

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора кафедри галузевого машинобудування Луцького національного технічного університету»

**Миколи Ярошевича на дисертаційну роботу Павла Майструка на тему: «Синтез дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем вібраційних машин з електромагнітним приводом»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності

131 – Прикладна механіка галузі знань 13 – Механічна інженерія

**Актуальність теми досліджень.** На сучасному етапі розвитку людства абсолютним пріоритетом для більшості держав виступає створення сталого розвитку, за якого темпи економічного зростання є усталеними. Крім того вони повинні дотримуватись жорстких екологічних стандартів. У цих умовах на передній план висувається проблема ефективного використання і збереження енергоресурсів. На сьогодні енергоефективність є ключовим критерієм якісного функціонування як окремих підприємств, так і економічної моделі держави в цілому. Таким чином, питання енергозбереження та енергоефективності набувають актуальності, особливо на тлі зниження імпорту енергоносіїв. В умовах переходу тільки на власні паливно-енергетичні ресурси гостро виникає необхідність енергозбереження у такій галузі як машинобудування, до якої відносимо вібраційне технологічне обладнання.

Вібраційні машини, незалежно від конструкції та технологічного призначення, прийнято класифікувати за кількістю мас одно-, дво- та багатомасові. До багатомасових коливальних систем відносять і тримасові, на яких автор «загострив» свій погляд у зв'язку з тим, що в тримасових конструкціях є можливість використання одного із різновидів резонансних режимів, а саме міжрезонансного, коли частота вимушених коливань системи на частотній області розташована між двома резонансними піками. Саме міжрезонансні режими наділяють тримасові механічні коливальні системи високими коефіцієнтами динамічності.

Незважаючи на істотні переваги в енергоефективності використання, впровадження тримасових вібраційних машин у промислове виробництво має низку недоліків. Дані системи мають складніші конструкції, які потребують більших витрат ресурсів на проектування, виробництво та експлуатацію. Існуючі методи розрахунку та проектування класичних дискретних тримасових міжрезонансних механічних коливальних систем, як структур для реалізації вібраційних машин, не дозволяють усунути вагомі недоліки для їх широкого використання у промисловості.

Саме тому розвиток методології створення високоефективних міжрезонансних вібраційних машин, в яких будуть усунені недоліки, що унеможливають широке впровадження в промисловість такого типу обладнання, є перспективною та актуальною науково-прикладною задачею в галузі прикладної механіки.

**Аналіз основного змісту роботи, її наукової новизни, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** В якості **наукової новизни** слід відзначити запропонований автором розвиток методології створення високоефективних дискретно-континуальних міжрезонансних вібраційних машин, що забезпечують значні підсилення коливань. Тож новизну роботи можна охарактеризувати наступним пунктами:

- 1) розроблено методики розрахунку власної частоти коливань континуальної ділянки у вигляді шарнірно опертої у чотирьох точках по периметру пластини з використанням балочних функцій Крилова за двома координатами та рівняння поверхні гіперболоїда;
- 2) запропоновано математичну модель вимушених коливань дискретно-континуальної міжрезонансної механічної коливальної системи вібраційної машини з електромагнітним приводом;
- 3) за допомогою емпіричних методів досліджень проведено оптимізацію форми та розмірів континуальної ділянки для досягнення максимальної енергоефективності функціонування дискретно-континуальних міжрезонансних вібраційних машин з електромагнітним приводом.

Кожен з наведених пунктів новизни вважаю важливим досягненням, яке було підтверджено експериментальними дослідженнями.

**Склад і структура дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота Майструка П.В. представлена в об'ємі 279 сторінок повного тексту, який включає анотацію, вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел із 165 найменувань на 19 сторінках та 11 додатків на 53 сторінках, що вміщують акт впровадження розробок в навчальний процес, розрахунки проведені у дисертаційній роботі. Рукопис дисертації містить 174 сторінки основного тексту, в тому числі 4 таблиці та 104 рисунки.

У **першому** розділі дисертації проведено аналіз наукових розробок та напрямків удосконалення вібраційних машин з метою пошуку рішення науково-прикладної задачі. Проаналізовано одно-, дво- та тримасові коливальні системи в залежності від типу збурення. Виявлено недоліки існуючих тримасових міжрезонансних вібраційних машин. По розглянутих існуючих зразках тримасових вібраційних машин з електромагнітним приводом було обґрунтовано доцільність використання даного типу приводу для реалізації високоефективних режимів роботи. Аналіз конструкцій вібраційного обладнання надав можливість встановити подальший напрямок наукових досліджень по підвищенню енергоощадності систем, дозволив висунути *ідею*: що полягає у застосуванні континуальних ділянок з розподіленими параметрами в дискретних механічних коливальних систем вібраційних машин з електромагнітним приводом та *гіпотезу*, яка звелася до введення в дискретну механічну коливальну систему континуальної ділянки у вигляді пластини, яка володіє малими інерційними та жорсткісними параметрами, що дозволить електромагнітному приводу ефективно збурювати дану систему.

**Другий** розділ присвячений розробленню еталонної дискретної моделі з інерційно-жорсткісними та силовими параметрами, які є визначальними для створення дискретно-континуальної системи вібраційної машини з електромагнітним приводом. Для математичної моделі еталонної дискретної системи механічної коливальної системи встановлено ефективність її функціонування порівняно з адекватною двомасовою резонансною системою.

Визначено парціальну частоту реактивної маси як ключового параметру для синтезу дискретно-континуальної механічної коливальної системи.

У **третьому** розділі в результаті аналізу існуючих наближених методів розрахунку власних частот коливань систем із нескінченним числом ступеней вільності, розроблено методики встановлення власної частоти континуальної ділянки дискретно-континуальної коливальної системи з електромагнітним приводом. Базуючись на запропонованих методиках розраховано значення власної частоти коливань континуальної ділянки. Співставлено значення власних частот коливань системи при різних методиках розрахунку. Розроблено модель дискретно-континуальної коливальної системи, міжрезонансна зона якої збігається з еталонною моделлю. Отримано результати, які свідчать про те, що запропоновані математичні моделі розрахунку параметрів континуальної ділянки та математична модель дискретно-континуальної коливальної системи дають можливість спроектувати високоефективне вібраційне технологічне обладнання. Підтверджено полічастотність дискретно-континуальної міжрезонансної коливальної системи вібраційної машини з електромагнітним приводом. Основна цінність розділу і роботи в цілому полягає в тому, що розраховано власну частоту коливань пластини різними методами і встановлено, що отримані значення практично тотожні (близькі).

У **четвертому** розділі автором запропонована конструкція дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом. Описано принцип роботи даного вібраційного технологічного обладнання. Встановлено експлуатаційні параметри вібраційного столу, інерційні параметри коливальних мас та жорсткість системи резонансних пружних елементів. Підтверджено відповідність параметрів запропонованої твердотілої моделі вібраційного столу з електромагнітним приводом із закладеними параметрами математичної моделі еталонної тримасової коливальної системи та синтезованої на її основі дискретно-континуальної системи. Проведено розрахунок на міцність континуальної ділянки. Підібрано конструкцію електромагнітного приводу вібраційного столу. Досліджено часові залежності руху коливальних мас з врахуванням процесів, що протікають в

електромагнітному вібробудувачі. Проведено числові розрахунки тривимірного магнітного поля електромагнітного приводу вібраційного столу.

У п'ятому розділі описано експериментальні дослідження дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом. Для проведення експериментів до робочого органу вібраційного столу було приєднано датчик акселерометра/гіроскопа, який подавав зняті в процесі експерименту значення амплітуд коливань активної маси на мікроконтролер, що з'єднаний з персональним комп'ютером. Експериментально встановлено значення амплітуди коливань та значення власних частот коливань вібраційної машини. Встановлено максимальне значення маси завантаження робочого органу вібраційного столу. Для досягнення максимальної енергоефективності досліджуваної вібраційної машини проведено оптимізацію форми та підбір розмірів континуальної ділянки. Узагальнено результати теоретичних та експериментальних досліджень, проведених в дисертаційній роботі. Розроблено алгоритм розрахунку дискретно-континуального міжрезонансного вібраційного столу з електромагнітним приводом.

**Висновки** узагальнюють отримані в дисертаційній роботі наукові та практичні результати дисертації.

**Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри.** Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

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- IX від 12.01.2023)), де у пункті 3 енергетику та енергоефективність визначено одними з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2023 року в Україні, декларується впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії.

**Практична цінність результатів дослідження** підтверджується результатами експериментального дослідження, проведеного в 5-му розділі

дисертаційної роботи та алгоритмом розрахунку дискретно-континуального вібраційного обладнання різноманітного технологічного призначення. Даний алгоритм розрахунку надає чітке розуміння послідовності дій при створенні вібраційного обладнання, яке дозволяє ефективно забезпечувати енергоощадні міжрезонансні режими роботи, розкривши прихований потенціал синтезованих систем.

Результати дослідження автора впроваджено у навчальному процесі кафедри “Робототехніка та інтегровані технології машинобудування” (РІТМ) Національного університету “Львівська політехніка” для здобувачів рівня вищої освіти магістр за спеціалізацією 8.131.00.01 “Роботомеханічні системи та комплекси” (спеціальність 131 “Прикладна механіка”), що підтверджено відповідним актом впровадження.

**Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні результати дисертаційної роботи здобувача оприлюднені у 11 наукових працях, з яких: 2 статті у фахових виданнях України, з яких 1 стаття у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International, і 3 статті в періодичних виданнях інших держав, з них 2 статті, що включені до міжнародної бази даних SCOPUS; 1 патент на корисну модель; 5 тез доповідей, представлених на міжнародних наукових конференціях. Матеріали, оприлюднені та представлені здобувачем у наукових публікаціях, відповідають темі та змісту дисертаційної роботи та достатньо повно відображають отримані у ній результати наукових досліджень. Зміст особистого внеску здобувача у друкованих працях, опублікованих у співавторстві, не має повторювань, дублювання та конфліктів з іншими співавторами. Робота має належний рівень апробації на наукових та науково-практичних конференціях різного рівня.

**Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій.** Достовірність і наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі Майструка П. В. не викликає сумнівів, оскільки підтверджується достатнім обсягом виконаних теоретичних, практичних досліджень і експериментів з правильною їх постановкою, використанням

широкого кола сучасних методів та засобів досліджень, які пройшли апробацію на міжнародних симпозиумах та конференціях.

**Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації.** Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає зміст дисертації та в цілому обсязі висвітлює її основні результати і висновки.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** За результатами перевірки дисертаційної роботи на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерело для текстових та ілюстрованих запозичень. Навмисних ілюстрованих спотворень не виявлено, що дозволяє зробити висновки про відсутність порушень в роботі академічної доброчесності.

**До зауважень дисертації слід віднести:**

1) В третьому розділі дисертаційної роботи на сторінках 106 і 109 рисунок має однакову нумерацію (рис. 3.5), але різні підписи до нього.

2) Не зрозуміло, чому на стор. 105 дисертації вказується, що добуток параметрів  $\xi x = 4,21$ , проте на сторінці 240 (Додаток Е) береться  $\xi L = 4,31$ .

3) Не зрозуміло, чому для розшифрування змінних  $R_1(\omega)$  та  $R_2(\omega)$  посилання здійснюється на вирази (3,34) та (3,35), хоча в Додатку Н (стор. 255) вказані інші аналітичні вирази.

4) В Додатках Е та Н (стор. 259 та 256) змінні  $h$  та  $b_h$  називають як ширина та товщина пластини. Проте судячи з їх значень має бути навпаки. Це підтверджується і тим, що в тексті основної частини дисертації (стор. 105) згадані змінні називаються навпаки.

5) При встановленні власної частоти вимушених коливань стержня (стор. 105) оперували параметром  $\xi x$ , хоча було достатньо знаходити значення параметра  $\xi$ .

6) Крім розрахунку на міцність при згині найбільш навантаженої ділянки коливальної системи – пластини, варто було б провести її розрахунки на контактну міцність, дослідити фрикційні властивості матеріалу пластини в місцях шарнірного закріплення.

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

### Висновок

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дисертаційна робота Майструка Павла Володимировича на тему «Синтез дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем», є завершеним самостійним науковим дослідженням.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їхнього практичного значення дисертація на тему «Синтез дискретно-континуальних міжрезонансних коливальних систем вібраційних машин з електромагнітним приводом» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», постанові Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 р. «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022 р., а здобувач Майструк Павло Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка, галузь знань 13 – Механічна інженерія.

Офіційний опонент:  
професор кафедри галузевого машинобудування  
Луцького національного технічного університету,  
доктор технічних наук, професор

Микола ЯРОШЕВИЧ

