

Голові разової спеціалізованої вченої ради PhD 12364
Хмельницького національного університету,
доктору технічних наук, професору
Олегу ПОЛІЩУКУ

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

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

1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

Вирішення наукових завдань, які полягають у впровадженні інформаційних технологій для підтримки та прийняття рішень при синтезі складних технологічних систем з урахуванням просторової геометрії компонентів, є актуальним завданням для різних галузей народного господарства.

При аналізі руху та поведінки багатомасових систем необхідно вирішувати задачу визначення маси системи та координат центру ваги. Поряд із вимірюванням маси сьогодні постає ще один не менш важливий параметр – це положення центра ваги для складних рухомих об'єктів.

В машинобудуванні при виконанні консольної обробки розточуванням призводить до небажаних вібрацій, що впливають на точність, якість і продуктивність виготовлених деталей та обмежують технічні можливості верстата як найменш жорстка ланка в технічній системі верстата. Застосування сучасних інструментальних матеріалів робить необхідним підвищення швидкохідності шпиндельних вузлів під час обробки отворів. По конструкції, статично незбалансована, борштанга із значним вилітом різця та елементами його кріплення є складною статично неврівноваженою системою із зміщеними від осі координатами центра мас, що створює статичний дисбаланс, а при її обертанні будуть виникати крутильні коливання. Все це має значний вплив на рівень відносної вібрації між інструментом і заготовкою. Зменшення інтенсивності вібрації консольних борштанг є одним з ключових способів підвищення продуктивності та точності обробки.

Також при проектуванні спеціальних токарних пристроїв виникає завдання отримання необхідної точності виготовлення деталей, що залежить від статичного балансування пристрою та заготовки. Спеціальні токарні пристрої за

своєю конструкцією мають вигляд планшайби, що кріпиться на шпindelь верстата, на якій розташовані базові та закріплювальні елементи. Відповідно, у загальному випадку, заготовка, що встановлюється в спеціальному токарному пристрої, може бути несиметричною та елементи пристрою, що розташовуються на планшайбі, також симетричні осі обертання і відповідно центр ваги системи «заготовка-пристрій» розташовується відносно осі обертання шпинделя із зміщенням. Тому у статичному стані, коли система перебуває в спокої, центр ваги завжди буде прагнути зайняти нижнє положення – система статично незбалансована, а в процесі оброблення деталі при обертанні пристрою із деталлю виникають динамічні навантаження, що ведуть до виникнення вимушених коливань – вібрації. Вібрації технологічної системи викликають підвищене зношування деталей і вузлів верстата, збільшують зношування різального інструменту, погіршують якість обробленої поверхні, знижують точність обробки та обмежують продуктивність роботи верстата.

Моделювання динаміки багатомасових систем використовується для передбачення та оптимізації руху неврівноважених систем та визначення характеристик критичних параметрів руху складних рухомих об'єктів – завантажених транспортних засобів.

Задачі аналізу кінематики та динаміки багатомасових і багатотільних систем є одним з класичних напрямків у галузі прикладної механіки. При моделюванні динаміки багатомасових і багатотільних систем застосовується метод кінцевих елементів, що дозволяє досліджувати концепцію всієї системи та оцінити її динамічний відгук у лінійній, нелінійній постановках. Особливості поведінки можуть бути збережені і передані, як вхідні дані в МКЕ-аналіз для використання в якості динамічних навантажень, що забезпечить розуміння функціонування системи в більш детальному вигляді. Розроблення сучасних інформаційних систем для розв'язання задач синтезу оптимальних конфігурацій складних просторових об'єктів потребує побудови математичних моделей в автоматичному режимі. При цьому процес комп'ютерного моделювання з урахуванням перетворення геометричної інформації та візуалізації отриманих рішень має творчий характер і є одним із найбільш складних і відповідальних етапів при проектуванні. Цей процес безпосередньо зв'язаний зі створенням інформаційної технології, яка будується на інформаційно-аналітичних і об'єктно-орієнтованих моделях предметної області й вимагає розроблення ефективних методів оптимізації рішень.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до державних і науково-технічних програм за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки України та відповідає Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та

інноваційної діяльності» від 13 січня 2024р. № 3534-ІХ. Дисертаційна робота виконана у відповідності тематиці держбюджетної теми «Обґрунтування масових, кінематичних та динамічних характеристик критичних параметрів складних рухомих об'єктів» (№ державної реєстрації 0124U002686) у якості виконавця, а також в рамках науково-дослідних робіт кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу та чотирьох розділів: аналітичного розділу, розділу методів досліджень, двох розділів результатів експериментальних та теоретичних досліджень з їх обговоренням, висновків, списку літератури і додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 181 сторінку.

Структура дисертації повністю узгоджується з її назвою, предметом та об'єктом дослідження, метою і завданнями дослідження.

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. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

Використання моделювання динамічної поведінки багатомасових систем дозволяє: уникнути критичних помилок вже на ранніх етапах проектування і таким чином знизити вартість розробки виробів та зменшити кількість фізичних прототипів, що створюються, визначати масові та динамічні характеристики складних рухомих об'єктів та підвищити точність розрахунків параметрів руху

системи з урахуванням змінних параметрів її об'ємної геометричної конфігурації, що є актуальним науково-технічним завданням.

У першому розділі здійснено системний аналіз методів визначення координат центру маси складного тіла, проведено аналіз способів статичного балансування обертальних мас, проведено патентний аналіз конструкцій борштанг зі зменшенням вимушених коливань для розточування отворів та конструкцій спеціальних пристроїв для токарних операцій, способів та конструкцій пристроїв визначення положення координат центра ваги транспортних засобів, здійснено аналіз розрахункових залежностей визначення критичних параметрів стійкості транспортних засобів.

Проведений аналіз стану наукових досліджень показав, що задачі визначення координат центру ваги, кінематики та динаміки багатомасових і багатотільних систем є актуальним науково-технічним завданням для багатьох галузей народного господарства.

Результати аналізу літературних джерел і патентного огляду дали можливість сформулювати мету та задачі для досягнення поставленої мети.

У другому розділі описана загальна методологія досліджень, проведених в роботі, що базується на застосуванні системного підходу для вирішення поставленого науково-технічного завдання.

Системний підхід ґрунтується на таких ключових принципах, як цілеспрямованість, моделювання фізичних процесів, визначення алгоритму основних системних досліджень, моделювання досліджень та вибір оптимальних конструктивних рішень.

У процесі виконання дисертаційного дослідження визначені можливості сучасних програмних продуктів CAD - систем для знаходження масових та динамічних характеристик складних рухомих об'єктів та проведено обґрунтування вибору програмного продукту CAD - системи по визначенню масових та динамічних характеристик складних рухомих об'єктів за складністю їх конфігурації та ціни програмного пакета. Приведена методологія запропонованого способу та загальні етапи визначення координат центру ваги та відстаней його у вертикальній до основи та горизонтальній площинах складного тіла.

У третьому розділі, в процесі виконання дисертаційного дослідження, розроблена методологія статичного балансування консольних борштанг розточування глухих отворів в процесі проектування та досліджено кінематику руху борштанги в середовищі SolidWorks Motion, розроблена методологія статичного балансування спеціальних токарних пристроїв для розточування глухих отворів та досліджено кінематику обертального руху спеціального верстатного пристрою із заготовкою в середовищі SolidWorks Motion, проведено

статичне балансування у процесі проєктування геометричних параметрів конструкції колінчастого валу, згідно запропонованої методології, та досліджено кінематику руху колінчастого валу в SolidWorks Motion незбалансованого та збалансованого.

У четвертому розділі на основі аналізу залежностей для визначення фактичних критичних швидкостей перекидання транспортного засобу при повороті запропоновано методологію визначення фактичних координат центру мас та критичних швидкостей перекидання транспортного засобу при повороті за допомогою SolidWorks, побудовано номограми зміни критичної швидкості для аналізу впливу різних факторів на картину руху колісного транспорту, визначеною для різних відстаней центру ваги об'єкта до основи hg і від зміни різних параметрів: радіуса округлення полотна шляху, кута ухилу полотна шляху, що дає можливість більш точно оцінити вплив факторів на рух транспортного засобу.

Висновки по роботі сформульовані чітко, вони повністю висвітлюють отримані в роботі результати. За своїм рівнем висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Гороховського Віктора Олександровича обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, застосуванням сучасних програмних продуктів, практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень.

Список літератури достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором патентних матеріалів та іноземних джерел.

Додатки до роботи містять список публікацій здобувача, акти впровадження результатів дисертації, два свідоцтва авторського права на твір та матеріали досліджень, що не увійшли в основну частину роботи.

3. Наукова новизна одержаних результатів

До найбільш суттєвих і науково нових результатів дисертаційної роботи можна віднести:

1. Отримала подальший розвиток методологія визначення масових та динамічних характеристик складних обертальних об'єктів з урахуванням змінних параметрів об'ємної геометричної конфігурації, а саме спеціальних токарних пристроїв, борштанг та колінчастих валів з розташуванням додаткових елементів, які змінюють вагу об'єкта та координати центру ваги, що дозволило проводити статичне балансування в процесі проєктування та зменшити кількість натурних досліджень, застосовуючи оригінальний макрос, створений у середовищі SolidWorks, зменшити час виконання операцій від 7 до 15 разів у

поєднанні зі зниженням похибок до рівня нижче 1 %, що є ефективним засобом автоматизації інженерних розрахунків і моделювання.

2. У дослідженнях моделювання руху складних багато-масових об'єктів отримала подальший розвиток методологія визначення маси та координат центру ваги колісного транспорту із урахуванням виду та маси вантажу і його розташування, максимально наближених до реальної їх конфігурації, що дало можливість робити більш уточнені розрахунки критичних параметрів руху колісного транспорту по складних траєкторіях, а наявність вантажу в кузові, особливо великогабаритного, збільшує висоту центру ваги, знижуючи тим самим стійкість на 10%.

3. Отримано подальший розвиток застосування інформаційних технологій SolidWorks для підтримки та прийняття рішень на машинобудівних підприємствах при проектуванні та аналізі руху складних технічних систем з урахуванням просторової форми складових об'єктів та урахуванням змінних параметрів об'ємної геометричної конфігурації, що дозволило досягати точність балансування у межах від 0,05 до 0,08 мм при максимальних обертах досліджуваного виробу та зменшити час на проведення додаткових експериментів.

Вважаю, що наукові результати здобувача є вагомим внеском у розвиток створення методології визначення масових та динамічних характеристик складних обертальних об'єктів з урахуванням змінних параметрів об'ємної геометричної конфігурації та експериментальному дослідженні технологічного забезпечення якості деталей машин із застосуванням інформаційних технологій SolidWorks.

4. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертаційного дослідження, які розв'язуються послідовно та аргументовано. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується відповідністю методології дослідження поставленої науково-технічної задачі, повнотою розгляду на теоретичному та експериментальному рівнях об'єкта дослідження, застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження.

В основі роботи лежить обробка результатів експериментальних досліджень, виконана з використанням сучасного математичного апарату.

Достовірність результатів базується на обґрунтованості припущень, результатах експериментальних досліджень, правильному аналізі отриманих результатів, а також на успішній їх апробації на науково-технічних конференціях.

5. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практичне значення отриманих результатів для машинобудування полягає у застосуванні запропонованої методології статичного балансування складних рухомих об'єктів в процесі проектування, що значно скорочує час проектування на 60–80%, підвищується точність розрахунків і забезпечується повторюваність результатів. Це робить розроблену методологію корисною у практиці проектування борштанг, спеціальних токарних пристроїв та колінчастих валів, роторів та інших деталей, де критичною є масова симетрія та потрібно статичне і динамічне балансування.

Визначення маси і координат центру ваги колісного транспорту із урахуванням виду та маси вантажу і його розташування, максимально наближених до реальної їх конфігурації, дає більш точні розрахункові значення критичних параметрів руху.

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень реалізовані у новому технічному рішенні – методології визначення масових і динамічних характеристик складних рухомих об'єктів, що захищено свідоцтвами про реєстрацію авторського права № 130453 та № 130457.

Результати виконаних досліджень та окремі теоретичні положення прийнято до впровадження на ПП «Резонанс –Пласт» м. Хмельницький та у Хмельницькому науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі.

Теоретичні та практичні результати, отримані в дисертаційному дослідженні, впроваджені у навчальний процес кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету при викладанні дисциплін «Технологія машинобудування» та «Технологічні методи забезпечення якості виробів».

6. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані в необхідному обсязі у фахових наукових виданнях

України, пройшли відповідну апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях.

За результатами досліджень опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б, 9 матеріалів конференцій та тез доповідей, та отримано 2 свідоцтва авторського права на твір загальним обсягом авторського матеріалу 8,5 друк. арк.

Основні результати роботи охоплюють усі положення, що виносяться на захист. Науковий рівень здобувача достатньо високий, особистий внесок має місце у кожній роботі. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

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. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на загалом позитивну оцінку дисертаційної роботи та її вагомій наукові й практичні результати, доцільно відзначити окремі зауваження та дискусійні положення, що мають рекомендаційний характер.

1. У назві роботи зазначено «характеристики критичних параметрів об'єктів», а надалі автор переходить у розділі 3 до статичного балансування об'єктів. Бажано було чіткіше акцентувати увагу при аналізі діапазону обертів складного об'єкта на зв'язок дисбалансу та виникнення небажаних коливань, що призводить саме до критичних випадків руху складних багатомасових об'єктів.

2. Другий розділ дисертаційної роботи де наведено аналіз відомих комп'ютерних програм, для рішення поставлених завдань має ознаку незавершеності – бракує структурованості. Водночас для підвищення аналітичної чіткості доцільним було б подання узагальнюючої порівняльної таблиці, у якій було б систематизовано основні переваги та недоліки розглянутих програмних продуктів з огляду на розв'язування в роботі науково-технічного завдання.

3. Рекомендовані режими різання у висновках розділу 3 п.3, п.6 по величинах обертів та швидкостей, які отримані з моделювання процесів обертання борштанги ($V = 240$ до 480 м/хв) та спеціального токарного пристрою (2000 об/хв при швидкості до 500 м/хв), у реальних процесах можуть змінюватися у меншу сторону завдяки похибкам виготовлення та зборки,

відповідно за встановленими допусками. Чи це враховано у практичних рекомендаціях при застосуванні результатів моделювання?

4. Для аналізу точності оброблення глухих отворів консольною борштангою бажано було б провести аналіз напружень та переміщень ріжучої кромки різця борштанги у SolidWorks, що дало б більш уточнену картину процесу різання та можливість скоригувати її критичні оберти.

5. У роботі в розділі 4 проведено моделювання визначення координат центра ваги та критичних швидкостей руху при проходженні криволінійної ділянки полотна дороги для спорядженого вантажного транспортного засобу як складної багатомасової системи. На мою думку, бажано було б провести також моделювання визначення координат центра ваги та маси і для легкового транспорту.

6. Формули при моделюванні оцінки руху складного об'єкта 4.2 – 4.5 є відомими. Тому їх опис було доцільніше винести у перший розділ, або навести посилання на джерела цих формул.

7. Деякі елементи окремих рисунків (у розділі 1 рис. 1.5 стор. 40, рис. 1.10 стор. 50) надані у назві рисунка без вказаних позицій.

8. У розділі 4 для визначення параметрів виникнення заносу передньої осі та задньої осі транспортного засобу, який рухається по криволінійній траєкторії, є незавершеність — скоріше всього, автор таким чином пропонує шляхи продовження подальших досліджень.

9. У роботі подано довідки про передачу результатів дисертаційної роботи на підприємства у практичну діяльність, але у тексті дисертації варто було б навести аналіз того, як вони інтегрувалися у реальні технології та якими були результати (кількісні та якісні).

10. Загальні висновки та висновки по розділах бажано більш чітко формулювати.

11. Виявлено незначні орфографічні помилки та недоречності у використанні розділових знаків.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

8. Висновки

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу машинобудування, яка має важливе народногосподарське значення, що полягає у вирішенні технологічного забезпечення точності та якості складних по конфігурації деталей машин та аналізу критичних параметрів руху транспортних засобів.

Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 131 – Прикладна механіка.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам п. 6, 7, 8, 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44. Здобувач Гороховський Віктор Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Офіційний опонент – доктор технічних наук,
професор, перший проректор
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя



Олег ЛЯШУК