

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

*на дисертацію ДЗЕРЖИНСЬКОГО Ігоря Віталійовича
«ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАШТОВОГО КРАНУ
ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
У КЕРУЮЧИХ СИСТЕМАХ»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у галузі знань 13-механічна інженерія
за спеціальністю 133-галузеве машинобудування*

Актуальність теми дисертаційної роботи

Одним із ключових аспектів безпечного функціонування будівельної галузі є надійна експлуатація вантажопідйомних машин, зокрема баштових кранів, які широко використовуються на сучасних будівельних майданчиках. Значна частка аварій та інцидентів на об'єктах будівництва пов'язана саме з порушенням технічного регламенту експлуатації кранів або недостатнім рівнем контролю за їх технічним станом. Ситуація ускладнюється застарілим парком техніки та відсутністю ефективних інструментів прогнозування потенційних небезпек у реальному часі.

З огляду на активне впровадження принципів Індустрії 4.0 у сферу будівельної техніки, особливої актуальності набуває завдання впровадження інтелектуальних систем забезпечення безпеки, що базуються на використанні методів штучного інтелекту, комп'ютерного зору та цифрових технологій. Такі системи дозволяють здійснювати моніторинг фізіологічного стану оператора (зокрема виявлення ознак втоми), оперативно аналізувати вітрові навантаження, а також прогнозувати технічні несправності елементів крана — і тим самим суттєво знизити ризики аварій.

Відповідно до піднятої проблематики, метою дисертаційної роботи було обрано підвищення безпеки експлуатації баштового крану шляхом застосування штучного інтелекту в системах керування для проактивного запобігання аварійним ситуаціям, зумовленим конструктивними дефектами, людським

фактором та впливом зовнішніх чинників. Зазначена мета відповідає темі дисертаційної роботи та розкривається у комплексі завдань, серед яких варто окремо виділити наступні:

- виявлення та класифікації ключових факторів ризику при експлуатації баштових кранів, сучасного стану застосування штучного інтелекту для підвищення рівня безпеки кранів.

- дослідження параметрів технічного стану механізмів крану та розробка підсистеми предиктивного обслуговування критичних вузлів на основі глибокого навчання нейронної мережі.

- розробка математичної моделі та реалізація підсистеми моніторингу психофізіологічного стану оператора на основі методів машинного зору та нейронних мереж для розпізнавання втоми та сонливості в режимі реального часу.

- розробка математичної моделі прогнозування небезпечних вітрових навантажень на основі глибокого навчання нейронної мережі та розробка алгоритмів роботи підсистеми автоматичного превентивного керування стійкістю крану.

Всебічний підхід до врахування особливостей і умов функціонування об'єкту дослідження відкриває нові перспективи в актуальній сфері технологій сучасності та закладає надійний фундамент для подальших досліджень.

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

Предметом дослідження дисертаційної роботи є закономірності впливу структурних та діагностичних параметрів технічного стану механізмів, сонливості оператора, вітрового навантаження на безпеку експлуатації крана. Для вирішення науково-практичних завдань, поставлених в дисертаційному дослідженні, було застосовано комплексний підхід, що поєднує методи

системного аналізу в механіці, теорії штучного інтелекту та експериментальної перевірки.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів підтверджується належним науковим обґрунтуванням, яке супроводжує вирішення кожного з поставлених завдань. Зокрема, численні результати експериментального моделювання роботи окремих підсистем, дозволяють переконливо довести обґрунтованість зроблених висновків.

Наукова новизна одержаних результатів:

– *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.

– *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.

Усі отримані наукові результати є оригінальними та актуальними на сучасному етапі розвитку машинобудування, зокрема в контексті впровадження інтелектуальних систем безпеки в конструкцію вантажопідіймальних машин і

технічних засобів, що функціонують в умовах підвищеної експлуатаційної складності.

Практичне значення результатів дослідження.

Дисертаційна робота Держинського І. В. має вагоме практичне значення, оскільки охоплює цикл цілісного дослідження, починаючи з постановки завдання і завершуючи достовірним вирішенням цього завдання, включає в себе всі відповідні теоретичні та експериментальні дані, переконливе обґрунтування рекомендацій та висновків.

Практичні результати дисертаційного дослідження полягають у розробці інженерно-технологічних рішень, алгоритмів та програмно-апаратних засобів, спрямованих на підвищення безпеки та надійності баштових кранів. Запропоновані підходи базуються на впровадженні інтелектуальних технологій у конструкцію та систему управління кранами. Серед ключових результатів слід відзначити:

- створення підсистеми предиктивної діагностики, що базується на вбудованих вібродатчиках і обчислювальному блоці, призначений для виявлення ранніх ознак технічних несправностей і планування обслуговування елементів конструкції крана;

- створення підсистеми розпізнавання сонливості оператора, реалізований на базі платформи Raspberry Pi та камери з підтримкою алгоритмів комп'ютерного зору, призначений для моніторингу фізіологічного стану машиніста в реальному часі;

- створення підсистеми прогнозування вітрових навантажень, побудований на основі обчислювального модуля та підключеної метеостанції, що дозволяє формувати попередження щодо небезпечних умов експлуатації.

Розроблені модулі можуть бути використані у практиці машинобудування та будівельної інженерії для модернізації підйомно-транспортних машин, підвищення рівня її безпеки та запобігання аварійним ситуаціям.

Практичне впровадження отриманих результатів підтверджується відповідними актами, що містяться в додатках роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам.

Дисертаційне дослідження автора представляє собою самостійну, унікальну, завершену наукову роботу, в якій розв'язане актуальне наукове завдання. Дисертація має структуру, що відповідає вимогам до наукових робіт такого рівня, складається з анотації, змісту, вступу, п'ятих розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота містить 121 сторінку основного тексту, у тому числі 48 рисунків, 2 таблиці, 154 найменування у списку використаних джерел, 4 Додатків (А-Г). Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 168 сторінках.

У вступі розкрито нагальність обраної теми, сформульовано основну мету та окреслено завдання для її досягнення. Висунуто дослідницьку гіпотезу, визначено об'єкт та предмет дослідження, а також описано науковий внесок та практичну цінність отриманих результатів разом із загальною характеристикою дисертації.

У першому розділі здійснено глибокий аналіз факторів, що призводять до аварій кранів, зокрема технічних недоліків, помилок персоналу та впливу зовнішнього середовища. Було показано, що існуючі системи безпеки є переважно реактивними та мають суттєві обмеження. У результаті аналізу виявлено ключову наукову проблему: зменшення аварійності баштових кранів шляхом створення та впровадження інтелектуальної системи безпеки нового покоління.

У другому розділі представлено модуль для прогнозного технічного обслуговування механізму повороту крана. На основі вивчення процесів зношування було доведено доцільність використання вібраційних і температурних показників як основних діагностичних маркерів. Було встановлено нові закономірності між рівнем цих сигналів та стадією зносу, що

дозволило розробити діагностичну модель на основі нейронної мережі та створити відповідний апаратно-програмний комплекс.

У третьому розділі створено інтелектуальне рішення для прогнозування небезпечних вітрових умов. Було виявлено слабкі місця у чинних інструкціях, які несуть ризик для життя оператора під час раптових погодних змін. Запропонована система на базі нейронної мережі прогнозує параметри вітру (з похибкою 16,27%) та в автоматичному режимі розвертає стрілу для зниження аеродинамічного навантаження, чим підвищує рівень безпеки.

У четвертому розділі досліджено роль людського фактору як ключового джерела аварій та систематизовано помилки операторів за типами: пов'язані зі сприйняттям, прийняттям рішень та виконанням. Щоб зменшити небезпеку через перевтому, було створено систему для виявлення сонливості. Ця система, застосовує нейронну мережу для розпізнавання втоми з 96% точністю і може бути підключена до контролера крана для його аварійної зупинки.

У п'ятому розділі доведено необхідність об'єднання розроблених модулів у інтегровану інтелектуальну систему безпеки крану, що дозволяє перейти до проактивного управління ризиками. У розділі сформульовано вимоги до гнучкої модульної архітектури, розроблено правила взаємодії для персоналу та виконано розрахунок економічної доцільності проекту.

Висновки узагальнюють результати, підтверджуючи вирішення поставлених завдань і науково-практичну цінність роботи.

Матеріал дисертації подано послідовно та структуровано, з чітким логічним викладом змісту. Теоретичні положення підкріплені математичними розрахунками, а достовірність результатів підтверджується як комп'ютерним моделюванням, так і результатами експериментальних досліджень. Робота містить велику кількість ілюстративного матеріалу, що наочно демонструє процес та результати дослідження. Стиль викладення зрозумілий, аргументований і доступний, із належним оформленням бібліографічних посилань. Порухів принципів академічної доброчесності у роботі не виявлено.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Високо оцінюючи актуальність теми, рівень опрацювання теоретичних положень та практичну значущість запропонованих технічних рішень для підвищення безпеки баштових кранів, слід зазначити окремі моменти, які потребують уточнення або можуть бути предметом наукової дискусії:

У розділі 1 дисертації проведений аналіз систем безпечної експлуатації баштових кранів та наявний світовий досвід застосування штучного інтелекту, який дозволив сформулювати гіпотезу, мету і задачі дослідження роботи.

При цьому на цьому етапі слід було б структурувати і визначити особливості і ключові проблеми, які б в подальшому зробили більш переконливим обґрунтування доцільності і важливості наведених в роботі досліджень і окреслили коло вирішуваних задач, а саме:

- динамічне зростання світового виробництва баштових кранів, 23 млрд. доларів у 2025 році, до 37 млрд. у 2035 р. При цьому конструктивне виконання з поворотною баштою складає лише 4%, яке приходить на малоповерхове будівництво.
- лідерство на ринку китайських виробників, які у рейтингу світової «десятки» займають 66% обсягу виробленої продукції. Це важливо, враховуючи те, що вітряні електростанції разом з сонячними електростанціями забезпечують більш ніж 60% в загального балансу виробництва електроенергії, отже рішення проблеми вітрового навантаження є на часі і враховується при проектуванні, виготовленні і експлуатації.
- парк баштових кранів в Україні, основні модифікації і конструктивні особливості. Проблема реконструкції і модернізації кранів, більшість яких відпрацювала нормативний термін експлуатації. З урахуванням реалій сьогодення, безпечна і надійна робота приводу механізму повороту з

поворотною баштою і захисту від вітрових навантажень, при умовах модернізації можуть забезпечити гідну економічну ефективність.

У розділі 2 дисертації представлено архітектуру підсистеми прогнозування вітрових навантажень, зокрема небезпечного зростання і зміни їх напрямку. Проте залишилось недостатньо висвітленим, яким чином система реагує на різкі пульсації вітру та короточасні турбулентні коливання, що можуть бути критичними. В такому випадку потрібно заздалегідь автоматично забезпечити поворот стріли або башти крану «по вітру» до виникнення критичного моменту від вітрового навантаження. В такому випадку достатньою умовою безпеки є видача прогностичного сигналу керування для приводу. З урахуванням сучасних реалій застосування таких рішень на кранах серії КБ без відповідної модернізації приводу повороту неможливо, тому доцільно було б визначити Технічні вимоги до кранів таких типів.

Підсистема виявлення втоми оператора розроблена на базі комп'ютерного зору, однак у роботі не проведена оцінка значущості цього симптому в загальних заходах по значенню рівня втоми, отриманих, наприклад, за методами SOFI та NASA-TLX. Це було б корисним, і, безумовно, визначило вектор і доцільність розвитку таких систем в підйимально-транспортних машинах.

Щодо запропонованої в розділі 4 системи предиктивної діагностики технічного стану вузлів баштового крана з використанням сенсорного моніторингу слід зауважити, що при її застосуванні виникнуть певні складнощі в частині розмежування власних і зовнішніх коливань з метою отримання достовірних результатів в умовах будівельного майданчику. Тому було б корисно провести більш глибокий аналіз впливу фонових вібрацій від зовнішніх джерел на точність оцінювання технічного стану.

Інтегрована система безпеки, описана у п'ятому розділі, позиціонується як універсальна. Проте не до кінця розкрито питання її масштабованості та адаптації до різних моделей баштових кранів, що відрізняються конструктивними та функціональними параметрами. Бажано було б уточнити,

які модифікації системи потрібні для її впровадження у серійне машинобудівне виробництво.

Наведені зауваження не є критичними і не впливають на загальну позитивну оцінку змісту, наукової цінності та прикладної спрямованості дисертаційної роботи Держинського І.В.

Загальний висновок

Дисертаційна робота ДЗЕРЖИНСЬКОГО Ігоря Віталійовича на тему: «Підвищення безпеки експлуатації баштового крану за допомогою використання штучного інтелекту у керуючих системах», є завершеною науковою працею на актуальну тему, містить інноваційні, самостійні авторські, науково обґрунтовані і практично адаптовані результати в галузі машинобудування.

Визначальним результатом теоретичних та експериментальних досліджень є підвищення безпеки експлуатації баштового крану шляхом застосування штучного інтелекту в системах керування для проактивного запобігання аварійним ситуаціям, зумовленим конструктивними дефектами, людським фактором та впливом зовнішніх чинників. Це дозволило забезпечити виявлення потенційно небезпечних ситуацій з високим рівнем точності в умовах реального часу.

Таким чином, дисертаційна робота Держинського І.В. «Підвищення безпеки експлуатації баштового крану за допомогою використання штучного інтелекту у керуючих системах», відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 (зі змінами), а також вимогам Постанови № 44 «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 від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.).

Автор роботи, ДЗЕРЖИНСЬКИЙ Ігор Віталійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,

завідувач кафедри

підйомно-транспортних машин і обладнання

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»  Валентин КОВАЛЕНКО

Особистий підпис доцента, кандидата технічних наук,

завідувача кафедри підйомно-транспортних машин і обладнання

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут» засвідчую:

Вчений секретар

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»   Максим МАЛЬКО