

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента
Дєдова Олега Павловича на дисертаційну роботу
Майструка Павла Володимировича на тему:

«Синтез дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем
вібраційних машин з електромагнітним приводом», подану на здобуття ступеня
доктора філософії зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(галузь знань 13 «Механічна інженерія»).

Актуальність теми досліджень

Впровадження нових енергоефективних технічних рішень є важливим аспектом розвитку машинобудування. У багатьох провідних державах прийнята та систематично реалізовується політика енергозбереження. Зважаючи на умови, в яких перебуває промисловість в Україні, дане питання постає особливо актуально. Що стосується вібраційного технологічного обладнання, існуючі одно- та двомасові вібраційні машини, найбільш поширені на українських промислових підприємствах, не здатні досягти високої енергоефективності функціонування. Їхня поширеність зумовлена простотою конструкцій та можливістю легкого переналагодження. Відомі тримасові вібраційні машини, що здатні працювати у високоефективних міжрезонансних режимах роботи, мають низку недоліків, що унеможливають їх широке впровадження в промисловість. Дані системи мають складніші конструкції, які потребують більших витрат ресурсів на проектування, виробництво та експлуатацію. Існуючі методи розрахунку та проектування класичних дискретних тримасових міжрезонансних коливальних систем, як структур для реалізації вібраційних машин, не дозволяють усунути вагомі недоліки для їх широкого використання у промисловості. Відомі також перспективні ідеї по створенню вібраційного обладнання з кривошипно-шатунним приводом на основі дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем. Однак недоліками таких конструкцій є наявність рухомих з'єднань у приводі, що зменшує надійність такого обладнання при експлуатації.

Тому розвиток методології створення високоефективних дискретно-континуальних міжрезонансних вібраційних машин, які можливо було б широко впровадити у якості вібраційного технологічного обладнання, є актуальною науково-прикладною задачею в галузі машинобудування.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційні дослідження узгоджено із Законом України про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 48, ст. 253 (із змінами, внесеними згідно із Законом № 2859-ІХ від 12.01.2023)), де у статті 3 енергетику та енергоефективність визначено одними з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2023 року в Україні.

Дисертаційна робота є частиною наукових досліджень школи вібраційних технологій, що діє на базі кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Майструка П. В. представлена в об'ємі 279 сторінок повного тексту, який складається з анотації, змісту, вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 165 найменувань на 19 сторінках та 11 додатків на 53 сторінках. Основна частина дисертації займає 225 сторінок, у тому числі 174 сторінки основного тексту, містить 103 рисунки та 4 таблиці.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблематики наукових досліджень в галузі вібраційної техніки, яка полягає у необхідності дослідження, проектування та впровадження нових високоефективних конструкцій вібраційних машин, створення нових методів їх розрахунку. Оцінено особистий внесок здобувача в отриманих результатах, показано зв'язок дисертаційних досліджень з науковими програмами, планами, темами. Сформовано мету, об'єкт та предмет досліджень. Наведено інформацію щодо апробації результатів дисертаційних досліджень, публікацій, структури та обсягу дисертаційної роботи.

У **першому** розділі дисертації автором проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку вібраційного технологічного обладнання, зокрема порівняно одномасові, двомасові, псевдотримасові та тримасові між резонансні коливальні системи. Описано їх конструкції та режими роботи при експлуатації в промисловості. Розглянуто існуючі зразки тримасових вібраційних машин з електромагнітним приводом та обґрунтовано доцільність використання даного типу приводу для реалізації високоефективних режимів роботи.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив автору сформулювати ідею та гіпотезу подальших дисертаційних досліджень, згідно з якими запропоновано принципову схему дискретно-континуальної міжрезонансної коливальної системи вібраційної машини. Визначені завдання та поставлені задачі подальших досліджень.

У **другому** розділі було сформовано еталонну дискретну модель три масової коливальної системи. Для даної системи встановлено інерційно-пружні та силові параметри, а також визначено її енергоефективність у порівнянні з двомасовою коливальною системою. Отримано графіки амплітудно-частотних характеристик дискретних міжрезонансних коливальних систем.

У **третьому** розділі автором розроблено розрахункову схему дискретно-континуальної між резонансної коливальної системи та запропоновано конструктивне рішення кріплення континуальної ділянки в проміжній масі. Сформовано розрахункову схему кріплення пластини. Розроблено методологію розрахунку першої власної частоти коливань пластини, як континуальної ділянки, для її ефективного поєднання з дискретною моделлю між резонансної коливальної системи. Для цього було запропоновано чотири методи розрахунку власної частоти коливань континуальної ділянки. При першому методі використано функції Крилова, а пластина спрощена до стержня. Стержень

було поділено на три ділянки та для кожної з них сформовано рівняння прогину, що враховували граничні умови закріплення. Отримані даним методом значення власної частоти коливань були підтверджені за допомогою другого методу – імітаційного моделювання у програмному продукті Ansys. За допомогою даного методу підтверджено значення першої власної частоти коливань пластини. Виявлено, що при даному методі закріплення пластини, вона, прогинаючись, утворює поверхню гіперболоїда. Третій метод полягав у застосуванні методу Релея-Рітца з використанням гармонійних та балочних функцій Крилова по двох координатах та введені в розрахунки значення збурювальної сили електромагнітів. Внаслідок даного методу знайдено також реакції в місцях шарнірного закріплення пластини. Також запропоновано четвертий метод розрахунку першої власної частоти коливань пластини за допомогою методу Релея-Рітца з припущенням, що її прогин відбувається по гіперболоїдній поверхні. Для опису рівняння руху пластини використано загальне рівняння гіперболоїда. Також у третьому розділі проведено розрахунок зведених маси та жорсткості континуальної ділянки та представлено математичну модель дискретно-континуальної міжрезонансної коливальної системи вібраційної машини з електромагнітним приводом, де відображена її полічастотність.

У **четвертому** розділі представлена конструкторська частина дисертаційних досліджень, яка присвячена опису запропонованої конструкції дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом, розрахунку жорсткості системи резонансних пружних вузлів, континуальної ділянки на міцність та розрахункам параметрів електромагнітного приводу і процесів, що в ньому відбуваються. Для цього спроектовано тверdotілу модель дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом із узгодженими з розрахунковою моделлю параметрами.

У **п'ятому** розділі проведено та описано експериментальні дослідження дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом, де встановлено відповідність реального режиму роботи дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом із закладеними в ході проектування даного обладнання значеннями параметрів. З метою покращення енергоефективності коливальної системи, було запропоновано оптимізувати форму пластини, що виконує роль континуальної ділянки. Для цього було запропоновано альтернативні варіанти пластин із змінним поперечним перерізом, а саме параболічну впуклу, параболічну випуклу, Х-подібну та ромбоподібну пластини. Встановлено, що найкращою ефективністю при встановленні у вібраційну машину володіє ромбоподібна пластини.

На основі проведених у дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних досліджень було сформовано узагальнений алгоритм розрахунку параметрів дискретно-континуальної міжрезонансної коливальної системи вібраційного столу з електромагнітним приводом.

У **висновках** було наведено наукові і практичні результати, які отримано під час виконання дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих результатів

На основі вивчення матеріалів дисертації наукову новизну роботи можна сформулювати наступним чином:

- удосконалено методики розрахунку першої власної частоти коливань континуальної ділянки у вигляді пластини, що прогинається одночасно по двох координатах;
- вперше розроблено математичну модель вимушених коливань дискретно-континуальної міжрезонансної системи вібраційного столу з електромагнітним приводом, у якій враховуються як реакції в опорах пластини, так і збурювальна сила електромагнітів;
- вперше проведено оптимізацію форми та розмірів пластини для покращення енергоефективності роботи дискретно-континуальних міжрезонансних вібраційних машин з електромагнітним приводом.

Практична цінність результатів дослідження

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає в розробці ефективних методик розрахунку та проектування міжрезонансних дискретно-континуальних вібраційних машин з електромагнітним приводом, що сприятиме широкому впровадженню в промисловість такого типу технологічного обладнання.

Варто відзначити, що результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри «Робототехніка та інтегровані технології машинобудування» Національного університету «Львівська політехніка», що підтверджено відповідними нормативно-правовими документами.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів, висновків, рекомендацій

Отримані результати та запропоновані автором рішення, висновки, рекомендації, сформовані у дисертаційній роботі, базуються на основі теоретичних та експериментальних досліджень, що проведені з використанням чисельного і імітаційного моделювання, є логічними та науково обґрунтованими, та були апробовані на Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Експлуатаційна та сервісна інженерія», (Харків, 2020 р.), XIX Всеукраїнській науково-технічній конференції «Потураївські читання», (м. Дніпро, 2021 р.), III Міжнародній науково-практичній конференції «Енергоощадні машини і технології», (м. Київ, 2022 р.), Міжнародній науково-теоретичній конференції «Моделювання і комп'ютерний інжиніринг в машинобудуванні», (м. Львів, 2022 р.), XIX Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях», (м. Київ, 2023 р.).

Повнота викладу матеріалів дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

Основні положення дисертації та результати наукових досліджень опубліковано в 11 наукових працях, у тому числі: 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, з них 2 статті включені до міжнародної бази даних SCOPUS, 2 статті у наукових фахових виданнях України, 5 матеріалів і тез у збірниках доповідей міжнародних науково-практичних конференцій та 1 патент на корисну модель.

Відсутність порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи, публікацій автора та документів, що засвідчують перевірку роботи на плагіат за допомогою відкритих інтернет-ресурсів, ознак академічного плагіату не виявлено. У тексті дисертаційної роботи здобувачем застосовано посилання на наукові публікації як власні, так і інших авторів. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту у роботі також не виявлено. Це дає змогу зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності у дисертації Майструка Павла Володимировича.

До зауважень дисертації слід віднести:

1. Вважаю за недоцільним проведений літературний огляд одно- та двомасових коливальних систем вібраційних машин, оскільки в актуальності дисертант зупинився на тримасових міжрезонансних системах.

2. В розділі 2 виведення рівнянь (2.12) можна було б не наводити, оскільки це відомий розв'язок, що не має ніякої наукової цінності.

3. На мій погляд, матеріали висвітлені в пункті 3.2 є надлишковими, оскільки власну частоту пластини, зведеної до стержня, можна було б отримати з частотної матриці (3.31), виключивши складові із силою збурення.

4. Відсутнє обґрунтування у використанні гармонійних функцій (3.40) та (3.41).

5. В пункті 3.4 варто було б вказати значення реакцій в опорах пластини на частоті вимушених коливань, щоб оцінити в цілому їх порядок.

6. Під час встановлення зведених жорсткостей та мас стержня в пункті 3.6 можна було б знехтувати частками спричиненими зсувом в його шарах, оскільки їх значення на порядки є меншими за решту чинників.

7. Було б добре, щоб аналітичні вирази (3.77) та (3.78), що відображають залежність амплітуд коливань мас від частоти вимушених коливань, містили дисипацію в системі. Це дозволило б отримати більш правдоподібну картину функціонування системи в міжрезонансній зоні.

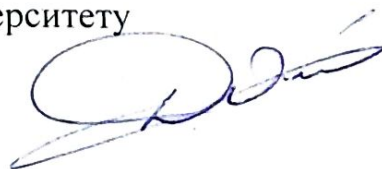
Однак вказані зауваження не зменшують значимості отриманих у роботі наукових і практичних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Майструка Павла Володимировича «Синтез дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем вібраційних машин з електромагнітним приводом» є завершеною науковою працею, де розв'язана науково-прикладна задача, що полягає у розвитку методології створення високоефективних міжрезонансних вібраційних машин, які б сприяли широкому впровадженню в промисловість такого типу обладнання. Дисертаційні дослідження мають важливе значення для галузі знань 13 «Механічна інженерія». Дисертація відповідає вимогам МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну і практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що здобувач Майструк Павло Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Офіційний опонент, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури, доктор технічних наук, доцент



Олег ДЄДОВ

Підпис О.П. Дедова засвідчую
Вчений секретар Вченої ради КНУБА
доктор технічних наук, доцент



Микола КЛИМЕНКО