

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **ГОРОХОВСЬКОГО Віктора Олександровича**  
на тему: «Обґрунтування масових, кінематичних та динамічних характеристик критичних параметрів складних рухомих об'єктів», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

### **Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт.**

В сучасних умовах розвитку технологій у машинобудуванні, враховуючи зростаючі вимоги до точності, надійності та ефективності складних технічних систем, важливим та актуальним завданням є цифровізація промислового виробництва та широке впровадження інформаційних технологій для підтримки прийняття інженерних рішень, особливо на етапах проектування та аналізу. Дане дисертаційне дослідження спрямоване на розроблення методів визначення масових, кінематичних і динамічних характеристик складних рухомих об'єктів із використанням інформаційних технологій. Причому особливої уваги набуває врахування просторової геометрії об'єктів і змінних параметрів їх конфігурацій, що дозволяє адекватно відображати реальні умови функціонування технічних систем. Це сприяє зниженню ризику аварійних ситуацій, підвищенню безпеки та ефективності виробництва.

Водночас існує потреба у розробленні нових методологій та інструментів, які б забезпечували автоматизацію розрахунків і прийняття рішень у складних інженерних задачах. Дослідження динаміки та функціонування багатокomпонентних механічних систем потребує розв'язання задач, які пов'язані із встановленням їх масово-інерційних характеристик і просторового розташування центра мас. При цьому, окрім традиційного визначення загальної маси, особливої значущості набуває точне визначення положення центра ваги для складних рухомих об'єктів, що для них є критичним параметром.

Традиційні методи не завжди забезпечують необхідну точність, що особливо важливо для багатомасових і багатотільних систем, де навіть незначні похибки у визначенні центру ваги можуть призводити до суттєвих негативних наслідків під час експлуатації. Отже, актуальним науково-технічним завданням є підвищення точності визначення характеристик руху системи з урахуванням варіацій її просторової геометричної форми, з метою уникнення критичних помилок на ранніх етапах проектування. Досягнення поставленої мети реалізовано в роботі шляхом впровадження інформаційних технологій підтримки та прийняття рішень при проектуванні та аналізі кінематики руху складних технічних систем.

Дослідження проводились в рамках реалізації державних і науково-технічних програм, що відповідають визначеним пріоритетам розвитку науки та техніки в Україні та узгоджується з положеннями чинного законодавства щодо стимулювання інноваційної діяльності (Закон України від 13 січня 2024 р. № 3534-ІХ). Крім того, дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетної наукової теми «Обґрунтування масових, кінематичних та динамічних характеристик критичних параметрів складних рухомих об'єктів» (№ д.р. 0124U002686), де дисертант брав безпосередню участь як виконавець. Результати також пов'язані з науково-дослідними роботами, що проводяться на кафедрі

технології машинобудування Хмельницького національного університету.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

До найбільш суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи, які складають її наукову новизну, можна віднести наступні.

В роботі отримала подальший розвиток методологія визначення масових і динамічних характеристик складних обертальних об'єктів з урахуванням змінних параметрів їх об'ємної геометричної конфігурації (зокрема, спеціальних токарних пристроїв, борштанг і колінчастих валів) із додатковими елементами, що впливають на масу та положення центру ваги, що забезпечило можливість виконання статичного балансування на етапі проектування та зменшення обсягу натурних випробувань.

В дослідженнях моделювання руху складних багатомасових систем удосконалено методологію визначення маси та координат центра ваги колісного транспорту з врахуванням типу, маси та просторового розташування вантажу, які максимальні наближені до їх реальної конфігурації, що забезпечило підвищення точності розрахунку критичних параметрів руху за складними траєкторіями. Використання запропонованої методології є ефективним, зокрема, з огляду на те, що наявність вантажу в кузові, особливо великогабаритного, збільшує висоту центру ваги, знижуючи тим самим стійкість.

Достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується коректним використанням відомих методів теоретичної механіки та математичного моделювання, з використанням методів чисельного моделювання, які реалізовані у апробованій системі автоматизованого проектування SOLIDWORKS та інтегрованої у ній системи інженерного аналізу SOLIDWORKS Motion, яка призначена для розрахунку кінематичних та динамічних параметрів технічних систем.

Загалом, слід відзначити, що отримані та наведені у дисертаційній роботі наукові результати здобувача є суттєвим внеском у теоретичне обґрунтування та удосконалення методології розв'язання зазначеної науково-технічної задачі.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Практична значущість отриманих результатів для машинобудування полягає у реалізації теоретичних положень дисертації у вигляді інженерної методики, що базується на використанні сучасних систем автоматизованого проектування та комп'ютерного моделювання для підтримки прийняття інженерних рішень на машинобудівних підприємствах під час проектування та аналізу руху складних технічних систем з урахуванням просторової форми їх складових і змінних параметрів об'ємної геометричної конфігурації. Це дозволило збільшити точність балансування та зменшити час на проведення додаткових експериментів.

Зокрема, важливим для практики є використання розробленої методології статичного балансування спеціальних токарних пристроїв, борштанг і колінчастих валів на етапі проектування, а також реалізовані методи визначення маси та координат центра ваги колісного транспорту з урахуванням типу, маси та просторового розташування вантажу, що наближені до реальних умов його конфігурації.

Слід також зазначити, що з практичної точки зору важливим є те, що запропоновані методи та рішення реалізовані дисертантом у вигляді розробленого програмного забезпечення на мові програмування VBA, що реалізовано для роботи в системі

автоматизованого проектування SOLIDWORKS.

Результати проведених дисертантом досліджень реалізовано у новому технічному рішенні – методології визначення масових і динамічних характеристик складних рухомих об'єктів, що підтверджено свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твори № 130453 та № 130457, копії яких розміщені у додатках до дисертації.

Як видно з актів, які також розміщені у додатках до дисертації, отримані результати є цікавими для підприємств, зокрема для Хмельницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України та ПП «Резонанс-Пласт». Отже, дисертаційна робота має чітке практичне спрямування та перспективи щодо впровадження на машинобудівних підприємствах.

Крім цього, результати роботи впроваджені в рамках вдосконалення навчального процесу на кафедрі технології машинобудування факультету інженерії, транспорту та архітектури Хмельницького національного університету, зокрема при викладанні дисциплін «Технології машинобудування» та «Технологічні методи забезпечення якості виробів».

### **Структура дисертації, мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота має чітку структуру, складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 181 сторінку друкованого тексту, з них 124 сторінки основного тексту. Структура дисертації повністю узгоджується з її назвою, предметом та об'єктом дослідження, метою і завданнями дослідження. Основні висновки і рекомендації сформульовано у відповідності до результатів, які наведено у розділах роботи.

Дисертаційна робота написана діловою українською мовою з науковим стилем викладення її змісту. Вона характеризується цілісною, змістовною завершеністю, логічною послідовністю розглянутих питань, чіткістю, ясністю та достовірністю викладення матеріалів дослідження. Оформлення дисертації відповідає вимогам наказу Міністерства освіти та науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Основні положення та ключові результати дисертаційної роботи, подані до захисту, оприлюднені у достатньому обсязі у фахових наукових виданнях України та апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях. Загалом результати дослідження відображено у 15 наукових працях, з яких 4 статті опубліковано у фахових виданнях категорії Б, включених до переліку Міністерства освіти та науки України, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, а також 9 робіт апробаційного характеру у матеріалах і тезах доповідей конференцій. Встановлені вимоги щодо кількості та якості публікацій дотримано.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. У формулюванні наукової новизни недостатньо чітко відмежовано науковий результат від інженерної реалізації. Це, зокрема, стосується згадки щодо розробки оригінального макросу для SOLIDWORKS (по суті – програмного забезпечення), що варто було би перенести в розділ практичної цінності отриманих в роботі результатів.

2. Реалізація наукових ідей дисертанта з використанням системи SOLIDWORKS загалом є вдалою та підтверджує їх ефективність з наукової точки зору, проте з точки зору

практичного впровадження результатів дисертаційної роботи на виробництві, враховуючи вартість комерційної ліцензії SOLIDWORKS, доцільно було би розглянути також реалізацію запропонованої в роботі методології з використанням безкоштовних або альтернативних CAD/CAE систем, попередньо переконавшись у їх достатній точності порівняно з SOLIDWORKS.

3. Згадки в описі наукової новизни дисертації щодо використання саме системи автоматизованого проектування SOLIDWORKS вважаю не доцільним, оскільки наукова новизна полягає у розробленій в дисертації наукової методології, а використання SOLIDWORKS є лише інструментом практичної реалізації наукових ідей. Отже, у формулюванні наукової новизни фразу «отримано подальший розвиток застосування інформаційних технологій SolidWorks» варто було би написати у більш загальній формі – щодо застосування систем автоматизованого проектування та комп'ютерного моделювання.

4. Підрозділ 2.2 роботи, а саме «Методика та особливості 3D-моделювання за допомогою комп'ютерних програм» містить загальновідомі факти з літературного огляду, які було би доцільніше частково перенести у перший розділ дисертаційної роботи.

5. У підрозділі 4.4 розглядаються приклади визначення центра ваги та маси спорядженого транспортного засобу без вантажу та з вантажем, що виконані в масштабі 1:10 (рис. 4.8). Отже, перед визначенням мас, які вказані на рис. 4.10, 4.11, доцільно було би засобами SOLIDWORKS збільшити масштаб моделі у 10 разів, щоби отримати в результаті реальні значення мас, або зазначити про зменшені у 10 разів маси у підписах до відповідних рисунків.

6. Як видно з рис. 4.8, наведена там тривимірною моделлю складається з сукупності 3D-моделей 5-ти його основних вузлів та агрегатів (рис 4.3-4.7). Для демонстрації методики, що розглядається в роботі, цього достатньо, проте для практичної реалізації було б бажано додати інформацію щодо можливості (та доцільності) використання більш точної 3D-моделі для розрахунків, або щодо допустимості таких спрощень з підтвердженням, що вони загалом суттєво не впливають на результат розрахунків, або про те, що при цьому все одно забезпечується значно краща точність порівняно з існуючими аналогічними методами.

7. Для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи, у вступній частині сформульовано загалом 10 завдань, проте загальні висновки по роботі налічують 17 пунктів, отже бажано було би подати висновки в більш стислій формі.

8. В роботі присутні деякі неточності щодо термінології та оформлення: наприклад використовується термін «метод кінцевих елементів (МКЕ)» замість усталеного терміну «метод скінченних елементів (МСЕ)», в деяких місцях посилання на формули виглядають як (ф.4.4., ф.4.5, ф.1.11, ф.1.12) замість усталених позначень (4.4, 4.5, 1.11, 1.12), присутні також деякі друкарські помилки, які загалом не впливають на суть роботи.

#### **Загальний висновок**

Слід зазначити, що вказані зауваження не знижують загальну цінність роботи і не зменшують загальне позитивне враження. Встановлено, що рецензована дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що містять наукову новизну, теоретичне та практичне значення та свідчать про суттєвий вклад здобувача в розвиток науки в галузі механічної інженерії.

В роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу, що включає в себе удосконалення методології визначення масових і динамічних характеристик складних обертальних об'єктів з урахуванням змінних параметрів їх об'ємної геометричної конфігурації, а також визначення маси та координат центра ваги колісного транспорту з врахуванням типу, маси та просторового розташування вантажу, які наближені до реальної їх конфігурації, з метою підвищення точності розрахунку критичних параметрів руху за складними траєкторіями.

Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 131 – «Прикладна механіка», за якою вона подана до захисту.

Враховуючи вищезазначене вважаю, що дисертаційна робота «Обґрунтування масових, кінематичних та динамічних характеристик критичних параметрів складних рухомих об'єктів» має актуальність, містить обґрунтовані наукові положення, висновки і рекомендації, містить наукову новизну та практичну цінність, а дисертантом опубліковано достатню кількість наукових публікацій за результатами проведених досліджень, порушення академічної доброчесності не виявлені.

Рецензована дисертація цілком відповідає вимогам пп. 6, 7, 8 чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, а її автор, Гороховський Віктор Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Рецензент:

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри  
галузевого машинобудування та агроінженерії  
Хмельницького національного університету

В'ячеслав ХАРЖЕВСЬКИЙ

Підпис проф. Харжевського В.О. засвідчую  
Проректор з наукової роботи Хмельницького  
національного університету, д.т.н., проф.



Олег СИНЮК