

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Нісонського Володимира Павловича
на тему: «Математична модель віброагрегата з ланцюгово-розгалуженим
способом з'єднання твердих тіл»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи

Вібраційні технології знаходять широке застосування в техніці, будівництві, машинобудуванні, медицині та інших галузях людської діяльності. Особливо важливим є використання вібраційних технологій у промисловості, а саме в роботі віброагрегатів (віброударних машин) для ливарного виробництва, а також і в інших галузях, в яких крім вібраційних процесів відбувається ще й контактна ударна взаємодія між окремими частинами чи ланками. Важливість вивчення роботи таких віброударних машин обумовлюється тим, що у багатьох технологічних процесах віброударні явища є більш ефективними, ніж суто вібраційні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати дисертаційної роботи використовувались при проведенні наукових досліджень в рамках науково-дослідної держбюджетної теми: «Механіко-математичне моделювання контактної взаємодії в оболонково-стрижневих системах з урахуванням сухого тертя та закриття тріщин. Розділ 8. Математична модель розгалуженої віброударної коливальної системи». Державний реєстраційний номер теми 0197U008957. Держбюджетна тема відповідає науково-дослідній тематиці Івано-Франківського відділу моделювання демпфуючих систем Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, а також в рамках держбюджетної теми 0116U004186, що відповідає тематиці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Аналіз структури та зміст дисертаційної роботи

Дисертація складається з титульного аркушу, анотації на українській та англійській мовах, змісту, вступу, п'яти розділів основної частини, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 191 сторінку, основний текст складає 146 сторінок. Список використаних

джерел містить 183 найменувань на 22 сторінках. Дисертація містить 59 рисунків та 2 таблиці, а також додатків А, Б, В,Г.

У **вступі** подається загальна характеристика роботи; обґрунтовується вибір теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** викладено огляд та проведено аналіз літератури за темою дисертаційної роботи. Визначено місце дисертаційних досліджень у розв'язанні науково-технічних завдань розробки нових математичних моделей віброударних агрегатів.

При побудові математичної моделі віброударного агрегату використовуються енергетичні принципи. При цьому виникає задача визначення кінетичної енергії та узагальнених сил для всіх тіл механічної системи, визначити реакцію пружних в'язів, а також врахувати розсіювання енергії в системі. Показано, що недостатньо розглянутою залишається проблема математичного моделювання віброагрегатів з ланцюгово-розгалуженим (паралельно-послідовним) способом з'єднання твердих тіл, а саме такі віброагрегати є найбільш ефективними в ливарному виробництві. Наприклад, віброгратка моделі 31327 для ливарного виробництва має саме такий спосіб компоновки твердих тіл. Тому математичне моделювання віброагрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання тіл має теоретичний інтерес та практичне значення для виробництва для покращення ефективності роботи віброграток.

У **другому розділі** розглядається власне побудова математичної моделі динамічного режиму роботи віброударного агрегату з ланцюгово-розгалуженим методом з'єднання твердих тіл. Для побудови математичної моделі вибрано енергетичний підхід. Модель будується з допомогою системи рівнянь Лагранжа II роду. Математична модель будується для віброагрегата загального типу. Математична модель віброагрегата враховує компоновку твердих тіл, наявність пружних зв'язків між тілами, а також наявність сухого або в'язкого опору.

Побудовано математичну модель віброударного агрегата, що являє собою систему звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку.

У **третьому розділі** розглядається взаємодія технологічного вантажу з робочими органами. В контактено-ударних коливальних системах взаємодія технологічного вантажу з робочими органами суттєво впливає на динаміку робочого режиму.

Загальним критерієм оцінки наявності контакту є величина відстані між робочими поверхнями технологічного вантажу і поверхнями робочих органів.

Розглянуто умови контакту технологічного вантажу з робочими органами віброгратки, які виводяться із геометричних міркувань.

Запропоновано також пристрій для вивчення явища синхронізації в динамічних системах. Даний прилад може застосовуватись для експериментальних та теоретичних досліджень при вивченні явища самосинхронізації, захищений Патентом України на винахід.

У четвертому розділі виконані чисельні розрахунки динамічного режиму роботи віброагрегата для простіших схем. Розглядалася математична модель динамічного режиму роботи динамічного віброагрегата, коли технологічний вантаж віброагрегата взаємодіє з робочими органами інерційно-ударних вибивних ґраток при наявності в'язкого опору. Для даної моделі вперше виконані чисельні розрахунки динамічного режиму роботи віброагрегата при різних механічних параметрах віброгратки.

Побудовано фазові портрети руху твердих тіл, що складають віброгратку. Результати чисельних розрахунків оформлені у вигляді таблиці, в яких наводяться амплітуди коливань, віброприскорення та власні частоти механічної системи при різних значеннях механічних параметрів.

Фазові портрети показують, що рух технологічного вантажу є стійким, причому стійкість покращується, як видно на рис. 15 – 16, з введенням в'язкого опору. Певним підбором параметрів системи можна домогтися необхідного динамічного режиму роботи технологічного вантажу, віброгратки та системи в цілому для забезпечення її ефективної роботи.

Зроблено аналіз точності обчислення для даної віброгратки згідно чисельного алгоритму. Показано, що загальний алгоритм та його реалізація на комп'ютері вносять похибки, які не чинять суттєвий вплив на результат обчислення, і тому відповідають фізичній картині процесу.

У п'ятому розділі подається імітаційна модель динамічного режиму роботи віброгратки типу 31327. Надаються діаграми взаємного розміщення твердих тіл при динамічному режимі роботи віброгратки, отримані шляхом комп'ютерного моделювання. Діаграми відповідають чисельним розрахункам, наведеним у четвертому розділі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Дисертаційна робота має системний характер і є завершеною. У дисертаційній роботі розв'язана науково-технічна задача побудови математичної моделі динамічного режиму роботи віброагрегата з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл з допомогою пружних зв'язків шляхом складання системи диференціальних рівнянь та чисельного розв'язування простіших систем з аналізом отриманих результатів. При побудові математичної моделі використано класичний підхід, пов'язаний з використанням рівнянь Лагранжа II роду, здійснена постановка відповідних початкових умов. Тому можна зробити висновок про те, що модель є аналітично точною і відповідає реальному фізичному процесу. У випадку, коли побудовану систему диференціальних рівнянь можна розв'язати аналітично, похибка розв'язку відсутня як така. Все це дає підстави вважати математичну модель динамічного режиму роботи багатосекційного агрегату адекватною і можливою для впровадження чисельних результатів моделі на виробництві. Достовірність основних наукових результатів забезпечується обґрунтованістю математичних викладок і фізичних посилок, що стоять в основі моделі, строгій математичній побудові моделі, а також перевірі одержаних результатів з допомогою методів чисельного та імітаційного комп'ютерного моделювання. Теоретичні результати та практичні рекомендації, що одержані в даній роботі при побудові даної математичної моделі, застосовувались при експлуатації вибивної інерційно-ударної ґратки типу 31327, що виготовлялась ВО «Карпатпресмаш».

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

Вважаю, що наукові результати дисертаційної роботи можна кваліфікувати як такі, що отримані вперше.

Проведені дисертаційні дослідження дозволили отримати низку нових результатів, а саме:

1. Вперше запропоновано математичну модель руху твердих тіл та дії технологічного вантажу в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання мас на основі рівнянь Лагранжа II роду, що дозволяє одержати аналітичні залежності для опису характеристик об'єктів такого класу та проводити чисельні розрахунки параметрів динамічного режиму роботи.

2. Вперше розроблено математичну модель процесу взаємодії технологічного вантажу з робочими органами механічних систем з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що дозволяє одержати аналітичні залежності для знаходження зусиль в зоні контакту.

3. Удосконалено підхід до моделювання динамічного режиму роботи віброударної ґратки, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє одержати фазові портрети та графічні залежності між амплітудами коливань та амплітудами віброприскорень, залежність власних частот, фазових портретів та амплітуд і віброприскорення технологічного вантажу від механічних параметрів віброґратки, дослідити питання механічної стійкості досліджуваної системи з використанням її фазових портретів.

4. Дістали подальший розвиток методи дослідження розсіювання енергії в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що, на відміну від існуючих методів, дозволяє врахувати взаємодію технологічного вантажу з робочими органами при наявності різних типів контакту, сил сухого та в'язкого тертя.

5. Удосконалено теоретичні підходи для оцінки точності розв'язання задачі моделювання процесів роботи віброударного агрегату з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл та перевірки адекватності моделей на основі аналізу точності використаних чисельних методів та методів імітаційного моделювання для віброґратки типу 31327, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє оптимізувати вибір математичного апарату для вирішення поставленої задачі.

Новизна отриманих автором результатів, які викладено в дисертаційній роботі, підтверджується експериментальними дослідженнями і патентом України на винахід.

Практична цінність дисертаційної роботи

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що побудована математична модель віброагрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, яка враховує пружні зв'язки між тілами, сухе позиційне тертя при взаємодії тіл, демпфування енергії в системі, може застосовуватись у виробництві для розрахунків параметрів динамічного режиму роботи вибивних віброґраток, а також при створенні нових видів вибивних віброґраток та віброударних агрегатів. Розроблено низку практичних рекомендацій, що дозволять оптимізувати параметри динамічного режиму роботи для конкретних типів віброагрегатів. На основі розробленої математичної моделі були проведені чисельні розрахунки динамічного режиму роботи для простіших віброагрегатів, механічні параметри яких відповідають параметрам віброґратки моделі 31327. Показано, що при деяких значеннях механічних параметрів можна при відносно невеликих значеннях амплітуди коливань та прискоренні

ударної віброгратки можна досягнути значних, на порядок вищих, значень амплітуди коливань та прискорення технологічного навантаження, що може мати практичне значення для розрахунків динамічного режиму роботи діючих віброагрегатів, а також використовувати одержані результати при проектуванні віброагрегатів.

Для вивчення явища самосинхронізації твердих тіл при коливальних процесах був спроектований пристрій, який захищено Патентом України на винахід, який може використовуватись у виробництві та у різноманітних віброударних технологіях.

Достовірність основних наукових результатів забезпечується обґрунтованістю математичних викладок і фізичних посилок, що покладені в основу моделі, строгою математичною побудовою моделі, а також перевіркою одержаних результатів з допомогою методів чисельного та імітаційного комп'ютерного моделювання. Теоретичні результати та практичні рекомендації, що одержані в даній роботі при побудові математичної моделі, застосовувались при експлуатації вибивної інерційно-ударної гратки типу 31327, а також використовуються при виготовленні віброударних граток на ПАТ «Азовзагальмаш», м. Маріуполь.

Повнота викладення здобувачем основних результатів

Основні результати за темою дисертації опубліковано в 26 наукових працях, в тому числі тринадцять статей у наукових виданнях (чотири без співавторів) , 2 роботи задепоновано; 10 тез доповідей міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій (три без співавторів). 3 статті входять до наукометричної бібліографічної бази SCOPUS, 13 до фахових видань. За результатами дисертаційних досліджень одержано один Патент України на винахід.

Опубліковані роботи повністю охоплюють основні результати досліджень та висновків, наведених у дисертаційній роботі.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційну роботу і автореферат написано в цілому на належному мовному рівні. Дисертація написана грамотно, з дотриманням вимог до оформлення дисертаційних робіт. Матеріали досліджень, наукові положення та висновки викладені методично вірно та послідовно, в науковому стилі, який забезпечує доступність сприйняття результатів дисертаційної роботи.

Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, за якою вона подається.

Зауваження до дисертаційної роботи

Загальні зауваження

1. В роботі зустрічаються русизми, деякі терміни можуть не відповідати загальноприйнятим у технічних дисциплінах.
2. Деякі формули набрані різними шрифтами, не всі формули відцентровані.
3. Рисунки виконані в різних форматах, в авторефераті на деяких рисунках погано видно позначення.

Зауваження до першого розділу

1. Необхідно було б більше звернути увагу на сучасні зарубіжні технології в галузі вібротехніки, більше опрацювати зарубіжні джерела інформації.
2. Варто було зробити більш глибокий порівняльний аналіз існуючих методів математичного моделювання віброагрегатів.

Зауваження до другого розділу

1. Чіткіше обґрунтувати адекватність прийнятих для математичної моделі допущень розглянутому динамічному процесу роботи віброагрегата.
2. Побудовано 2-вимірну модель роботи віброагрегата, хоча реальний процес відбувається у 3-вимірному просторі, тому не зовсім зрозуміло, наскільки побудована математична модель відповідає технологічному процесу.

Зауваження до третього розділу

1. Розглядається модель контакту в 2-вимірній площині, хоча при технологічному віброударному процесі відбувається взаємодія 3-вимірних тіл, тому виникає питання, наскільки дана модель адекватна фізичному процесу.
2. Треба чіткіше визначати, коли тіла, що взаємодіють при контакті, вважаються пружними, а коли абсолютно твердими.

Зауваження до четвертого розділу

1. Чисельні розрахунки виконані тільки для одного типу вибивної ґратки. Варто було провести розрахунки і для деяких інших типів віброґраток.
2. У зведеній таблиці результатів чисельних розрахунків (табл. 4.2) варто було внести більшу кількість проведених розрахунків.

Зауваження до п'ятого розділу

1. Імітаційне комп'ютерне моделювання проведено тільки для одного простішого типу віброґраток. Варто було змоделювати інший тип віброґратки, зробити порівняльний аналіз.

Загальний висновок

Наведені зауваження суттєвим чином не вплинули на загальний висновок щодо дисертаційної роботи:

1. Представлена до захисту дисертаційна робота Нісонського В. П. на тему «Математична модель віброагрегата з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл» є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена наукова і практично важлива задача побудови математичної моделі вибивної ґратки для ливарного виробництва.

2. Отримані в дисертаційній роботі результати є новими, мають теоретичну і практичну цінність, що також підтверджуються їх практичним застосуванням. Зауваження до дисертації не стосуються до її принципових положень та отриманих результатів.

3. В наукових публікаціях Нісонського В. П. повністю викладені основні результати дисертаційної роботи.

4. Зміст автореферату ідентичний змісту і основним положенням дисертації.

5. Дисертаційна робота «Математична модель віброагрегата з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл» є завершеною науковою роботою, яка за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, обґрунтованістю і достовірністю наукових положень і рекомендацій, новизною і практичною цінністю отриманих результатів відповідає п.п. 9, 11, та 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого Постановою Кабінету

Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року зі змінами від 30 грудня 2015 року та чинним вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор Нісонський Володимир Павлович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент, завідувач кафедри
вищої математики та моделювання систем
Одеського національного політехнічного
університету, д. т. н., проф.



А. В. Усов

Підпис доктора технічних наук,
професора Усова А.В. завіряю
Вчений секретар Ради університету



В.І. Шевчук