

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Козлова Андрія Юрійовича на тему «Керований електромагнітний привод установок для формування високоякісних бетонних виробів», що подається на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії в галузі знань
14 – Електрична інженерія за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

1. Актуальність теми дисертації

Вібраційне ущільнення є основним технологічним процесом отримання бетонних виробів. Висока їхня якість може бути забезпечена за умови використання на різних етапах вібрування інших значень частот та амплітуд коливань. В якості основного технологічного обладнання більшою мірою використовують низькочастотні вібраційні столи з відцентровими інерційними вібраторами. Використання промислових частотних перетворювачів дає можливість керувати частотою обертання роторів електродвигунів. Проте, на базі таких вібраторів неможливо забезпечити незалежне керування амплітудою та частотою коливань. Тому, для таких умов більш доцільним є використання електромагнітних вібраторів, які визначаються високою надійністю, ресурсом та мають низькі шумові характеристики. Їх висока енергоефективність проявляється у режимі, близькому до резонансного. Проте, практичних засобів, що забезпечують функціонування електромагнітних приводів у відносно широких амплітудно-частотних областях з урахуванням ефективності роботи приводу є обмеженою. Це вказує на недостатність теоретичних досліджень щодо вивчення електромагнітних процесів у керованих електромагнітних приводах з урахуванням динамічних особливостей механічних коливальних систем. Особливо це стосується використання в системах зав'язків з нелінійними та регульованими пружними характеристиками. Усе це зумовлює актуальність та перспективність вибраної теми.

2. Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів

1. Вперше науково обґрунтовано комбінований принцип незалежного керування частотою та амплітудою коливань вібраційних машин, на основі зовнішнього впливу на їхні динамічні характеристики, де частота вільних коливань регулюється керованим динамічним гасником із нелінійними пружними елементами.

2. Виявлено закономірності зміни динамічних і кінематичних параметрів вібраційних систем на основі використання в структурі механічної коливальної

системи керованого динамічного віброгасника і нелінійного пружного елементу, що дає можливість змінювати амплітудно-частотну характеристику та підвищити енергетичну ефективність.

3. Вперше запропоновано нову структуру системи керування, яка містить канал непрямого вимірювання резонансної частоти у комбінації з контуром фазового регулювання, що забезпечує високу швидкодію і точність налаштування на резонанс, підтримку заданої амплітуди коливань та високий коефіцієнт корисної дії електромагнітного приводу.

Внаслідок виконання експериментальних досліджень:

- розроблено імітаційну модель електромеханічних процесів у керованому електромагнітному приводі вібраційних столів із урахуванням їхніх визначальних магнітних, динамічних і пружно-інерційних властивостей та характеристик;

- удосконалено експериментальну установку та визначено експериментальні залежності щодо впливу умов керування, стабілізації амплітуди коливань та частоти збурення за умови автоматизованого налагодження на резонансний режим роботи;

- розроблено структури систем керування, алгоритми та удосконалено програмне забезпечення для автоматичного керування електромагнітним приводом вібраційних столів для зміни внутрішніх резонансних частот системи, частот збурення та амплітуди коливань.

3. Наукова обґрунтованість результатів та їх відповідність темі дисертації

Отримані в дисертаційній роботі науково-практичні результати обґрунтовуються ефективним вибором методів дослідження. При створенні математичних моделей електромагнітних та електромеханічних процесів у вібраційному приводі на різних етапах дослідження послідовно використовувалися наступні методи. Метод скінченних елементів, метод електричних заступних схем і апроксимації функцій використано для розрахунку магнітного поля і опису електромагнітних процесів. Моделювання динамічних процесів у коливальній системі здійснено на основі рівнянь Лагранжа II роду і методу Рунге-Кутта для розв'язання систем нелінійних диференціальних рівнянь у програмному середовищі Simulink.

При науковому обґрунтуванні запропонованої структури системи автоматичного керування використовувався метод дедукції: на основі загальних властивостей комбінованих систем автоматичного керування було зроблено висновок про доцільність застосування комбінованого принципу для системи, що досліджується. Для підтвердження достовірності теоретичних результатів використовувались методи числового та фізичного експерименту.

Виконаний комплексний аналіз дає можливість стверджувати, що робота має високий рівень обґрунтованості та достовірності отриманих в ній результатів. Отримані наукові результати, висновки та практичні рекомендації повною мірою відповідають визначеній темі дисертаційної роботи та вказують на досягнення в роботі меті.

4. Оцінка рівня виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 62 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 131 сторінку, у тому числі 56 рисунків і 5 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, показано її зв'язок з науковими програмами й темами, сформульовано об'єкт і предмет дослідження, мету та завдання, представлено методи дослідження та обґрунтування достовірності отриманих результатів, визначено наукову новизну та практичне значення результатів роботи, відображено повноту викладення результатів у публікаціях та ступінь апробації.

У першому розділі проведено аналіз вібраційних установок для формування бетонних виробів та особливості технологічних процесів вібраційного ущільнення. Також проаналізовано принципи побудови вібраційних машин зі змінною резонансною частотою та систем автоматичного керування їх приводами. Визначено їхні конструктивні особливості та перспективи розвитку.

У другому розділі розроблено функціональну схему вібраційної установки для виготовлення високоякісних бетонних виробів з електромагнітним вібратором та керованим динамічним віброгасником з конічними пружинами. Розроблено модель електромагнітних та електромеханічних процесів на основі колопольового методу, оснований на апроксимації залежностей потокозчеплення та електромагнітної сили від МРС та величини повітряного проміжку, які отримані шляхом числових розрахунків магнітного поля. Складено модель динаміки механічної коливальної системи та електромеханічних процесів у приводі руху керованого віброгасника. Проведено моделювання процесів під час переходу між частотами, забезпечення амплітуди коливань та забезпечення високої енергетичної ефективності.

У третьому розділі проведено синтез системи автоматичного керування електромагнітним приводом вібраційної машини зі змінною частотою. Обґрунтовано доцільність застосування комбінованого принципу автоматичного керування, що реалізується додаванням до існуючої системи каналу прямого керування частотою на основі вимірювання поточних значень координати переміщення динамічного віброгасника. Проведено моделювання перехідних процесів у системі з комбінованим керуванням частотою, результати яких

підтвердили доцільність застосування запропонованої структури системи керування.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням розробленого керованого приводу. Наведено опис установки, яка дає можливість досліджувати перехідні та стаціонарні процеси у вібраційній машині зі змінною резонансною частотою і автоматичним керуванням кінематичними і динамічними параметрами. Розроблено алгоритми програми, що реалізує створену структуру системи автоматичного керування. Досліджено розімкнену систему керування та визначено характеристики регулювання резонансної частоти. Досліджено замкнену систему автоматичного керування амплітудою і частотою. Результати проведених експериментів підтвердили, що для керування частотою електромагнітного привода вібромашини зі змінною резонансною частотою доцільно використовувати комбінований принцип автоматичного керування. Це забезпечує необхідну швидкість та стійкість налаштування на нову резонансну частоту в перехідних режимах.

Поставлені наукові завдання в дисертаційній роботі повністю відповідають меті роботи та підтверджені експериментально. Отримані результати визначаються високим рівнем науково-практичної новизни. Здобувач повністю оволодів методологією наукової діяльності і успішно її впровадив в даній дисертації.

5. Зауваження та рекомендації до дисертації

1. Як зазначено у першому розділі дисертації, процес вібраційного ущільнення бетонних виробів може відбуватися у досить широких амплітудно-частотних областях. Доцільно було більш чітко сформулювати комплекс вимог до установки та системи керування електромагнітним приводом, зокрема вказати, які значення частот та амплітуд потрібно буде забезпечити виходячи із технологічних вимог до виробів.

2. На с.36 вказано, що зміною величини початкового деформування конічних пружин, змінюється їхня жорсткість і, відповідно, резонансна частота системи. Втім, потрібно зауважити, що конструктивні параметри самих пружин є незмінними, а тому змінюється лише вигляд пружної характеристики, що може загалом впливати на динамічні властивості механічної системи.

3. На рис. 44 наведено динамічну схему чотиримасової коливальної системи. Відомо, що без урахування жорсткості віброізоляторів вона буде мати три основні резонансні частоти. Проте, в роботі відсутній розрахунок цих частот, що ускладнює розуміння вибору раціональних параметрів вібраційних столів та умов його збурення на встановлених частотах вільних коливань.

4. На рис. 2.12 наведено часову залежність амплітуди коливань із значеннями на графіку 0 ... 6 мм. Очевидно, повинно бути значення 0 ... 0,6 мм, мова про яке йде в тексті опису.

5. Доцільно додатково вказати диференціальну частотну часову характеристику (швидкодія) системи керування. Це дало б змогу оцінити як ефективність досягнення заданих кінематичних характеристик вібраційного столу, так і розробленої системи керування.

6. Потребує додаткового пояснення рис. 3.3 просідання фази коливань до величини -110° під час переходу на вищі частоти коливань.

7. На часових залежностях для амплітуди коливань x_0 (рис. 3.11) спостерігається поява додаткової гармоніки. Це явище потребує в майбутньому додаткового дослідження.

8. Експериментальні дослідження варто додатково супроводжувати спектральним аналізом пришвидшення робочої маси, адже на графіках спостерігається наявність високочастотних гармонік.

9. Експериментальні залежності для кінематичних і динамічних параметрів під час руху керованої ланки вгору та вниз варто було сумістити на одному графіку для кращого їх сприйняття та аналізу.

10. Очевидно, що розроблена система керування має додаткові можливості та переваги, які в цій роботі не представлені, зокрема режим підтримки частоти коливань при заданому рівні інтенсивності режиму.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, вказують на перспективність та можливість подальшого розвитку дисертаційної роботи, а також позитивне науково-практичне значення.

6. Загальний висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота здобувача освітньо-наукового ступеню доктора філософії Козлова Андрія Юрійовича на тему «Керований електромагнітний привод установок для формування високоякісних бетонних виробів» є завершеною, визначається актуальністю, науковою новизною та має практичне значення.

За рівнем наукової новизни та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота на тему «Керований електромагнітний привод установок для формування високоякісних бетонних виробів» 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 Постановами Кабінету Міністрів № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р. та № 507 від 03.05.2024 р.

Здобувач Козлов Андрій Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка в галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент:

доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій
машинобудування,

Національного університету

«Львівська політехніка»

д-р техн. наук, професор

Володимир ГУРСЬКИЙ

Підпис офіційного опонента

доцента кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування,
д-ра техн. наук, професора Володимира ГУРСЬКОГО

засвідчую:

Проректор з науково-педагогічної роботи (повна вища освіта)

Національного університету

«Львівська політехніка»

Олег ДАВИДЧАК