

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Іванчука Ярослава Володимировича «Методи та засоби математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. Робота присвячена ключовій проблемі сучасних систем автоматизованого проектування – підвищенню достовірності визначення робочих характеристик при проектуванні технологічних систем, можливість розробки систем з покращеними експлуатаційними характеристиками, зменшення часу на відпрацювання технологій. Потенційна область застосування результатів цього напрямку досліджень охоплює більшість існуючих технологій однією із яких є вібротехнології, які реалізуються за допомогою гідравлічних машин на основі імпульсного приводу.

Автор визначив власний напрямок досліджень сегментом використання основних положень гідродинаміки для моделювання руху робочої рідини в системах приводів, рівнянь руху елементів приводу, в поєднанні із основними положеннями теорії пружності і пластичності, а також математичних моделей на основі нечіткого логічного висновку. Це обґрунтовується тим, що на сучасному етапі попит на підвищення адекватності розроблених математичних моделей в системах автоматизованого проектування зв'язаний із необхідністю використання високопродуктивних обчислювальних комп'ютерних систем.

Раніше математичні моделі гідравлічних вібраційних і віброударних машин розроблялись у формі систем диференціальних рівнянь руху конструктивних елементів гідроприводу із приведеними коефіцієнтами для коливальної системи, і рівняннями витрат у формі частинних інтегральних розв'язків диференціальних рівнянь нерозривності і Нав'є–Стокса для ідеальної робочої рідини. Практична реалізація даного підходу не враховує вплив усіх перехідних процесів у гідравлічній ланці, що призводить до накопичення надлишкових, нереалізованих системою технологічних рухів. Відповідно, з'явилася нагальна потреба у розробці нової постановки задачі математичного моделювання гідравлічних вібраційних та віброударних машин в просторово-нестационарній формі, яка вимагає розроблення нових більш повних і адекватних математичних моделей, які засновані на системі диференціальних рівнянь в частинних похідних із коефіцієнтами у формі інтегральних функцій незалежних змінних.

Необхідно відзначити, що виробничі процеси на базі технологічних гідравлічних вібраційних та віброударних машин представляють собою складну систему, в яких традиційний детермінований підхід до

математичного опису технологічних процесів є необхідним, але із-за наявності невизначених параметрів далеко недостатнім і суттєво обмежує можливості проектування. У зв'язку з цим актуальними є дослідження, пов'язані із розробкою нових математичних моделей використовуючи методи системного аналізу, із застосуванням положень теорії нечіткої логіки, що призводить до розробки нових алгоритмів синтезу виробничих об'єктів у нечіткому середовищі при кількісно вимірних вхідних і нечітких (якісних) вихідних параметрів дослідних зразків технологічно-оброблюваного середовища із застосуванням лінгвістичних термів.

Автор дисертаційної роботи сформулював науково-прикладну проблему розробки нових теоретико-методологічних основ і засобів побудови математичних моделей гідравлічних вібраційних і віброударних машин, здатних підвищити точність ідентифікації робочих процесів.

Дослідження виконувалось здобувачем згідно з планами науково-дослідних робіт Вінницького національного технічного університету кафедр галузевого машинобудування та комп'ютерних наук в межах двох держбюджетних та двох госпдоговірних тем, а також згідно договору про творчу співдружність. Тематика роботи пов'язана з встановленим Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», у тому числі «Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави» і «Енергетика та енергоефективність», а також Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», у тому числі «Стратегічний пріоритетний напрям на 2011–2021 роки: освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії».

Таким чином, тематика дисертаційної роботи є актуальною та важливою для сучасного рівня науки й техніки.

Наукова новизна дослідження та результатів роботи.

Автор одержав низку наукових результатів, новизна яких полягає в розвитку теорії математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин, розробці узагальненої методології математичного моделювання процесів їх функціонування.

Зокрема в роботі:

– запропоновано критерій визначення типу гідравлічних вібраційних і віброударних систем за їх режимом руху виконавчої ланки, який, на відміну від існуючих, базується на синтезі функцій зовнішньої імпульсної і гармонійної збуджуючих сил із використанням положень теорії стереомеханічного удару на базі лінійного

неоднорідного диференціального рівняння другого порядку для консервативних стаціонарних неавтономних коливальних систем, що дає змогу синтезувати та ідентифікувати математичні моделі в залежності від типу визначених систем;

– розроблено класифікацію типів коливальних систем, яка, на відміну від існуючих, функціонально подана в параметричному вигляді умовами необхідності і достатності виникнення вібраційних та віброударних режимів руху виконавчого органу в поєднанні з інтегральною характеристикою фазової площини системи, що дозволяє синтезувати та ідентифікувати математичні моделі залежно від типу технологічних машин;

– розроблено математичну модель вібраційних та віброударних систем, які, на відміну від існуючих, представлена у формі функції одиничного стрибка Хевісайда та імпульсної перехідної функції у вигляді згортки інтегралу Лапласа від зображення оператора динамічної податливості, яка дозволяє повністю описати процес зміни відносної координати переміщення як у перехідних, так і в установлених режимах руху системи;

– розроблено математичну модель гідравлічних вібраційних і віброударних машин на базі імпульсного привода за допомогою стаціонарної неавтономної коливальної системи зі скінченим ступенем вільності на основі лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, в яких, на відміну від існуючих, функція вільного члена представлена у вигляді лінеаризації функції збуджуючої сили, як характеристика використовуваного типу привода, а лінеаризовані коефіцієнти виражають як пружні і дисипативні силові зв'язки елементів привода, так і реологічні властивості технологічно оброблюваного середовища, що дає змогу визначати області стійкості роботи даних типів машин;

– розроблено математичну модель системи оцінювання ефективності функціонування технологічних комплексів гідравлічних вібраційних і віброударних машин, яка, на відміну від існуючих, базується на експертних правилах, формалізованих у вигляді нечітких баз знань, що дає змогу визначати взаємозв'язок між параметрами стану підсистем технологічного комплексу з якісними показниками об'єкту технологічної обробки;

– розроблено графо-аналітичний метод визначення області стійкості роботи генератора імпульсів тиску, в якому, на відміну від існуючих, застосовується критерій стійкості Гурвіца для лінійного неоднорідного диференціального рівняння третього порядку, як форми представлення математичної моделі руху запірного елемента клапана-пульсатора, що дає змогу визначити енергетичні співвідношення привода для виникнення різних типів коливальних процесів;

– розроблено метод чисельного моделювання гідродинамічних процесів, який, на відміну від існуючих, представлений в ізопараметрично кінцево-елементному формулюванні на основі дискретного представлення рівняння нерозривності невстановленого руху рідини в інтегральній формі Гріна і модифікації диференціального рівняння Нав'є–Стокса шляхом введення штучної стисненості рідини в диференціальній формі надлишкового тиску, що дає змогу в цілому підвищити точність ідентифікації процесів функціонування гідравлічних вібраційних і віброударних машин;

– розвинуто метод статистичної лінеаризації, в якому, на відміну від існуючих, застосовуються комплексні амплітуди та інтеграл ймовірностей у вигляді функції Крампа, що дозволяє розв'язувати лінійні неоднорідні диференціальні рівняння другого порядку коливальних систем у стохастичних математичних моделях гідравлічних віброударних систем за допомогою спектральної форми амплітудно-частотних характеристик, де функції силової взаємодії робочих органів імпульсного привода представляють собою стаціонарний нормальний випадковий процес;

– удосконалено математичні моделі динаміки процесів та систем гідравлічних вібраційних і віброударних машин, у формі просторово-нестационарної постановки задачі, на базі систем нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних Нав'є–Стокса і умови нерозривності для в'язких рідин та інтегральних рівнянь динамічних характеристик рухомих елементів гідроімпульсного привода в поєднанні із основними положеннями теорії пружності і пластичності на базі системи диференціальних рівнянь деформованого тіла, що, на відміну від існуючих, дало змогу в цілому підвищити точність ідентифікації математичних моделей гідравлічних вібраційних і віброударних машин.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

При створенні наукових положень, висновків та рекомендацій автором застосовані дані, які одержані з літературних джерел, з результатів аналізу сучасного стану та перспектив підвищення якості проектування гідравлічних вібраційних і віброударних машин та власних досліджень, тому їх можна вважати достатньо обґрунтованими. У роботі використані сучасні математичні та експериментальні методи, що також обґрунтовано досвідом їх застосування для створення узагальненої методології математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування гідравлічних вібраційних і віброударних машин. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджується результатами експериментальних досліджень. Достовірність отриманих результатів забезпечено коректністю постановки завдання, відповідністю визначеним теоретичним основам

математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування гідравлічних вібраційних і віброударних машин (розділи 2-3); коректністю використання математичного апарату методів дослідження (розділ 4); підтверджено комп'ютерним моделюванням (розділ 6), приведенням до відомих результатів (розділи 1), експериментальними дослідженнями (розділ 5), а також упровадженням одержаних результатів на реальних об'єктах виробничої, адміністративної та освітньої сфери діяльності.

Практична цінність одержаних результатів.

Полягає у галузі автоматизованого проектування технологічних систем створенням узагальнені методики та засобів комп'ютерного моделювання процесів функціонування гідравлічних вібраційних і віброударних машин, що базуються на: системі підтримки прийняття рішень, яка автоматизує найбільш трудомісткі операції інтелектуальної діяльності при визначенні оцінки ефективності функціонування технологічних комплексів; інтегровано-розрахунковому програмному середовищі із використанням окремих програмних комплексів із застосуванням технології «клієнт-сервер», які реалізують відповідний чисельно-розрахунковий метод розв'язання математичних моделей із використанням методів імітаційного моделювання.

Практика використання отриманих результатів дозволили розробити рекомендації для проектних розрахунків гідроімпульсного привода із високим ККД на рівні 61,1 %, ефективність якого на 8 % більша порівняно з відомими методиками. Виконаний при цьому аналіз адекватності розроблених математичних моделей показує, що розходження даних результатів математичного моделювання динамічних параметрів ГВ і ГВУ машин з експериментальними даними в середньому складає 4,75 %, що дозволяє вважати розроблені математичні моделі з високим ступенем адекватними реальним системам.

Підтверджують практичну цінність успішні впровадження на підприємствах ПАТ «Барський машзавод» (м. Бар, Вінницька область), Soft Xpansion GmbH & Co.KG (м. Бохум, Німеччина), ТОВ «АСК-МЕТ» (м. Вінниця), ТОВ «БУДФОНДІНВЕСТ» (м. Перемишляни, Львівська область), ТОВ «Шляхбуд» (м. Вінниця), а також в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України (м. Київ); на кафедрі комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету.

Структура та обсяг дисертації відповідають вимогам до докторських дисертацій.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, 11 додатків та списку використаних джерел із 375 найменувань. Повний обсяг друкованого тексту становить 578 сторінок, з них 32 сторінки

списку використаних джерел та 219 сторінок додатків. Робота містить 174 рисунки і 48 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено науково-прикладну проблему, що вимагає розв'язання, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету і основні задачі досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів, основні праці, опубліковані за темою дисертації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі обґрунтовано область застосування вібраційних та віброударних технологічних машин. На основі аналізу відомих методів математичного моделювання технологічних процесів із застосуванням гідравлічних вібраційних і віброударних машин визначено проблему, мету і задачі дослідження.

У другому розділі відокремлено методологічні передумови для створення теоретичних основ математичного моделювання процесів функціонування гідравлічних вібраційних і віброударних машин з урахуванням особливостей цього класу об'єктів; розроблено метод визначення типу вібраційних та віброударних систем за їх режимом руху виконавчої ланки. Розроблено функціональну математичну модель динаміки вібраційних та віброударних систем. Розроблено методику побудови універсальних математичних моделей гідравлічних вібраційних та віброударних машин. Побудовані універсальні детерміновані і стохастичні математичні моделі гідравлічних вібраційних і віброударних технологічних машин. Розроблено графо-аналітичний метод визначення області стійкості роботи імпульсних гідравлічних вібраційних і віброударних машин.

Третій розділ присвячено теоретичним основам математичного моделювання динамічних процесів та систем гідравлічних вібраційних і віброударних технологічних машин. Обґрунтовано доцільність математичного моделювання гідравлічних вібраційних та віброударних технологічних машин на базі положень гідродинаміки і механіки твердого тіла. Розроблено адекватні математичні моделі технологічного процесу: транспортування вібраційним конвеєром, поверхневого ущільнення ґрунтів інерційною вібротрамбовкою, руйнування гірської породи навісним віброударним пристроєм, занурення паль навісним віброударним пристроєм. Розроблено методику оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу поверхневого ущільнення ґрунтів на базі інерційної вібротрамбовки із використанням положень теорії нечіткої логіки.

У четвертому розділі, в контексті розвитку теорії математичного та комп'ютерного моделювання, розроблено математичний метод чисельного моделювання гідродинамічних процесів у системах приводів гідравлічних вібраційних та віброударних машин. Розроблено метод чисельного розв'язування рівнянь нерозривності і Нав'є-Стокса в

диференціальній формі. Модифіковано математичний метод чисельного розв'язування системи рівнянь гідродинаміки для турбулентного режиму руху робочої рідини. Модифіковано математичний метод чисельного розв'язування системи рівнянь гідродинаміки для пристінних шарів робочої рідини. Модифіковано математичний метод чисельного розв'язування руху шарів робочої рідини в області зазору.

П'ятий розділ присвячено експериментальним дослідженням динамічних процесів і систем гідравлічних вібраційних та віброударних машин з метою визначення достовірності розроблених математичних моделей за допомогою порівняльного аналізу із результатами чисельного та імітаційного моделювання. Розроблено експериментальний стенд інерційної вібротрамбовки на базі гідроімпульсного привода. Розроблено методики експериментальних досліджень закономірностей зміни робочих режимів гідроімпульсного привода інерційної вібротрамбовки. Проведені експериментальні дослідження закономірностей поверхневого ущільнення ґрунтів інерційною вібротрамбовкою, що дозволило розробити рекомендації із застосування основних режимів ефективного вібраційного поверхневого ущільнення ґрунтів.

Шостий розділ присвячено практичній реалізації розроблених математичних моделей динамічних процесів і систем гідравлічних вібраційних та віброударних технологічних машин. У межах розробленої методики комп'ютерного моделювання реалізовані розроблені математичні моделі динамічних процесів і систем гідравлічних вібраційних та віброударних технологічних машин. Проведено аналіз достовірності й ефективності результатів моделювання динамічних процесів і систем гідравлічних вібраційних та віброударних технологічних машин. Визначено високу степінь адекватності використання розроблених рівнянь гідродинаміки для моделювання режимів течії робочої рідини. Наведені результати впровадження дисертаційної роботи.

Публікації по темі дисертації мають потрібну якість та досить широку географію. Основні результати дослідження опубліковано в 373 працях, у тому числі: монографій – 2, статей у фахових виданнях України – 27 (з них 8 – без співавторів), статей у наукових виданнях іноземних держав – 5; публікацій у збірках матеріалів міжнародних конференцій – 25; патентів України на винахід – 4; свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму) – 1; навчальних посібників – 1.

Важливі аспекти дисертаційної роботи відомі міжнародній науковій спільноті, оскільки доповідалися на зарубіжних міжнародних конференціях Польщі та опубліковані у відповідних збірках доповідей.

Головні наукові результати дисертації повністю опубліковано і відображено у зазначених працях.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням і висновкам, зробленим в дисертації.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертаційна робота написана грамотно, на достатньо високому науковому та теоретичному рівні. Мова і стиль викладення автором дисертаційної роботи відповідають стандартам, забезпечують доступність їх сприймання і відповідають вимогам, що висовуються до сучасних наукових робіт. За кожним розділом і роботою в цілому зроблені чіткі висновки.

Зауваження по роботі.

- Нетиповий для даної ради спосіб подання пунктів наукової новизни - вони записуються у формі констатацій, без коментарів та пояснень;
- Об'єм роботи все ж таки завеликий – 578 сторінок, деякі факти є відомими і не вимагають такої деталізації;
- В формулах (1.2),(1.3) передбачається, що розглядувані автором функції є лише функціями часу, проте варто було б записати і залежності від просторових координат – принаймні в подальшому зустрічаються подібні постановки та формулювання;
- В моделях(1.4) – (1.10) чітко, окремими формулами не сформульовано початкові умови задачі, - якщо дифрівняння звичайні – задаються лише початкові умови, якщо рівняння з частинними похідними – початкові і граничні.;
- В системах (2.27) і (2.115) число невідомих явно 2, число рівнянь – 4. Очевидно, тут певний недолік з математичної точки зору, система перевизначена. Потрібно в такій роботі для всіх систем просто вказувати – які функції в рівняннях – невідомі, а які – задаються автором;
- Для (2.52) нічого не сказано і не описано стосовно того, яким методом знаходиться екстремум;
- Формула (2.60) записана для $\omega = \omega_0$, але в кінцеву залежність резонансної амплітуди ω_0 не входить. Не вказано також – чому це – саме резонансна характеристика;
- Невдалий термін – умови розв'язання (3.36), (3.37)

Висновок

Відмічені зауваження не вплинули на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи «Методи та засоби математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин», яка є завершеною науковою роботою та відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Вважаю, що за актуальністю обраної тематики, новизною досліджень, їх обґрунтованістю та науково-практичною значимістю отриманих результатів, дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою КМУ від 24 липня 2013 року № 567, щодо докторських дисертацій, а її автор, Іванчук Ярослав Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

завідувач кафедри прикладної
математики Івано-Франківського
національного технічного
університету нафти і газу,
доктор технічних наук, професор

А.П. Олійник

Підпис проф. Олійника А.П. засвідчую:

Вчений секретар ІФНТУНГ

В.Р. Процюк

“ 28 ” 09 2020 р.