

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту **Козара Леоніда Михайловича**

на дисертаційну роботу **Мусаєва Заура Разиловича**

«Підвищення ефективності роботи короткобазових колісних навантажувачів у транспортному режимі»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг – 177 сторінок, серед яких 69 рисунків по тексту, 1 таблиця на 2 сторінках, 13 таблиць по тексту, список використаних джерел зі 148 найменувань на 14 сторінках та 4 додатків на 14 сторінках.

Актуальність дисертаційної теми та її зв'язок з державними програмами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки. Ефективність застосування короткобазових колісних навантажувачів (КБН) як засобів малої механізації у різноманітних галузях економіки обумовлена їх високою маневреністю, мобільністю, багатоцільовим призначенням з використанням швидкозмінних робочих органів, відносно низькими експлуатаційними витратами та вартістю.

Через особливості конструкції машин даного класу важливою задачею є забезпечення їх стійкості на протязі операційного циклу. Недостатня стійкість призводить до значного зниження експлуатаційної продуктивності.

Не дивлячись на велику кількість існуючих науково обґрунтованих технічних рішень щодо підвищення стійкості КБН, виявлення нових закономірностей взаємодії їх рушіїв з опорною поверхнею, а також залежностей між геометричними, вантажними та швидкісними параметрами машини, необхідних для удосконалення систем керування, залишається актуальною задачею.

Тема відповідає засадам Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 р. № 603-р (випуск інноваційної продукції кінцевого споживання), Державної програми розвитку внутрішнього виробництва, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 12 вересня 2011 року № 1130, зокрема щодо удосконалення будівельної техніки на основі новітніх наукових та технологічних досягнень як вітчизняної, так і світової науки і промисловості.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Автором проведено всебічний аналіз конструктивних особливостей КБН та опублікованих наукових праць, присвячених дослідженням динамічної стійкості колісних машин, починаючи з 1950-х років. Окрема увага приділена комп'ютерному моделюванню динамічних процесів у піднімально-транспортних машинах. Усе це, зокрема, дозволило встановити, що вантажопідйомність КБН вітчизняного виробництва до 10 % менше, ніж в іноземних аналогів, через розміщення центра мас ближче до передньої осі машини, сформувати дійсні висотні характеристики нерівностей для використання в експериментальних дослідженнях, виявити раціональні параметри комп'ютерного моделювання та віднайти відповідний програмний комплекс, а також обґрунтувати прийняті допущення при складанні математичних моделей.

Наукові положення, які виносяться на захист, обґрунтовані результатами теоретичних досліджень стійкості КБН шляхом аналітичного та комп'ютерного моделювання процесу подолання одиночної перешкоди, підтверджені їх натурними експериментами. Результати наочно ілюстровані графіками, скріншотами та фотознімками.

Практична цінність обґрунтована впровадженням результатів роботи в ГПУ «Полтавагазовидобування», де вони отримали позитивну оцінку.

Висновки за результатами досліджень гармонізовані з поставленими метою і задачами, відображають усі основні отримані результати у конкретній формі.

Рекомендації щодо встановлення раціональних параметрів (швидкості та маси вантажу), які забезпечують стійкість КБН під час виконання ним транспортних операцій, обґрунтовані результатами експериментальних, імітаційних та теоретичних досліджень.

Достовірність теоретичних **результатів** щодо визначення зусиль, які діють на колеса під час їх взаємодії з перешкодою, виявлення найбільш небезпечного періоду взаємодії навантажувача з опорною поверхнею та залежності критерію стійкості навантажувача від його конструктивних параметрів під час подолання одиночної перешкоди підтверджується застосуванням апробованих методів дослідження: математичного моделювання з використанням рівняння Лагранжа другого роду та диференціального обчислення з використанням програмного пакету MathCAD.

Для комп'ютерного моделювання транспортного режиму КБН використані верифіковані програмні комплекси, зокрема Autodesk Inventor та Ansys для реалізації геометрії, створення скінченно-елементної моделі колеса та динамічних розрахунків. Модель, яка відповідає натурному зразку навантажувача марки ПМТС 1200, створена за допомогою класичних методів комп'ютерного моделювання.

Результати імітаційного моделювання за критерієм Пірсона збігаються з математичними на 82 %, що свідчить про достатню адекватність комп'ютерної моделі натурної машини.

Достовірність результатів експериментів з визначенні умов стійкості КБН при виконанні характерних технологічних операцій в умовах, максимально наближених до реальних, підтверджується використанням атестованих вимірювальних приладів, сертифікованого вимірювально-реєструвального обладнання та верифікованого програмного забезпечення.

Перевірку запропонованої автоматизованої системи керування, яка дозволяє регулювати рух об'єкта у залежності від зовнішніх умов робочого середовища, здійснено на фізичній моделі з використанням відкритої програмувальної апаратної платформи Arduino UNO.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у виявленні нових закономірностей впливу конструктивних параметрів КБН на його стійкість під час подолання перешкод.

Уперше встановлено залежності між такими параметрами: геометричні та вантажні характеристики навантажувача, висота перешкоди, положення центру мас і змінна швидкість машини.

Подальшого розвитку дістав принцип автоматизованого керування режимами руху навантажувача з урахуванням зміни зовнішніх умов робочого середовища.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях. За результатами дисертації опубліковано 13 праць (з 2016 року по 2019 рік).

Основні наукові результати дисертації опубліковані у 7 працях, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави за напрямом, з якого підготовлено дисертацію.

Апробацію матеріалів дисертації засвідчують 4 опубліковані тези доповідей наукових конференцій.

Додатково відображають наукові результати дисертації 2 Патенти України на корисну модель.

Опубліковані праці достатньою мірою охоплюють розділи дисертації, віддзеркалюють наукові положення, що виносяться на захист, та практичні рекомендації.

По кожній роботі, опублікованій у співавторстві, окремо зазначений конкретний особистий внесок здобувача.

Значення отриманих результатів для науки і практики. Використання розроблених здобувачем імітаційних моделей дає можливість оцінювати динамічні характеристики КБН та ефективність системи керування на початковому етапі проектування без витрат ресурсів на натурні експерименти. Пропонований вимірювальний комплекс дозволяє автоматизувати процес збирання даних щодо умов стійкості КБН під час проведення експериментів.

Практична цінність роботи полягає в розробленні рекомендацій щодо встановлення раціональних параметрів (швидкості і маси вантажу), які забезпечують стійкість КБН під час виконання транспортних операцій.

Результати математичного моделювання, які дозволяють визначати раціональну поведінку навантажувача під час виконання робочих операцій та результати експериментальних досліджень, пов'язаних з навантаженнями на металоконструкцію короткобазового навантажувача ПМТС 1200, для підбору змінних робочих органів при виконанні робочих операцій, прийнято до використання у виробничих умовах ГПУ «Полтавагазовидобування». Це підтверджено відповідним актом, копія якого наведена у додатку дисертації.

Переходячи до аналізу змісту дисертації, слід зазначити логічну послідовність викладення її структурних частин.

У першому розділі подано аналіз конструктивних особливостей короткобазових навантажувачів, результатів відомих наукових досліджень щодо забезпечення динамічної стійкості колісних вантажно-розвантажувальних та споріднених з ними машин у транспортному режимі, типів профільних перешкод на робочій ділянці та методів застосування комп'ютерного моделювання для опису динамічних процесів у піднімально-транспортних машинах.

Зазначені переваги і недоліки КБН. Важливою для подальших досліджень є інформація про втрату стійкості та відмови навантажувача марки ПМТС 1200, отримана під час попередніх випробувань на навчально-науковій виробничій базі ХНАДУ.

Аналіз публікацій охоплює понад 30 наукових праць, починаючи з 1950-х років по наш час. Розглянуто роботи, що стосуються загальних питань стійкості КБН, методів і вимог щодо випробувань на стійкість, процесу подолання колесом перешкоди, використовуваного математичного апарату та комп'ютерного моделювання динамічних систем.

Для обґрунтування вибору програмних комплексів, які використовуються у третьому розділі дисертації, подано порівняльний аналіз використовуваних нині систем автоматизованого проектування.

За результатами проведеного аналізу здобувачем визначено коло невирішених донині питань, мету і задачі дослідження.

Другий розділ є найбільшим за об'ємом і містить перелік прийнятих припущень у математичному моделюванні, вельми об'ємні аналітичні описи процесів переміщення навантажувача в плоскій системі та взаємодії коліс з опорною поверхнею.

Визначені зусилля, що діють на колеса під час їх взаємодії з перешкодою, висотні характеристики якої не перевищують половину дорожнього просвіту машини.

З точки зору новизни важливими результатами є отримання залежностей, що описують процес взаємодії колеса КБН з опорною поверхнею. Вони можуть бути використані для оцінки стійкості машини та зчіпних можливостей окремих її коліс. Встановлено, що найбільш небезпечним періодом взаємодії навантажувача з опорною поверхнею є з'їзд навантажувача з перешкоди під час подолання останньої задніми колесами. Виявлено нові закономірності впливу конструктивних параметрів навантажувача на його стійкість під час подолання одиночної перешкоди.

Третій розділ присвячений дослідженню процесу переїзду короткобазового навантажувача через одиночну перешкоду на комп'ютерних моделях.

Подано детальний поетапний опис комп'ютерного моделювання: реалізація геометрії та створення скінченно-елементної моделі колеса в програмному середовищі Autodesk Inventor; динамічне моделювання процесу переїзду колеса через перешкоду з використанням програмного комплексу Ansys; створення за допомогою класичних методів комп'ютерного моделювання 3D-моделі навантажувача марки ПМТС 1200, яка складається із 93 деталей та максимально відповідає натурному зразку; візуалізація процесу переїзду КБН через одиночну перешкоду.

Новими результатами є встановлення залежності критерію стійкості машини від її швидкості за різної висоти розташування робочого обладнання, а також встановлення адекватності імітаційного моделювання (збіг результатів з математичним моделюванням на 82 % за критерієм Пірсона).

У четвертому розділі описані експериментальні дослідження процесу подолання одиночної перешкоди на натурному зразку навантажувача марки ПМТС 1200. Наведено мету, завдання та методику проведення експериментальних досліджень; обґрунтовано вибір вимірювальної апаратури та порядок калібрування розробленої тензометричної системи; подано докладну програму експериментів. Наведені матриці планування, результати перевірки адекватності моделей з використанням критеріїв Кохрена, Стюдента та Фішера, поверхні відгуку для досліджуваних параметрів: напружень у металоконструкції робочого обладнання, прискорення навантажувача та тиску в гідросистемі робочого обладнання.

Результатами експериментальних досліджень підтверджено адекватність математичної моделі, поданої в другому розділі (похибка не перевищує 16 %).

Підтверджено висновок до другого розділу про те, що найбільш небезпечний період взаємодії навантажувача з опорною поверхнею – це з'їзд КБН з перешкоди під час її подолання задніми колесами.

У п'ятому розділі запропонована методика підвищення ефективності роботи КБН, яка полягає у створенні автоматизованої системи керування, що визначає параметри, за яких забезпечується стійкість КБН при переїзді через одиничну нерівність з оцінкою умов можливої її втрати. Проведено аналіз стійкості навантажувача в транспортному режимі з погляду побудови системи керування.

Функціонування запропонованої системи керування перевірено на фізичній моделі з використанням відкритої програмувальної апаратної платформи Arduino UNO, яка використовується для розробки інтерактивних систем, керованих різними датчиками. Модель оснащена оптичними датчиками положення коліс та ультразвуковим датчиком перешкоди. Надано докладний опис побудування arduino-моделі КБН.

Не дивлячись на зауваження автора про те, що розроблена автоматизована система керування, яка дозволяє регулювати рух об'єкта у залежності від зовнішніх умов робочого середовища, є лише передумовою до створення системи контролю натурального навантажувача, результати отримані в цьому розділі, заслуговують на увагу і відповідають критерію «новизна», зокрема щодо доведення доцільності застосування подібних систем на натурних КБН.

Висновки автора за усією дисертацією охоплюють отримані основні наукові і практичні результати, відповідають меті та задачам дослідження, є обґрунтованими, викладені лаконічно.

Наприкінці аналізу змісту дисертації варто зазначити достатньо високий рівень володіння здобувачем цифровими навичками як щодо програмного забезпечення, так і щодо підбору фізичних компонентів.

Зміст автореферату достатньою мірою відображає основні положення та результати дисертаційної роботи. В авторефераті відсутні відомості, які не містить дисертація.

Зауваження щодо дисертаційної роботи та автореферату.

Щодо змісту

1 У загальних висновках відсутні відомості про доцільність використання імітаційного моделювання в наукових дослідженнях, пов'язаних із динамічними процесами будівельних та дорожніх машин (дивись у вступі «Наукова новизна одержаних результатів», пункт 3).

2 У п'ятому розділі дисертації зазначено: «... система, що зможе повідомляти оператору машини про доцільну швидкість руху, якщо машина наближається до перешкоди» і нічого про автоматичне зниження швидкості, а в авторефераті: «... розроблено фізичну модель з системою керування, яка автоматично знижує швидкість машини до рекомендованої в залежності від висоти перешкоди та відстані до неї».

3 У п'ятому розділі відсутні пояснення щодо того, як система автоматизованого керування визначає висоту перешкоди.

Щодо оформлення

4 Структурний елемент дисертації названий «Список літератури», а згідно з розділом II чинних Вимог до оформлення дисертації, затверджених Наказом МОН від 12.01.2017, № 40 (далі Вимоги), він має називатись «Список використаних джерел».

5 У списку публікацій здобувача за темою дисертації зазначено особистий внесок здобувача у праці під номерами 6 і 7, хоча вони є одноосібними публікаціями.

6 У списку публікацій здобувача за темою дисертації праці під номерами 12 і 13 названі «Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності», а згідно з пунктом 4 розділу III Вимог та пунктом 12 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Постановою КМУ від 24 липня 2013 р. № 567, вони мають називатися «Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації».

7 У тексті дисертації подекуди зустрічаються некоректні для української словосполучення, зокрема: «на вісі» (правильно «на осі»); «пересічна місцевість» (правильно «перетята місцевість»); «облік факторів» (правильно «урахування факторів») «кінцево-елементний» (правильно «скінченно-елементний»).

Слід зазначити, що наведені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Мусаєва З.Р. і не носять принципового характеру.

ВИСНОВОК

Дисертація Мусаєва Заура Разиловича є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності роботи короткобазових колісних навантажувачів за рахунок створення автоматизованої системи керування під час виконання машиною транспортних операцій.

Ці результати є суттєвими для розвитку напрямів підвищення ефективності експлуатації колісних навантажувачів і можуть бути використані у будівництві, на транспорті та в інших галузях економіки України, що пов'язані з конструюванням, модернізацією та експлуатацією машин даного типу.

За актуальністю і новизною отриманих результатів, їх рівнем, обсягом, достовірністю і обґрунтованістю, науковим і практичним значенням, дисертаційна робота Мусаєва З.Р. відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р., № 567.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.05.05 – піднімально-транспортні машини за формулою та напрямком досліджень «Розроблення методів і систем керування рухом і робочими процесами ПТМ і перевантажувальних комплексів».

Вважаю, що здобувач Мусаєв Заур Разилович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини.

Офіційний опонент, канд. техн. наук,
доцент кафедри будівельних, колійних
та вантажно-розвантажувальних машин
Українського державного університету
залізничного транспорту

Л.М. Козар

Л.М. Козар



Особистий підпис
засвідчую 18.01 2020 р.
засвідчуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Козар Л.М.

[Signature]