

РЕЦЕНЗІЯ

завідувача кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем,
доктора технічних наук, професора Мойсеєнка Валентина Івановича
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 дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Сучасні будівельні майданчики характеризуються високою інтенсивністю робіт, що супроводжується зростанням вимог до безпеки експлуатації баштових кранів, які залишаються одним із основних засобів вертикального транспортування вантажів. Значна кількість аварій, пов'язаних із людським фактором, несправностями обладнання або впливом несприятливих метеоумов, свідчить про недостатню ефективність традиційних систем безпеки. З огляду на це, актуальною є задача розробки та впровадження інтелектуальних систем моніторингу та прогнозування, здатних виявляти потенційні загрози у реальному часі.

Особливої значущості тема набуває в умовах стрімкого розвитку технологій Індустрії 4.0, що передбачають широке використання методів машинного навчання, комп'ютерного зору, хмарних обчислень і кіберфізичних систем у технічному обслуговуванні та управлінні складними інженерними об'єктами. Інтеграція таких технологій у конструкцію кранів дозволяє реалізувати принципи предиктивного обслуговування, проактивного виявлення втоми оператора та оцінки вітрових навантажень з урахуванням локальних умов, що суттєво підвищує загальний рівень безпеки.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до основоположних принципів національних документів, спрямованих на підвищення рівня безпеки праці та впровадження інноваційних технологій, тема дисертаційної роботи

пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок та середньострокових пріоритетних напрямків інноваційної діяльності загальнодержавного та галузевого рівнів», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р., зі змінами згідно Постанови №782 від 12 липня 2022 р. та Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні, схваленій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556, в частині сприяння впровадженню технологій штучного інтелекту у пріоритетних галузях економіки та забезпечення безпеки їх застосування; а також науково-дослідних робіт за темами, у яких автор брав безпосередню участь як виконавець: “Розробка методологічних основ проектування, дослідження та обґрунтування напрямків підвищення ефективності виконавчих механізмів, вузлів та конструкцій підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин.” (ДР № 0120U103983).

Таким чином, обрана тема є надзвичайно актуальною як у науковому, так і у прикладному аспекті, адже сприяє вирішенню важливої задачі – підвищення надійності та безпеки експлуатації баштових кранів шляхом використання новітніх досягнень штучного інтелекту.

Оцінювання обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

У дисертаційній роботі Держинського І.В. обґрунтовано актуальність обраного напрямку дослідження, яка підтверджується великою кількістю та якістю літературних джерел. Виконана робота свідчить про глибокий аналіз наукових праць як закордонних, так і вітчизняних науковців.

Для розв'язання науково-практичних завдань, визначених у межах дисертаційного дослідження, автором застосовано комплексний підхід, що об'єднує інструменти системного аналізу, методи штучного інтелекту та експериментальну верифікацію результатів.

Оцінювання поточного стану проблеми безпеки експлуатації баштових кранів, виявлення основних ризиків та огляд сучасних технічних рішень виконано на основі аналізу науково-технічних джерел, нормативно-правових актів та статистичних матеріалів.

Під час розробки підсистеми предиктивної діагностики технічного стану елементів крана використано методи цифрової обробки сигналів для інтерпретації даних з датчиків, а для класифікації станів і виявлення потенційних відмов — нейромережеві моделі, зокрема багат шарові перцептрони.

Завдання прогнозування вітрового навантаження розв'язувались з використанням методів глибокого навчання, зокрема адаптивних рекурентних нейронних мереж, здатних ефективно аналізувати динаміку часових рядів метеоданих.

Підсистема розпізнавання психофізіологічного стану оператора реалізована на основі методів комп'ютерного зору. Для детекції обличчя застосовано алгоритми типу каскадів Гаара, а для класифікації станів втоми та сонливості — згорткові нейронні мережі, що дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі з високою точністю.

Дослідження насичене формулами та ілюстраціями, що полегшує сприйняття роботи та показує обґрунтованість наукових положень та висновків. В даній роботі розроблено три функціональні програмно-апаратні модулі, що є її перевагою. Достовірність наукових положень підтверджується позитивною оцінкою верифікації результатів розроблених систем безпеки та схвальними відгуками на основні результати дисертаційної роботи, які докладались на наукових конференціях (автор приймав участь в 10 наукових конференціях). Опубліковані статті в наукових виданнях України, достатньо повно відображають основні наукові здобутки автора, які винесені на захист. Все вищевикладене дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота

Держинського Ігоря Віталійовича є обґрунтованою та достовірною працею з вагомими науковими результатами.

Наукова новизна, отримана в дисертаційній роботі.

Основні наукові результати дослідження отримані автором особисто і характеризуються науковою новизною, важливими пунктами якої є те, що вперше отримані закономірності зміни діагностичних параметрів технічного стану механізму повороту баштового крана, які дозволили розробити підсистему предиктивного обслуговування з використанням технології глибокого навчання нейронної мережі.

Удосконалено математичну модель підсистеми моніторингу психофізіологічного стану оператора баштового крана 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 крана.

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 крана та прогнозування небезпечних вітрових навантажень та використовує технології штучного інтелекту.

Практичне значення отриманих результатів.

Автором розроблено інтегровану інтелектуальну систему безпеки баштового крана, яка об'єднує підсистему предиктивної діагностики на основі вібродатчиків та обчислювального модуля, підсистему прогнозування вітрових навантажень на базі обчислювального модуля та метеостанції та розпізнавання сонливості оператора на базі обчислювального модуля та камери. Застосування

цієї системи дозволяє своєчасно виявляти потенційні загрози, зумовлені технічними несправностями, несприятливими зовнішніми умовами або втомою персоналу, що, у свою чергу, значно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищує ефективність управління краном у реальному часі.

Науково обґрунтовані підходи та отримані результати пройшли апробацію та впроваджені у діяльність будівельних компаній ТОВ «Будівельна компанія «Престиж», ТОВ «Техпідряд» та ТОВ «ВОЛИНЬЕКОБУД», що підтверджує їхню прикладну ефективність. Крім того, окремі положення роботи інтегровано в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці бакалаврів за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою «Будівельні, колійні, гірничі та нафтогазопромислові машини» та при підготовці магістрів за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, колійні машини та обладнання», що свідчить про освітню цінність розробок.

Факт впровадження результатів дослідження підтверджується відповідними актами, які наведені в додатках А-Г до дисертації.

Повнота викладення основних наукових положень, висновків дослідження в опублікованих роботах.

Результати наукових досліджень Держинського І.В. висвітлено в 15 наукових працях, серед яких: 4 основні наукові статті у фахових виданнях затверджених МОН України, 1 додаткова стаття у науковому фаховому виданні затвердженому МОН України, 10 тез доповідей на науково-практичних конференціях. У роботах, які опубліковано у співавторстві, особистий вклад автора відображає зараховані за темою дисертації результати досліджень та не викликає сумнівів. Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлено у наукових публікаціях здобувача.

Структура та зміст дисертаційної роботи.

Дисертація Держинського Ігоря Віталійовича складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 168 сторінок, з яких обсяг основного тексту 121 сторінка. Робота ілюстрована 48 рисунками, наведено 2 таблиці, список використаних джерел із 154 найменувань на 18 сторінках, 4 додатка на 5 сторінках.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача повністю відповідає Стандарту вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування» та напрямом досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування».

Анотації роботи українською та англійською мовами викладені чітко, логічно й повністю відображають зміст дослідження. У роботі подано повний перелік наукових публікацій здобувача, що стосуються тематики дисертації.

Дисертаційне дослідження відповідає назві, структурі, поставленій меті та завданням дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, що зумовлена стійкою тенденцією до зростання аварійності баштових кранів та недостатньою ефективністю існуючих, переважно реактивних, систем безпеки. Автор доводить, що перехід до проактивного запобігання аваріям на основі технологій штучного інтелекту є нагальною науково-технічною задачею. Мета та завдання дослідження сформульовані чітко та логічно впливають із постановки проблеми. Науковий апарат дослідження, включаючи об'єкт, предмет та гіпотезу, є коректним і повністю відповідає темі та змісту дисертації.

У першому розділі проведено аналіз наукових джерел, який підтверджує, що технології глибокого навчання є глобальним трендом у суміжних галузях. Автор показує, що для окремих задач вже існують рішення на базі нейронних мереж: наприклад, рекурентні мережі для прогнозування часових рядів чи згорткові мережі для аналізу зображень. Проте ключовий висновок розділу

полягає в тому, що ці інструменти застосовуються ізольовано. Таким чином, автор обґрунтовує одну з наукових задач своєї роботи – не просто застосувати нейромережі, а розробити архітектуру, яка б об'єднала кілька спеціалізованих нейромережових моделей в єдиний синергетичний комплекс безпеки.

У другому розділі детально описано розробку першого інтелектуального компонента системи безпеки – діагностичної нейронної мережі, що відповідає за предиктивне обслуговування крану. На вхід мережі подається вектор ознак, отриманих після обробки сигналів з вібраційних та температурних датчиків. Роль нейронної мережі полягає у виконанні задачі класифікації: вона аналізує ці складні патерни даних і визначає поточний технічний стан механізму ("норма", "помірний знос", "критичний стан"). Важливим є те, що автор експериментально порівнює різні алгоритми машинного навчання і доводить, що саме розроблена нейромережева модель забезпечує найкраще співвідношення точності класифікації та швидкодії на цільовій апаратній платформі (NVIDIA Jetson Nano).

У третьому розділі наведено використання адаптивної нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування небезпечних вітрових навантажень. Центральним елементом підсистеми є нейромережева модель, спеціально спроектована для аналізу часових рядів за підходом "багато кроків назад – один крок вперед". Мережа навчається на історичних метеоданих, щоб прогнозувати швидкість вітру з високою ефективністю (середня абсолютна процентна похибка прогнозування — 16,27%). Цей розділ яскраво демонструє перехід від пасивного моніторингу до активного керування: прогноз, згенерований нейронною мережею, є не просто інформацією для оператора, а прямим тригером для автоматизованої системи керування, яка превентивно переводить стрілу крана в безпечне положення.

У четвертому розділі для боротьби з людським фактором застосовується одна з передових технологій — згорткова нейронна мережа, завдання якої — аналіз зображень. Система в реальному часі отримує відеопотік з камери, а

мережа, навчена на тисячах прикладів, виявляє в ньому складні візуальні патерни, що відповідають втомі та сонливості оператора (специфічне положення повік, міміка при позіханні). Висока точність розпізнавання (96%) доводить ефективність обраної архітектури нейронної мережі. Розроблена система не просто сигналізує про небезпеку, а видає диференційовану оцінку стану, що дозволяє гнучко реагувати на загрозу.

У п'ятому розділі представлено концепцію фінальної архітектури, яка по суті є системою вищого рівня, що керує роботою трьох розроблених нейромережових моделей. Інтегрована інтелектуальна система безпеки (ІСБ) отримує та синтезує дані від усіх нейромереж: висновок про технічний стан від діагностичної мережі, прогноз ризику від прогностичної мережі та оцінку стану оператора від CNN. На основі комплексного аналізу цих даних ІСБ приймає фінальне рішення щодо безпеки. Таким чином, автор пропонує не просто набір окремих інструментів, а цілісну екосистему на основі нейронних мереж. Проведений економічний аналіз підтверджує, що впровадження такого комплексного нейромережевого підходу є виправданим як з технічної, так і з фінансової точки зору.

У загальних висновках підсумовано виконання завдань досліджень і констатовано досягнення мети, а у додатках наведено акти впровадження.

Таким чином, аналіз дисертаційної роботи здобувача показує, що вона є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційну роботу написано державною мовою, оформлено відповідно до вимог, встановлених МОН України. Зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень автора. Суттєвих зауважень щодо правопису немає. Наукова новизна, висновки, пропозиції і рекомендації мають високий рівень обґрунтованості, підтверджуються статистичним матеріалом. У

дисертації та наукових публікаціях здобувача відсутні ознаки порушення академічної доброчесності.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Незважаючи на вагомість отриманих наукових результатів для підвищення безпеки експлуатації баштових кранів шляхом впровадження інтелектуальних систем, роботі притаманні певні недоліки, зауваження та дискусійні положення, які полягають у наступному:

1. У дисертаційній роботі недостатньо розкрито питання масштабованості запропонованої системи безпеки до різних типів вантажопідійомних машин, що важливо для її впровадження у серійне машинобудівне виробництво.

2. При розробці підсистеми прогнозування вітрових навантажень автор зосереджується переважно на аналізі середньостатистичних значень, тоді як короткотривалі пориви та пульсації вітру, які є критичними для високих конструкцій, розглянуто недостатньо.

3. У роботі доцільно було б подати розширене обґрунтування вибору нейромережових архітектур для задач діагностики технічного стану та прогнозування, з порівняльним аналізом альтернативних підходів з позиції обчислювальної складності й точності.

4. Не повністю окреслено потенційні обмеження застосування системи в умовах інтенсивних вібрацій, пилу чи обмеженого огляду — типових для реальних умов експлуатації будівельної техніки.

5. Наведені у першому розділі рис.1.1, рис.1.3, рис. 1.4 та рис. 1.5 відповідно на стор. 25, 29, 33, 35 не надають корисної інформації, більш доцільним було використання таблиць з кількісними показниками аварійності кранів, або діаграм чи графіків.

6. Досить спірним є використання контролеру Simatic S 7 -300, який призначений для вирішення дещо інших задач.

7. Дещо декларативно наведено обґрунтування обмежень та припущень для розроблених моделей, необхідно більшу увагу приділити процедурі верифікації моделей.

У цілому, викладені зауваження не зменшують теоретичного та практичного значення результатів дисертаційної роботи, до того ж окремі з них можуть бути враховані в подальшій роботі здобувача. Висловлені зауваження не є визначальними, не применшують науковий вклад і практичну цінність результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок про дисертаційну роботу.

Дисертація Держинського Ігоря Віталійовича на тему «Підвищення безпеки експлуатації баштового крану за допомогою використання штучного інтелекту у керуючих системах» повністю відповідає спеціальності 133 Галузеве машинобудування з галузі знань 13 Механічна інженерія та 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), 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 (зі змінами).

Вважаю, що здобувач - Держинський Ігор Віталійович - заслуговує на присвоєння йому ступеня доктора філософії у галузі знань 13 - Механічна інженерія за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри
спеціалізованих комп'ютерних систем
Українського державного університету
залізничного транспорту



Особистий підпис
Засвідчую _____ 20__ р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Валентин МОЙСЕЄНКО
Валентина МОЙСЕЄНКО
Доману