



## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора **Ткачука Миколи Анатолійовича** на дисертаційну роботу здобувача Федика Василя Володимировича „Вплив геометричних параметрів на навантажувальну здатність опорно-поворотного пристрою автокранів”, що подана до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 - машинознавство

**Актуальність теми дисертації.** Сучасне машинобудування розвивається за багатьма напрямками, серед яких важливе місце посідає поліпшення навантажувальної здатності, міцності та довговічності роботи машин, механізмів та вузлів за рахунок раціонального проектування їхніх елементів, які перебувають у рухомому контактному з'єднанні під навантаженням. Внаслідок цього перед машинознавством постають як задачі створення більш точних розрахункових моделей та методів аналізу напружено-деформованного стану контактуючих деталей машин, так і задачі синтезу таких конструктивних рішень та профілів контактуючих поверхонь взаємодіючих тіл, які забезпечують підвищену міцність найбільш навантажених деталей. Ця сукупність задач має значну історію свого розвитку, проте загальне та повне розв'язання означені задачі на сьогодні отримали далеко не в повному обсязі. Отже, ця проблематика і надалі залишається актуальною.

Особливої актуальності набувають задачі забезпечення навантажувальної здатності для високонавантажених конструкцій, яскравим прикладом яких є опорно-поворотні пристрої, що часто лімітують термін роботи всього авторкана. Можна погодитися зі здобувачем, що у цьому контексті підвищення навантажувальної здатності опорно-поворотних пристроїв застосуванням модифікованих тіл кочення є актуальною науково-практичною задачею, розв'язання якої створює умови для зменшення моменту сил тертя в робочій зоні та поліпшення експлуатаційних характеристик.

Таким чином, поставлена та вирішена у дисертаційній роботі задача є не тільки актуальною, але й важливою як для науки, так і для практики

Варто зазначити, що дисертаційна робота виконувалась відповідно до

основного наукового напрямку „Динаміка та навантажувальна здатність машин і споруд циклічної дії” кафедри деталей машин Національного університету „Львівська політехніка”. Автор дисертаційної роботи був виконавцем низки госпдоговорних робіт. Разом із тим певна наукова значимість результатів заслуговує того, щоби вони увійшли у бюджетні НДР за тематичним планом Міністерства освіти і науки України. Проте в авторефераті та у вступі до дисертації такого переліку немає. Разом із тим слід відмітити, що якраз конкретні НДДКР на замовлення промисловості є важливим чинником, що дуже позитивно зарактеризує роботу.

Відповідно до сформульованої теми здобувач окреслив основні завдання дисертаційних досліджень, обрав об’єкт, предмет та методи дослідження. Слід зазначити, що заявлені завдання знайшли своє повне розв’язання, опис якого міститься у тексті дисертації.

Як видно із аналізу дисертації, вона виконана здобувачем самостійно, а особистий внесок у роботи зі співавторами є вагомим та достатнім. Основні наукові положення та результати проведених досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на науково-технічних конференціях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 29 наукових праць, у т. ч. 15 статей у фахових виданнях, що затверджені МОН України, 1 із них англійською мовою; 3 статті в зарубіжних виданнях; 3 патенти України на корисну модель. Отже, кількість, географія та авторитетність публікацій є достатніми.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Можна погодитися із здобувачем, що наукова новизна отриманих результатів визначається тим, що для розробленої нової конструкції запропоновано математичні моделі, які уможливають обґрунтування кінематичних, силових параметрів і міцності запатентованого опорно-поворотного пристрою, і вперше розв’язані такі задачі:

– запропоновано аналітичні вирази для визначення швидкостей ковзання роликів опорно-поворотних пристроїв автокранів із урахуванням торцевого геометричного тертя;

– розроблено математичні моделі для проведення силового аналізу

опорно-поворотних пристроїв автокранів із визначенням закономірностей розподілення зовнішнього навантаження між роликами;

– методом скінченних елементів отримано закономірності розподілу контактних напружень на торцях і за довжиною традиційних і модифікованих роликів, що дало змогу встановити реальний напружено-деформований стан елементів опорно-поворотних пристроїв автокранів;

– науково обґрунтовано підходи до експериментального визначення моментів опору в опорно-поворотних пристроях з традиційними і модифікованими роликами, що підтвердило ефективність застосування запатентованих конструкцій.

**Практичне значення отриманих результатів.** Оцінюючи роботу з цього боку, слід зазначити її пряме практичне спрямування. Зокрема, використання отриманих результатів істотно підвищує ефективність опорно-поворотних пристроїв автокранів. Подані у роботі аналітичні залежності, методики для практичних комп'ютерних розрахунків можуть бути використані при проектуванні та експлуатації цих пристроїв. Розроблена інженерна методика кількісного аналізу напружено-деформованого стану тіл кочення може бути використана на етапах проектування та експлуатації кранів. Запропонований алгоритм проведення експериментальних випробувань опорно-поворотних пристроїв може бути використаний у лабораторних та виробничих умовах. Рекомендації щодо вибору і проектування опорно-поворотних пристроїв з модифікованими тілами кочення впроваджено у виробництво на ПАТ „Дрогобицький автокрановий завод”, а розроблена дослідна установка і методична розробка для проведення лабораторної роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі деталей машин Національного університету „Львівська політехніка”, що підтверджується відповідними актами про впровадження.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів.** Наукові положення, висновки за отриманими результатами проведеного дослідження та рекомендації щодо їхнього застосування і

практичного використання достатньо обґрунтовані, їхня достовірність підтверджена кількісно з прийнятною точністю проведеними натурними експериментами.

**Обсяг та структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел зі 150 назв, із них 16 іноземною мовою, містить 5 таблиць, 48 рисунків і додатки. Загальний обсяг роботи 138 сторінок.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено інформацію про апробацію результатів теоретичних і експериментальних досліджень та публікації, що містять у собі основні положення роботи.

**У першому розділі** детально проведено порівняльний аналіз результатів дослідження навантажувальної здатності опорно-поворотних пристроїв кранів на основі вітчизняних і закордонних літературних джерел. Установлено основні їх напрямки стосовно особливостям розрахунку деталей опорно-поворотних пристроїв, специфіки експлуатації, ремонту, довговічності, надійності тощо.

Справедливо наголошується, що одночасно з великим обсягом наукових розробок, різноманітних питань, що стосується кранобудівництва, залишається проблема довговічності та надійності опорно-поворотних пристроїв автокранів. Це пояснюється практично відсутністю методу уточненого розрахунку кінематичних параметрів з урахуванням торцевого геометричного тертя роликів по бігових доріжках сусідніх тіл кочення та напружено-деформованого стану контактуючих деталей з урахуванням впливу геометричних параметрів пристрою. Розв'язанню цієї задачі присвячена дана дисертаційна робота, з якою здобувач успішно справився.

У висновках до розділу на основі проведеного аналізу відомих літературних джерел чітко сформульовано етапи розв'язання основної задачі дисертації.

**Другий розділ** присвячено розгляду кінематико-геометричних

залежностей в опорно-поворотних пристроях (ОПП) автокранів з роликівими тілами кочення. При цьому особлива увага приділена пристроям, що мають кут нахилу  $45^\circ$  геометричної осі роликів до основної осі обертання рухомої частини.

Основною метою тут є визначення: *кінематичних параметрів* процесу кочення та ковзання роликів відносно робочих поверхонь бігових доріжок кілець і вінця опорно-поворотних пристроїв з традиційною формою роликів; *аналітичних залежностей*, що описують швидкості ковзання контактуючих елементів і проведення кількісного їх аналізу; *основних чинників*, що впливають на величину швидкості ковзання, для уможливлення розробки рекомендацій з поліпшення режиму функціонування опорно-поворотного пристрою автомобільних кранів.

Розроблено відповідні розрахункові схеми, на основі яких уперше запропоновано аналітичні вирази, що описують геометричні параметри та швидкості ковзання елементів опорно-поворотного пристрою. Важливим результатом є тут те, що автором чітко доведена необхідність врахування торцевого геометричного тертя традиційних роликів та запропонована нова конструкція пристрою задля усунення цього негативного явища. Розроблена конструкція опорно-поворотного пристрою визнана новою та видано патент України на винахід.

**Третій розділ** є вагомим із огляду на теоретичні дослідження силової взаємодії основних елементів та навантажувальної здатності опорно-поворотного пристрою автокранів. Наведено розрахункові схеми для визначення допустимих навантажень тіл кочення з боку з'єднувальних болтів, осьових зовнішніх зусиль та обертальних моментів, які разом характеризують навантажувальну здатність всього пристрою.

Запропоновано аналітичний вираз для визначення несучої здатності пристрою за максимальним моментом та осьового зусилля з визначенням їхніх максимальних значень.

Виконано великий обсяг теоретичних досліджень навантажувальної

здатність за контактним напруженням елементів опорно-поворотного пристрою автокранів. На основі класичної теорії міцності прийнято наближену до реальної конструкції розрахункову схему та загальну умову міцності зведено до спрощеного вигляду, такого, що є зручним для практичного використання, особливо на етапі проектування подібних систем.

Для повнішого дослідження навантажувальної здатності цього пристрою проведено теоретично та методом скінченних елементів кількісний аналіз напружено-деформованого стану в робочій його зоні з традиційними та модифікованими роликами. Для цього використано програмний продукт CosmosWorks, який є інтегрованим в середовище проектування SolidWorks.

Розроблено твердотільні моделі опорно-поворотного пристрою з традиційними та модифікованого роликами для проведення кількісного аналізу напружено-деформованого стану у місцях силової взаємодії тіл кочення з робочими поверхнями бігових доріжок кільця та півобойм пристрою.

Отримано закономірність зміни контактних напружень на всіх ділянках робочої зони пристрою з визначенням небезпечніших місць та кількість більш навантажених тіл кочення. Переконаливо доведено, що максимуми навантажень припадають на 3 – 4 ролики, що розташовані під навантаженою стрілою крана, а також визначено, що контактна взаємодія двох тіл за певних обставин така, що максимальні контактні напруження мають місце не на теоретичній лінії доторкання, а їх піки зміщуються на деяку відстань.

Підтверджено також ефективність застосування модифікованих роликів тим, що вони істотно згладжують торцевий ефект, а саме на їхніх торцях спостерігається зменшення величини контактних напружень.

**Четвертий розділ** присвячений експериментальним дослідженням силової взаємодії між основними елементами опорно-поворотного пристрою з традиційними та модифікованими тілами кочення. У розділі чітко сформульована мета досліджень, описано розроблене устаткування для проведення експериментів і проаналізовано результати дослідної перевірки ефективності застосування запатентованого пристрою.

Автором знайдено ефективний розв'язок даного завдання, що полягає у розробленні універсальної моделі опорно-поворотного пристрою, яка допускає переналаджування дослідної установки з урахуванням можливостей застосування традиційних і модифікованих роликів. Як тіла кочення вдало застосовано ролики стандартного підшипника 2306 середньої серії, що мають діаметр і довжину - 10 мм.

Для отримання модифікованих роликів проведено алмазне шліфування зовнішніх торців стандартних тіл кочення, а для рівномірного затягування з'єднувальних болтів пристрою розроблено, виготовлено і апробовано обмежувач обертального моменту, на конструкцію якого отримано 2 патенти на корисну модель.

Проведено великий обсяг вимірів рушійної сили на початку руху поворотної частини установки з навантаженням на стрілі 48, 56 Н та 98, 5 Н для різних початкових положень.

Порівняння отриманих результатів підтверджує ефективність застосування модифікованих роликів для опорно-поворотного пристрою автокранів, тому що це зменшує момент тертя під час обертання майже в два рази, а збільшення зовнішнього навантаження в два рази призводить до погіршення ефективності роботи пристрою близько 7%.

**Загальні висновки і рекомендації**, які містяться в дисертації, відображають результати проведеного дослідження, є конкретними і корисними для практичних розрахунків, проектування та експлуатації опорно-поворотних пристроїв автокранів і машин, що оснащуються такими складальними одиницями.

Оцінюючи дисертацію Федика В.В. **в цілому**, можна вважати, що вона має цілісний і завершений характер, розв'язує важливу науково-прикладну задачу, пов'язану з потребою вдосконалення опорно-поворотних пристроїв автокранів. Є всі підстави вважати, що дисертація виконана автором самостійно і на високому науковому рівні.

Стиль викладання матеріалу зрозумілий для сприйняття. Разом з тим в

тексті роботи є дискусійні повторювані терміни: «контактні напруження» у значенні «контактний тиск»; «метод кінцевих елементів» або «метод скінченних елементів» тощо.

**Автореферат дисертації** достатньо повно у стислій формі відображає усі основні положення виконаної роботи і дає достатню уяву про ступінь новизни та практичне значення отриманих результатів.

### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. У дисертації основна увага приділена опорно-поворотним пристроям автокранів. У той час не достатньо пояснень, якою мірою отримані результати і рекомендації можуть бути застосовані до інших машин подібного класу.

2. Аналіз результатів літературних джерел проведено широко, але дещо менше приділено уваги закордонним роботам і забагато – науковим працям стосовно кулькових опорно-поворотних пристроїв, за рахунок яких можна було скоротити обсяг першого розділу.

3. Автором запатентовано конструкції обмежувача обертального моменту, але принцип його роботи в дисертації не пояснено. Було б доцільним також визначити залежність його параметрів від бажаного діапазону сили попереднього затягування гайок з'єднувальних болтів.

4. У третьому розділі доцільно було б повніше пояснити явище появи двох піків на графіку контактних напружень у робочій зоні пристрою, а також на осциляцію у розділі контактних напружень.

5. На жаль, в текстах дисертації та автореферату зустрічаються невдалі вирази, деякі описки і недостатньо чіткі рисунки.

6. Розроблені та описані у роботі скінченно-елементні моделі могли би бути більш точними, якби будувалися у спеціалізованих пакетах інженерного аналізу типу ANSYS, Abaqus, Femap тощо. Ці пакети більш пристосовані до дослідження контактної взаємодії складнопрофільних тіл.

7. У роботі здобувач неодноразово опелює до так званих «теоретичних результатів» щодо значень та розподілів контактних напружень. Разом із тим традиційні співвідношення для їхнього розрахунку мають у випадку, що



досліджується, обмежене застосування. Це пов'язано із сумірністю розмірів тіл кочення та іншими чинниками. Варто було б опелювати або до експериментально визначених контактних напружень, або до обчислених на скінченно-елементній моделі із великою кількістю вузлів у зоні контакту.

Зазначені зауваження не мають вирішального значення і не зменшують наукового рівня виконаного дослідження та практичної цінності отриманих результатів. Вони здебільшого мають рекомендаційний характер і направлені на доповнення змісту дисертації та її поліпшення.

### **Висновок**

Дисертація Федика В.В. є завершеною науковою працею, в якій розв'язана важлива науково-прикладна задача із удосконалення опорно-поворотних пристроїв автокранів.

Дисертація повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.02 – машинознавство.

Дисертаційна робота на тему „Вплив геометричних параметрів на навантажувальну здатність опорно-поворотного пристрою автокранів” виконана на належному науковому рівні, відповідає вимогам МОН України, що ставляться до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 чинного «Положення...», а її автор, Федик Василь Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор, завідувач  
кафедри «Теорія і системи автоматизованого  
проектування механізмів і машин»  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

М.А. Ткачук

Підпис професора Ткачука М. А. — засвідчую

Вчений секретар Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут», к. т. н., доц.

Ю. І. Зайцев

