

6. При дослідженні впливу зовнішніх чинників здобувач особливу увагу приділяє вітровому навантаженню, як самому важливому фактору, який впливає на стійкість і міцність баштового крану. Вказано, що згідно з правилами та інструкціями, для забезпечення безпеки під час високих вітрових навантажень, необхідно переводити кран в неробочий стан, що займає значний час. Бажано було б вказати скільки саме часу на це потрібно.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження.

Висновок щодо відповідності дисертації чинним вимогам.

1. Дисертаційну роботу Держинського Ігоря Віталійовича на тему: «Підвищення безпеки експлуатації баштового крану за допомогою використання штучного інтелекту у керуючих системах» можна вважати завершеною науковою працею, що включає самостійні авторські висновки і результати, які мають наукове підґрунтя та адаптовані для практичного застосування в галузі машинобудування.

2. Дисертаційна робота за змістом та оформленням відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», Наказ №40 МОН України від 12.01.2017 р. зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України №759 від 31.05.2019 р.

3. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», галузі знань 13 «Механічна інженерія» та вимогам постанови «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженої Кабінетом Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ №502 від 19.05.2023р.), а її автор, Держинський Ігор Віталійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційний рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри машинобудування
та технічного сервісу машин

Українського державного університету
залізничного транспорту



Особистий підпис

засвідчую _____ 20__ р.

Завідуючий канцелярією

УкрДУЗТ

Бабенко А.

ТВО Історик Т.Р.

Андрій БАБЕНКО