

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

Подолька Олега Степановича

на дисертаційну роботу Коваленка Олега Олександровича

**«Підвищення довговічності баштових кранів серії КБ при модернізації шляхом застосування частотних приводів»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування

### **Актуальність теми**

Україна має значний парк баштових кранів серії КБ, які продовжують експлуатуватись, але у більшості випадків обладнані застарілими системами електроприводів на основі двигуна з фазним ротором. В той же час подальше використання модернізованих кранів КБ може бути економічно обґрунтованим в порівнянні із заміною їх на нові крани в разі обґрунтованості подальшої безпечної експлуатації, зокрема через зниження динамічних навантажень та реалізацію раціональних законів керування. Для досягнення поставленої задачі перспективним є застосування частотно-регульованого приводу механізмів, який забезпечує плавність регулювання швидкості двигуна. Проблемі оптимального керування приводом вантажопідійомних машин присвячено багато робіт, як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Однак питання оцінки впливу режимів керування механізмом повороту на динамічні навантаження в пружних ланках металоконструкції баштових кранів і, відповідно, на термін їх служби висвітлені недостатньо. Тому дисертаційна робота Коваленка Олега Олександровича, що спрямована на реалізацію науково-практичної задачі застосування частотних приводів при модернізації баштових кранів серії КБ, є актуальною.

У дисертаційній роботі поставлена науково-технічна задача підвищення довговічності баштових кранів шляхом зменшення динамічних навантажень при застосуванні частотно-регульованого приводу.

Дисертаційна робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” в рамках госпдоговірних тем науково-

дослідної роботи кафедри підйомно-транспортних машин і обладнання згідно договорів № 07.09-19 «Розробка проекту і Технічних умов на реконструкцію баштового крану КБ-408-4 з метою збільшення вильоту шляхом встановлення додаткової секції стріли»; № 01.01.2020 «Експертне обстеження, технічне опосвідчення, паспортизація, ТУ на ремонт і реконструкцію, проведення неруйнівного контролю та випробувань, розробка карти технологічного процесу підсилення рами кранової установки автомобільного крану КС-55727 –С «ЗУБР», зав.№96 технологічна карта відновлення кореня стріли крану RDK-500, зав. № 0042» та № 02.06-21 «Надання послуг з технічного огляду та випробувань, згідно згідно ДК 021: 2015 N 71630000-3 (проведення експертного обстеження позачергового технічного огляду автомобільного крана КС-4574 А, зав. № 00559, рег. № 35272.) та повного технічного опосвідчення кранів-маніпуляторів на автомобільному шасі» , в яких здобувача був виконавцем окремих етапів.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Коваленка О.О., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного моделювання, диференційного та інтегрального числення. Закони оптимального за швидкістю руху для поворотного крану розраховано за допомогою методу фазових площин і принципу максимуму. Чисельний експеримент з дослідження зміни напружено-деформованого стану елементів металоконструкції баштового крана реалізовано за допомогою методу кінцевих елементів з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Результати розрахунку законів оптимального керування перевірені на натурному зразку, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів досліджень підтверджується застосуванням

сучасних уявлень про механізм формування динамічних зусиль в пружних елементах і динаміки руху механізму повороту баштового крана серії КБ. Основні положення досліджень підтверджуються значним обсягом чисельних експериментів, проведених на твердотільній моделі та їх математичній обробці.

Кожен розділ дисертаційної роботи закінчується висновками, що виникають із результатів досліджень, проведених у розділі.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- вперше отримано закономірності збільшення кількості циклів навантаження до настання втоми при застосуванні частотних приводів баштових кранів під час модернізації, що дозволяє кількісно визначити підвищення довговічності елементів металоконструкції;

- вперше встановлено закономірності зміни динамічних характеристик руху в системі привід – поворотна платформа – башта – стріла – вантаж на гнучкому підвісі для визначення зусиль у всіх ланках крану з поворотною баштою з урахуванням механічних характеристик приводу повороту;

- удосконалено динамічні моделі механізму повороту баштових кранів шляхом врахування механічної характеристики приводів, що дозволяє визначати динамічні навантаження використовуючи в якості вхідного параметру закон зміни частоти керування;

- отримали подальший розвиток критерії оптимізації керування механізму повороту стрілових кранів, завдяки чому синтезовано оптимальний за швидкодією закон руху з мінімальною кількістю переключень приводного двигуна і усуненням коливань вантажу впродовж розгону.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

1. Розроблена та реалізована система радіокерування двигунами на основі перетворювачів частоти для поворотного крану на колоні в/п 5 т, що має аналогію до баштового крану з неповоротною баштою отже дозволяє перенести дану розробку на великий клас діючих кранів. Розроблені та впроваджені технічні умови на модернізацію систем керування баштових кранів.

2. Розроблена конструкція тяги регульованої довжини для закріплення баштового крана, а також спосіб монтажу опорного кріплення на базі тяги запропонованої конструкції до будівлі, що підвищують довговічність закріплення крану. (акт впровадження ТОВ «ПСБК»).

3. Створено 3d модель баштового крану серії КБ, яка дозволяє виконувати дослідження напружено-деформованого стану елементів металоконструкції при статичному і динамічному навантаженні, направлені на підвищення довговічності його роботи.

4. Розроблена методика оцінки збільшення довговічності елементів металоконструкції баштового крану за різних систем керування і законів зміни швидкості впродовж перехідних процесів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у виробництво і в навчальний процес кафедри «Підйомно-транспортні машини і обладнання» НТУ «ХП» при підготовці студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», що підтверджується відповідним актом впровадження в навчальний процес.

#### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Результати досліджень опубліковані у 16 роботах, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus, 3 патенти на корисну модель України, 7 тезисів у матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

#### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота ПШБ складається зі вступу, п'яти розділів, висновків,

списку використаних джерел, 5 додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету, ідею та розв'язувані завдання, визначено основні положення, наукова новизна та практична значущість.

У *першому* розділі виконано огляд сучасного стану досліджень в Україні та за кордоном в галузі динаміки баштових кранів, систем керування приводами та оптимізації руху кранових механізмів. Розглянуто статистику стану парку баштових кранів в Україні. Наведені практичні приклади аварій баштових кранів та виконано аналіз причин відмов. Сформульовано гіпотезу дослідження.

У *другому* розділі представлено аналіз динаміки та оптимального керування механізмом повороту баштового крана на основі одномасової розрахункової схеми приводу, яка дозволила дослідити рух динамічної моделі для різних механічних характеристик двигуна при зміні кутової швидкості за лінійним, квадратичним та кубічним S-подібним законами. Складено математичну модель роботи баштового крана при повороті на основі п'ятимасової розрахункової схеми, що враховує інерційні характеристики поворотної платформи, башти, стріли та вантажу на гнучкому підвісі, пружні зв'язки між ними, а також вплив механічної характеристики приводу. Досліджено зміну зусиль в пружних зв'язках впродовж розгону за різних законів керування двигуном механізму повороту. На основі двомасової моделі поворотного крана з вантажем на гнучкому підвісі виконано синтез законів оптимального за швидкодією руху механізму повороту з усуненням коливань на початку робочого циклу.

У *третьому* розділі виконано підготовку та описано методику чисельного експерименту з визначення напружень в металоконструкції баштового крана впродовж розгону за різних законів керування. Розроблено розрахункову 3d модель металоконструкції баштового крана для можливості визначення напружено-деформованного стану на основі методу кінцевих елементів.

У *четвертому* розділі представлені результати чисельного експерименту з визначення напружено-деформованного стану елементів металоконструкції баштового крана за чисельного відтворення різних режимів розгону механізму повороту: двигун з фазним ротором, короткозамкнений з частотним керуванням з

квадратичною, кубічною S-подібною та лінійною зміною швидкості при розгоні. Представлено графіки зміни кутових швидкостей приводного двигуна, визначені чисельним розрахунком для зазначених режимів руху. Визначено залежності зміни напружень в елементах металоконструкції баштового крану в часі. Зроблені висновки щодо співвідношення максимальних значень напружень в елементах металоконструкції за різних законах зміни швидкості. Виходячи з результатів чисельного експерименту та використовуючи методику визначення утомної міцності міжнародного стандарту ISO, що регламентує підтвердження роботоспроможності кранових металоконструкцій, визначено закономірності збільшення довговічності, що виражається у збільшенні допустимої кількості циклів навантаження зварних з'єднань металоконструкцій баштових кранів при застосуванні приводу з частотним керуванням.

У *п'ятому* розділі представлена реалізація системи радіокерування поворотного крану з частотним регулюванням швидкості електродвигунів механізмів піднімання вантажу і повороту. Запропоновано конструкцію тяги регульованої довжини та спосіб закріплення баштового крану, що підвищує довговічність шляхом створення в тягах заданого розрахункового зусилля і уникнення надмірних навантажень.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 104 найменувань включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих

наукових пошуків.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. Ст. 57. Заявлено, що величина динамічних навантажень обернено пропорційна  $J_1$ , тому з метою їхнього зменшення необхідно мінімізувати момент інерції на першому валу механізму, але згідно з виразами (2.18) і (2.19) зі зменшенням моменту інерції  $J_1$  максимальний динамічний момент буде зростати.

2. Автором заявлено, що наявність зазорів у кінематичних парах механізму збільшує амплітуду пружного моменту вільних коливань, але при обґрунтуванні п'ятимасової моделі баштового крану цей фактор не враховується.

3. Автор використовує термін «ступінь волі», хоча, на мою думку, більш коректно використовувати термін «ступінь свободи».

4. При розробці п'ятимасової моделі не враховано кут нахилу стріли, хоча цей параметр впливає на жорсткість конструкції. В роботі не вказано яким чином і куди приводилась маса стріли.

5. Ст. 70. Заявлено, що зі зменшенням жорсткості конструкції високочастотна складова набуватиме більшого впливу та сильніше впливатиме на форму коливань у пружних ланках, але підтверджень у вигляді графіків або таблиць цього твердження не наведено.

6. Не зрозуміло чи перевірялась багатомасова модель баштового крану на достовірність.

7. Ст. 111. В тексті сказано, що зміна величини  $r_d$  ... представлена на графіку рис. 6.5, але сам графік представлено, як рисунок 4.8.

8. Пункт 5.2 «Спосіб монтажу опорного кріплення баштового крану до будівлі, що будується та тяга регульованої довжини для підвищення довговічності баштового крану» не відноситься до теми і мети дослідження.

9. Нажаль в дисертаційній роботі відсутнє техніко-економічне обґрунтування застосування приводу з частотним регулюванням.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Коваленка Олега Олександровича «Підвищення довговічності баштових кранів серії КБ при модернізації шляхом застосування частотних приводів» за своїм змістом відповідає спеціальності 133 – Галузеве машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає в підвищенні довговічності баштових кранів шляхом зменшення динамічних навантажень при застосуванні частотно-регульованого приводу.

Подана дисертаційна робота «Підвищення довговічності баштових кранів серії КБ при модернізації шляхом застосування частотних приводів» Коваленко О.О. відповідає спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування», відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Коваленко Олег Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент

В.о. завідувача кафедри машинобудування,  
транспорту і зварювання Харківського  
національного Університету імені В.Н.  
Каразіна, канд. техн. наук, доцент



Олег ПОДОЛЯК

04.08.2025 р.

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ  
Начальник відділу  
кадрів

