

ВІДГУК

офіційного опонента – професора кафедри інформатики
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка,
доктора технічних наук, професора Федорчука Володимира Анатолійовича
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

Відгук підготовлено за матеріалами дисертації, яка має загальний обсяг 578 сторінок, з яких основний зміст викладено на 277 сторінках, містить 174 рисунки і 48 таблиць по тексту, а також 11 додатків, в яких, зокрема, приведено 7 актів впровадження. Список використаних джерел складається з 375 найменувань. Обсяг автореферату становить 43 сторінки.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена значним поширенням складних і ресурсоемних обчислювальних задач у процесі проектування технологічного обладнання, а також підвищенням експлуатаційних вимог до створюваних гідравлічних вібраційних (ГВ) і гідравлічних віброударних (ГВУ) машин. Тематика даної дисертації відноситься до напрямку створення ефективних методів та засобів математичного моделювання в системі автоматизованого проектування і діагностування технологічних систем на базі вібраційного і віброударного обладнання із застосуванням високопродуктивних багатопроцесорних обчислювальних систем. Важливість даного напрямку досліджень обґрунтовується тим, що ефективність використання ГВ і ГВУ обладнання у різних галузях промисловості дозволяє не тільки значно інтенсифікувати протікання ряду технологічних процесів, але й застосуванням концептуальних основ та математичного забезпечення, адекватного для опису фізичних процесів відповідних динамічних систем у процесі проектування, забезпечити оптимальність параметрів навантаження і одержати результат технологічної обробки з високими якісними параметрами. Це зумовлює та підвищує актуальність розробки узагальненої методології математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування ГВ і ГВУ машин, їх реалізацію у вигляді прикладних програмних засобів. Оскільки від них у значній мірі залежить точність ідентифікації процесів у ГВ і ГВУ машинах, а це у свою чергу впливає на достовірність визначення робочих характеристик при проектуванні гідроприводу і можливість розробки систем з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Тому слід вважати важливою окреслену автором науково-прикладну проблему, що підлягає вирішенню у дисертаційній роботі, а саме – розробки узагальненої методології математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування ГВ і ГВУ машин з урахуванням особливостей цього класу об'єктів для забезпечення високої ефективності проектування відповідного типу технологічних систем.

Таким чином, розроблення нових моделей та методів математичного і комп'ютерного моделювання процесів у ГВ і ГВУ машин, які враховують фізичні параметри енергоносія (робоча рідина) і конструктивні параметри генератора імпульсів тиску, має важливе значення для збільшення швидкодії, енергонасиченості і компактності гідроприводу та розробки ефективних технологічних систем на їх основі.

Необхідно відзначити, що дисертаційна робота Іванчука Я. В. пов'язана та виконувалась в межах ряду держбюджетних та госпдоговірних тем, а також у межах договору про творчу співдружність, що підвищує її важливість. А саме: держбюджетна тема №19-Д-331 «Теоретичні основи процесів фазового розділення дисперсних матеріалів в полі віброударних інерційних навантажень»; держбюджетна тема № 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій», договір про творчу співдружність №19/7 «Модернізація установок для віброабразивної обробки деталей»; госпдоговірна тема № 1925 «Розробка систем відбору тепла в установках для утилізації відходів», госпдоговірна тема № 1929 «Розробка рекомендацій можливості використання віброударних динамічних процесів в механічних системах транспортних розвантажувальних пристроїв».

Все це свідчить про те, що тематика дисертаційної роботи Іванчука Ярослава Володимировича є актуальною.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Вперше розроблено критерій визначення типу ГВ та ГВУ систем за їх режимом руху виконавчої ланки, який базується на синтезі функцій зовнішньої імпульсної і гармонічної збуджуючих сил із використанням положень теорії стереомеханічного удару, що дає змогу синтезувати та ідентифікувати математичні моделі в залежності від типу визначених систем; розроблено модель вібраційних та віброударних систем, яка представлена у формі функції одиничного стрибка Хевісайда та імпульсної перехідної функції у вигляді згортки інтегралу Лапласа від зображення оператора динамічної податливості; розроблено класифікацію типів коливальних систем, яка 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; розроблено математичну модуль ГВ та ГВУ машин за допомогою стаціонарної неавтономної коливальної системи зі скінченим ступенем вільності на основі лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, що дає змогу визначати області стійкості роботи даних типів машин; розроблено метод графо-аналітичного визначення області стійкості роботи генератора імпульсів тиску на основі критерію стійкості Гурвіца для лінійного неоднорідного диференціального рівняння третього порядку, що дає змогу визначити енергетичні співвідношення приводу для виникнення різних типів коливальних процесів; розроблено математичну модель системи оцінювання ефективності функціонування технологічних комплексів ГВ та ГВУ машин, яка базується на експертних правилах 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 метод чисельного моделювання гідродинамічних процесів, який представлений в ізопараметрично скінченноелементному формулюванні на основі дискретного представлення рівняння нерозривності невстановленого руху рідини в інтегральній формі Гріна і модифікації диференціального рівняння Нав'є-Стокса.

Набув подальшого розвитку метод статистичної лінеаризації, в якому 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 ГВУ систем.

Удосконалено математичні моделі динаміки процесів та систем ГВ та ГВУ машин у формі просторово-нестационарної постановки задачі на базі систем нелінійних диференціальних рівнянь гідродинаміки для в'язких рідин та інтегральних рівнянь динамічних характеристик рухомих елементів гідроприводу в поєднанні із основними положеннями теорії пружності і пластичності.

3. Достовірність наукових результатів

Постановка задачі досліджень, наукові положення, що захищаються автором роботи, висновки за результатами досліджень і рекомендації щодо використання запропонованих методів та засобів математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин достатньо обґрунтовані і доведені на відповідному науковому і методичному рівнях. У дисертаційній роботі коректно використовується математичний апарат теорії коливань механічних систем і механореологічної феноменології суцільних середовищ; елементів теорії інтегральних та диференціальних рівнянь; методів механіки суцільного

середовища; методів системного аналізу і теорії нечіткої логіки; методи імітаційного моделювання; аналітичних і чисельних методів алгебри, розв’язування диференціальних рівнянь з частинними похідними.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю постановки задачі, математичних методів і основних наукових висновків, несуперечливістю результатів. Викладені в роботі результати не протирічать відомим, отриманим за допомогою інших методів. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджується результатами численних експериментальних досліджень.

4. Практична цінність одержаних результатів

Практична цінність досліджень пов’язана з розробкою узагальненої методики та засобів комп’ютерного моделювання процесів функціонування ГВ та ГВУ машин, що забезпечують: підвищення достовірності визначення робочих характеристик при проектуванні гідроприводу; можливість розробки систем з покращеними експлуатаційними характеристиками; зменшення часу на відпрацювання деяких технологій. Автором розроблено систему підтримки прийняття рішень, яка автоматизує найбільш трудомісткі операції інтелектуальної діяльності при визначенні оцінки ефективності функціонування технологічних комплексів на базі ГВ та ГВУ машин. Особливостями системи є можливість: проведення ранжування станів технологічної системи; здійснення аналізу чутливості прийнятого рішення; збирання, оброблення й зберігання діагностичної інформації. Розроблене інтегровано-розрахункове програмне середовище на базі технології «клієнт-сервер» дозволяє реалізовувати відповідний обчислювально-розрахунковий метод числової реалізації математичних моделей із використанням методів імітаційного моделювання. Розроблена методика експериментального дослідження робочих процесів у гідроімпульсному приводі, а також технологічних характеристик оброблюваного середовища дозволяє виконувати порівняльний аналіз із результатами чисельного моделювання, щоб визначати адекватність розроблених математичних моделей. Розроблено методику проектного розрахунку гідроприводу вібраційних та віброударних машин, за допомогою якої було спроектовано дослідний зразок генератора імпульсів тиску. Практична цінність також підтверджується широким впровадженням одержаних у дисертації результатів в практику, про що свідчать відповідні акти впроваджень у вітчизняних та зарубіжних підприємствах.

5. Рекомендації щодо використання наукових результатів охоплюють три напрями:

1. Закономірним розвитком даної роботи є розробка моделей та подальша побудова на основі розробленої узагальненої методології математичного моделювання процесів функціонування ГВ і ГВУ машин спеціальних систем автоматизованого проєктування, з можливістю доцільного вибору алгоритмів стосовно властивостей конкретного завдання, і можливістю виконання швидких стійких рекурентних і високоточних ітераційних процедур. Саме таким шляхом можна досягти заміни фізичного експерименту обчислювальним при вирішенні класу прикладних технологічних задач для розв'язування яких потрібні екстремально високі обчислювальні потужності.

2. Отримані автором наукові результати є не тільки перспективним експериментальним середовищем для подальших досліджень у широкій предметній галузі проєктування вібротехніки, але й підставою для підвищення ефективності розв'язання більш широкого кола задач забезпечення оптимальності параметрів навантаження при інтенсифікації протікання ряду технологічних процесів з метою одержання результату технологічної обробки з високими якісними параметрами. Йдеться про неоднозначність динамічних властивостей елементів імпульсного приводу і необхідність додаткового врахування реологічних властивостей технологічно оброблюваного середовища.

3. Отримані в роботі моделі, методи та засоби математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин можуть бути рекомендовані до застосування в діагностиці різного типу технологічного обладнання на базі гідроприводу, системного аналізу виробничих процесів, розробки будівельних і дорожніх машин, механізмів гірничо-будівної сфери, а також в складних інженерних розрахунках та в імітаційному моделюванні для підвищення показників точності та продуктивності.

6. Структура дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У вступі визначено актуальність, сформульовано мету і розглянуто формальні ознаки дисертаційної роботи (новизна, практична цінність, ступінь апробації, публікації та структура роботи).

У першому розділі проведено аналіз особливостей ГВ та ГВУ технологічних машин, як об'єктів моделювання. Аналіз переваг та недоліків приводів даних типів технологічних машин показав, що в наш час суттєві переваги має гідроімпульсний привід, який дозволяє при прикладенні до об'єктів обробки корисних вібрацій або ударних імпульсів забезпечити високі робочі зусилля, широкий діапазон регулювання параметрів вібрації на виконавчій ланці, а це

дозволяє значно інтенсифікувати протікання ряду технологічних процесів і забезпечити оптимальність параметрів функції силового навантаження. Проведено аналіз відомих методів математичного моделювання технологічних процесів будівельної галузі, як такої де найбільш затребувані ГВ і ГВУ машини. Наведені відомі методи і підходи, пов'язаної з технологічним процесом ідентифікації математичних моделей досліджуваних об'єктів. Так, при використанні існуючих методів математичного моделювання вібраційних та віброударних машин на базі гідроімпульсного приводу необхідно виконувати перехід до штучної динамічної моделі із приведеними коефіцієнтами для коливальної системи, в якій ще додатково вводяться припущення, а це не завжди відповідає реальному фізичному процесу. Подібна задача не може бути розв'язана без врахування багатьох критеріїв технологічного процесу, а досліджувані технологічні машини необхідно розглядати системно, як складну динамічну систему, яка випробовує на собі комплекс впливів і має цілий ряд керуючих параметрів. Такий підхід вимагає пошуку нових підходів, створення на базі принципів системного аналізу теорії і практики математичного моделювання робочих процесів ГВ та ГВУ систем.

У **другому розділі** отримали подальшого розвитку теоретичні основи технології моделювання на основі аналізу взаємозв'язку множин конструктивних параметрів ГВ та ГВУ машин і на основі цього розроблено системний підхід до побудови математичних моделей динамічних процесів та систем. Встановлено закономірності при ідентифікації вібраційних та віброударних режимів роботи гідравлічних технологічних машин із використанням положень теорії стереомеханічного удару і синтезу функцій зовнішньої імпульсної і гармонійної збуджуючих сил. Запропоновано класифікацію математичних моделей досліджуваних машин і розроблено узагальнену методологію до побудови математичних моделей ГВ та ГВУ технологічних машин на основі механореологічної феноменології оброблювального середовища і конструктивних параметрів приводу. Розроблено детерміновані і стохастичні математичні моделі ГВ та ГВУ технологічних машин. На основі розробленого графо-аналітичного методу також розроблено підхід щодо визначення області стійкості роботи генератора імпульсів тиску із застосуванням критерію стійкості Гурвіца.

У **третьому розділі** використано просторово-нестационарну форму постановки задачі для розробки нової математичної моделі динаміки процесів та систем ГВ та ГВУ технологічних машин із використанням основних положень гідродинаміки і теорії пружності та пластичності твердого тіла, а також механореологічної феноменології. Розроблено підхід до оцінювання ефективності функціонування технологічних комплексів ГВ та ГВУ машин із використанням методів системного аналізу і положень теорії нечіткої логіки.

У четвертому розділі запропоновано метод чисельного розв'язування багатомірної системи рівнянь нерозривності і Нав'є-Стокса. Результати проведених розрахунків, а також пробні розрахунки тривимірних течій, виконані із використанням даного підходу, свідчать про його ефективність. Також даний метод дозволяє проводити по єдиному алгоритму розрахунки обтікання плоских, осесиметричних і тривимірних тіл складної конфігурації потоком в'язкої слабостисненої рідини, а також внутрішніх течій в широкому діапазоні чисел Рейнольдса.

У п'ятому розділі розроблено методику експериментального дослідження робочих процесів в гідроімпульсному приводі, а також технологічних характеристик оброблювального середовища, яка дозволяє виконувати перевірку адекватності розроблених математичних моделей ГВ та ГВУ машин. Експериментально визначено характер функціональної залежності частоти роботи машини і зміну силового навантаження на оброблювальне середовище. Статистичний аналіз експериментальних даних дозволив визначити оптимальні технологічні параметри режиму роботи пристрою.

Шостий розділ присвячено питанням практичної реалізації запропонованих наукових результатів дисертації. Розроблено методику комп'ютерного моделювання динамічних процесів та систем гідравлічних вібраційних та віброударних машин на основі технології «клієнт-сервер». Розроблено рекомендації для проектних розрахунків головних параметрів генератора імпульсів тиску. Виконано перевірку адекватності розроблених математичних моделей, результати якої дозволили вважати прийнятні для теоретичних досліджень припущення достатньо обґрунтованими, а розроблені математичні моделі з високою ступеню адекватні реальній системі.

7. Публікації за темою дисертаційної роботи

Наукові публікації автора, які складаються із 61 праці, зокрема, 2 монографій, 27 наукових статей у фахових виданнях, 4 статті у наукових виданнях іноземних держав, 25 публікацій у збірках матеріалів міжнародних конференцій, 4 патентів України на винахід, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму) у Державній службі інтелектуальної власності України, адекватно відображають зміст дисертації. Окремі важливі аспекти дисертаційної роботи пройшли успішну апробацію на 32 наукових конференціях і семінарах як в Україні, так і за кордоном.

8. Автореферат дисертації

За змістом автореферат повністю відповідає дисертаційній роботі. За структурою, обсягом і оформленням дисертація та автореферат відповідають

вимогам, що встановлені до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Зміст дисертації та автореферату відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

9. Зауваження до змісту та оформлення дисертаційної роботи

9.1 У першому розділі бажано було б навести аналіз результатів наукових досліджень відомих українських та зарубіжних наукових шкіл в області вібротехніки з метою визначення і постановки невирішених наукових задач.

9.2 На рівні з представленими графічними амплітудно-частотними характеристиками коливальних систем гідравлічних вібраційних та гідравлічних віброударних машин, у математичних моделях автоколивальних систем наведені діаграма фазової траєкторії робочого органу вібромашини і функціональна умова стійкості автоколивальних, що є недостатнім для всебічного аналізу стійкості роботи даних систем.

9.3 У графо-аналітичному методі визначення стійкості роботи генератора імпульсів тиску використано модель у вигляді лінійного неоднорідного диференціального рівняння третього порядку. Доцільно було б використати модель, в якій би враховувалась також інерційність виконавчого механізму.

9.4 Із тексту дисертаційної роботи не ясно, за допомогою яких програмних засобів було здійснено реєстрацію експериментальних даних, що поступали з АЦП.

9.5 У дисертаційній роботі наголошено, що при функціонуванні гідравлічних вібраційних та гідравлічних віброударних технологічних машин на базі імпульсного приводу в гідросистемі можуть виникати хвильові процеси. Однак, в роботі відсутні результати, що стосуються характеристик відповідних процесів.

9.6 У дисертаційній роботі та авторефераті зазначено, що інтегровано-розрахункове середовище використовує програмний комплекс Matlab, який базується на чисельних методах розв'язання також систем інтегральних рівнянь. Однак не вказується, який додатковий toolbox використовується для цього, оскільки стандартних засобів для розв'язування інтегральних рівнянь в Matlab немає.

9.7 В авторефераті рівняння (6) означається як нелінійний інтегральний вираз, однак інтеграл згортки може використовуватись виключно для опису лінійних об'єктів.

9.8 В тексті автореферату та дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні та орфографічні помилки, що є природним для такого об'єму роботи.

Зазначені зауваження не знижують цінності роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

10. Ступінь використання матеріалів кандидатської дисертації.

Матеріали кандидатської дисертації на тему «Гідроімпульсний привод віброударного пристрою для розвантаження кузовів-самоскидів транспортних засобів», захищеної в 2009 р. у Вінницькому національному технічному університеті за спеціальністю 05.02.02 – «Машинознавство» у докторській дисертації не використовувалися.

Висновок

Дисертаційна робота Іванчука Я. В. «Методи та засоби математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин» є завершеною науковою роботою і відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. За своїм рівнем, обсягом і якістю досліджень вона задовольняє вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук згідно з п.п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою КМУ від 24 липня 2013 року № 567, а здобувач, Іванчук Ярослав Володимирович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформатики
Кам'янець-Подільського
національного університету
імені Івана Огієнка

Федорчук В. А.

