

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук,
професора **Усова Анатолія Васильовича**

на дисертаційну роботу

Іванчука Ярослава Володимировича

«Методи та засоби математичного моделювання гідравлічних
вібраційних і віброударних машин»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю

01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

1. Актуальність обраної теми досліджень. На цей час знаходить широке застосування математичного моделювання робочих процесів в різних технологічних пристроях. Воно дозволяє глибоко досліджувати вплив конструктивних і режимних факторів на основні характеристики роботи пристрою, намітити конкретні шляхи їх покращення, істотно знизивши при цьому об'єми експериментальних досліджень. Одним із перспективних напрямків підвищення продуктивності і якості виготовленої продукції є використання вібротехнологій на основі вібраційного і віброударного обладнання з гідроімпульсним приводом. Дане обладнання дозволяє значно інтенсифікувати протікання ряду технологічних процесів, забезпечує оптимальність параметрів навантаження і забезпечує технологічну обробку з високими якісними параметрами. Однією із проблем при проектуванні гідравлічного вібраційного і віброударного технологічного обладнання є нерівномірність споживання потужності, із-за імпульсної роботи їх привода, і неоднозначність фізико-механічних властивостей оброблювального середовища, що свідчить про принципову складність математичного опису фізичних процесів для ефективного дослідження яких необхідним є використання методів і засобів математичного і комп'ютерного моделювання. Незважаючи на певні досягнення в сфері математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних систем із застосуванням методів припасування і лінеаризації параметрів у системі диференціальних рівнянь, а також припущені про ідеальність енергоносія в системі імпульсного привода, залишаються невирішеними або дослідженими недостатньо. У зв'язку з цим актуальними є задачі, що пов'язані, по-перше, з розробкою узагальненої методології математичного моделювання гідравлічних вібраційних і віброударних машин і, по-друге, з ефективною реалізацією розроблених математичних моделей засобами комп'ютерного моделювання. Успішне розв'язання цих задач визначає один з найважливіших шляхів підвищення

ефективності проектування відповідного типу технологічних систем, до яких, насамперед, треба віднести підвищення достовірності визначення робочих характеристик гідроприводу і можливість розробки систем з покращеними експлуатаційними характеристиками. Тому вважаю цілком вправданим є вибір теми дисертаційної роботи Іванчука Ярослава Володимировича «Методи та засоби математичного моделювання гіdraulічних вібраційних і віброударних машин», що спрямована на розв'язання актуальної науково-технічної проблеми *відсутності узагальненої методології математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування гіdraulічних вібраційних і віброударних машин з урахуванням особливостей цього класу об'єктів для забезпечення високої ефективності проектування відповідного типу технологічних систем.* Дисертант аргументовано та логічно доводить необхідність наукового дослідження в умовах сучасного розвитку методів та засобів математичного моделювання.

2. Об'єкт і мета досліджень, структура роботи. Обравши напрям свого дослідження, автор чітко визначив його мету, яка полягає в підвищенні точності ідентифікації процесів у гіdraulічних вібраційних і віброударних машин шляхом розроблення і впровадження нових, більш ефективних методів і засобів їхнього математичного і комп'ютерного моделювання. Визначивши мету дослідень, дисертантом правильно поставлені наукові завдання, вірно визначені об'єкт, предмет та методологія дослідження.

Дисертація Іванчука Ярослава Володимировича складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 375 найменувань та 11 додатків. Повний обсяг друкованого тексту дисертації становить 578 сторінок, з них 32 сторінки використаних джерел та 219 сторінок додатків. Робота містить 174 рисунків і 48 таблиць. Основний зміст викладено на 283 сторінках друкованого тексту.

У *вступі* автор визначає об'єкт дослідження, формулює проблему, мету й задачі дослідження, обґруntовує актуальність своєї роботи. Крім того, у вступі окреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, охарактеризовано елементи наукової новизни одержаних результатів, їх практичну значущість, висвітлено особистий внесок автора в спільніх наукових публікаціях та наведено дані про апробацію роботи.

У *першому розділі* вивчення сучасного стану математичних методів для розв'язування заявленого класу задач та розвитку гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних систем дало можливість дисертанту обґрунтuvати сутність авторського підходу до вибору методики дослідження, визначити поняття та розкрити сутність зарубіжних та вітчизняних концепцій і моделей задач математичного моделювання технологічних процесів із застосуванням

вібраційних і віброударних технологічних машин, виокремити та проаналізувати підходи до розробки нових методів математичного моделювання, орієнтованих на використання в гідроімпульсних системах. Автор спочатку розглядає теоретико-методологічні основи становлення і розвитку моделювання складних динамічних систем, показує витоки та засади концепцій, моделей і механізмів взаємодії таких систем. Загалом же, перший розділ дисертації можна вважати завершеним дослідженням теоретико-методологічних зasad моделювання складних динамічних систем та їх розв'язання на основі штучної динамічної моделі із приведеними коефіцієнтами для коливальної системи, оскільки саме тут розкривається зміст понять, що досліджуються, окреслюються методологічні підходи, застосування яких є доцільним і необхідним для досягнення поставлених в дисертаційній роботі задач.

У другому розділі дисертації на основі аналізу взаємозв'язку множин конструктивних параметрів гіdraulічних вібраційних та віброударних машин обґрунтовано системний підхід до побудови математичних моделей динамічних процесів та систем. Встановлені закономірності ідентифікації вібраційних та віброударних режимів роботи гіdraulічних технологічних машин, із використанням положень теорії стерео механічного удару і синтезу функцій зовнішньої імпульсної і гармонійної збуджуючих сил. Запропонована класифікація математичних моделей досліджуваних машин за функціонально вираженими в параметричному вигляді умовами необхідності і достатності виникнення вібраційних та віброударних режимів руху виконавчого органу. Розроблена узагальнена методологія до побудови математичних моделей гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних машин в залежності від оператора моделі, на основі механореологічної феноменології оброблюального середовища, а також робочих і конструктивних параметрів привода. На базі розроблених детермінованих і стохастичних математичних моделей гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних машин визначені основні робочі параметри і режими стійкості роботи даних систем. Висунуті гіпотези стосовно визначення області стійкості роботи генератора імпульсів тиску із застосуванням критерію стійкості Гурвіца.

Завдання, на виконання яких спрямовано дослідження в третьому розділі дисертаційної роботи, полягає у використанні просторово-нестаціонарної постановки задачі для удосконалення математичної моделі динаміки процесів та систем гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних машин із використанням основних положень гідродинаміки, в поєднанні із основними положеннями теорії пружності і пластичності твердого тіла та

механореологічної феноменології. Удосконалені математичні моделі технологічних процесів: вібротранспортування, поверхневого ущільнення, руйнування гірської породи і занурення паль. На основі ідентифікації математичних моделей інерційної вібротрамбовки запропонований підхід до оцінки ефективності функціонування технологічних комплексів із використанням методів системного аналізу і положень теорії нечіткої логіки.

Матеріали, що викладені в *четвертому розділі*, присвячені розробці нових підходів до розв'язання ефективних чисельних методик для розв'язку багатомірної системи рівнянь нерозривності і Нав'є-Стокса при помірних числах Рейнольдса, яка здатна досить точно описати локальні властивості течій. Різницева схема даного методу дозволяє розраховувати поле течії без використання значень вихору і тиску на твердій поверхні. Обґрунтовано математичний метод чисельного розв'язування рівнянь гідродинаміки для турбулентного режиму руху робочої рідини.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячений комплексним експериментально-теоретичним дослідженням робочих процесів інерційної вібротрамбовки для поверхневого ущільнення ґрунтів, які дозволили розробити методику експериментального дослідження робочих процесів в гідроімпульсному приводі, а також технологічних характеристик оброблюваного середовища, що дозволило виконати порівняльний аналіз із результатами чисельного моделювання. Статистичний аналіз експериментальних даних дозволив визначити оптимальні технологічні параметри режиму роботи пристрою для отримання високих показників середньої щільності та відносного коефіцієнту ущільнення оброблюваного ґрунтового матеріалу.

У *шостому розділі* дисертантом запропоновано методики моделювання та її застосування до розв'язання прикладних задач. Застосування технології «клієнт-сервіс», в даній методиці дозволяє реалізувати відповідний чисельно-розрахунковий метод розв'язку математичних моделей із використанням методів імітаційного моделювання і з можливістю доцільного вибору алгоритмів стосовно властивостей конкретного завдання. Отримані результати комп'ютерного моделювання розроблених математичних моделей динамічних процесів та систем гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних машин дозволили розробити рекомендації для проектних розрахунків головних параметрів генератора імпульсів тиску. Виконаний аналіз адекватності та ефективності розроблених математичних моделей.

Загальні висновки дисертаційної роботи структуровані, відповідають завданням і у концентрованому вигляді коректно відображають основні

досягнення дисертанта, чим доводиться, що мета роботи досягнута і всі поставлені завдання виконано.

Для вирішення поставлених завдань автор залучив джерельну базу, що складається із 373 найменування. Використання цих матеріалів забезпечило належну обґрунтованість головних положень дисертаційного дослідження, висновків і пропозицій автора. Дисертаційне дослідження чітко структуроване. Як результат – логічний та зрозумілий виклад стану розвитку проблем моделювання гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних систем та визначення передумов для їх розв'язання. Таким чином, дисертація написана за логічно побудованим планом, має чітку структуру, що дозволило автору в повному обсязі розкрити тему дослідження, послідовно проаналізувати всі основні питання і успішно завершити свою наукову роботу.

3. Оцінка новизни наукових положень дисертації, їх обґрунтованості та достовірності. Слід зазначити, що автору вдалося поєднати декілька наукових підходів, що відносяться до розв'язання проблеми математичного моделювання гіdraulічних вібраційних та віброударних технологічних систем, з-поміж яких – концепція побудови математичної моделі за допомогою стаціонарної неавтономної коливальної системи зі скінченим ступенем вільності на основі лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, в яких функція вільного члена представлена у вигляді лінеаризації функції збуджуючої сили, концепція побудови математичної моделі системи оцінювання ефективності функціонування технологічних комплексів, яка 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, а також розробка інтегровано-розрахункового програмного середовища 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.

Як нові наукові результати дисертантом висунуті такі положення узагальненої методології математичного моделювання процесів функціонування гіdraulічних вібраційних та віброударних машин в якій:

1. Вперше розроблено графо-аналітичний метод визначення області стійкості роботи генератора імпульсів тиску на основі критерію стійкості Гурвіца для лінійного неоднорідного диференціального рівняння третього порядку, як форми представлення математичної моделі руху запірного елемента клапана-пульсатора, для визначення енергетичних співвідношень приводу для виникнення різних типів коливальних процесів;

2. Вперше розроблено метод статистичної лінеаризації, в якому застосовуються комплексні амплітуди та інтеграл ймовірностей у вигляді функції Крампа, у стохастичних математичних моделях гіdraulічних віброударних систем за допомогою спектральної форми амплітудно-частотних характеристик, де функції силової взаємодії робочих органів ПП представляють собою стаціонарний нормальний випадковий процес;

3. Вперше розроблено метод чисельного моделювання гідродинамічних процесів, який 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;

4. Вперше розроблено математичну модель гіdraulічних вібраційних та віброударних машин за допомогою стаціонарної неавтономної коливальної системи зі скінченим ступенем вільності на основі лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, в яких функція вільного члена представлена у вигляді лінеаризації функції збуджуючої сили, як характеристика використованого типу приводу, а лінеаризовані коефіцієнти виражають як тип силових зв'язків елементів приводу, так і реологічні властивості технологічно оброблюваного середовища;

5. Вперше розроблено математичну модель вібраційних та віброударних систем, яка представлена у формі функції одиничного стрибка Хевіайда 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;

6. Вперше запропоновано 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;

7. Вперше удосконалено математичні моделі динаміки процесів та систем гіdraulічних вібраційних та віброударних машин, у формі просторово-нестаціонарної 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;

8. Вперше запропоновано критерій визначення типу гідравлічних вібраційних та віброударних систем за їх режимом руху виконавчої ланки, який базується на синтезі функцій зовнішньої імпульсної і гармонійної збуджуючих сил із використанням положень теорії стерео механічного удару, що дає змогу синтезувати та ідентифікувати математичні моделі в залежності від типу визначених систем;

9. Вперше розроблено математичну модель системи оцінювання ефективності функціонування технологічних комплексів гідравлічних вібраційних та віброударних машин, яка 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.

4. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені узагальнені методики та засоби комп'ютерного моделювання спрямовані на розв'язування широкого кола прикладних задач і дозволяють підвищити точність, продуктивність й ефективність математичного моделювання.

Результати дисертаційного дослідження використано в рамках виконання держбюджетної тематики кафедр галузевого машинобудування і комп'ютерних наук ВНТУ. Запропоновані автором обчислювальні методи, алгоритми і методики застосовуються на науково-виробничому підприємстві ПАТ «Барський машзавод» (м. Бар, Вінницька область), SoftXpansionGmbH&Co.KG (Німеччина), ТОВ «ACK-MET», ТОВ «БУДФОНДІНВЕСТ», ТОВ «Шляхбуд», а також в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. При цьому, математичні моделі, методи й апаратні засоби реалізовано у вигляді програмного продукту та промислових зразків, що дозволило використовувати їх у діяльності підприємств, науково-дослідних організаціях та вищих навчальних закладах.

5. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, їх достовірність і новизна обумовлені використанням сучасних експериментальних методів дослідження, їх несуперечністю сучасним теоретичним уявленням і результатам досліджень інших авторів, модельними розрахунками на «клієнт-серверній» багатопроцесорній обчислювальній системі та використанням апробованих програмних засобів для обробки результатів експерименту.

Загалом наукове дослідження Іванчука Ярослава Володимировича характеризується структурованістю, методичною завершеністю та чіткістю зроблених висновків. Послідовно і логічно розкриваються, аналізуються й аргументуються положення, винесені на захист. Їх зміст доказово

розкривається за допомогою методів емпіричного та теоретичного дослідження. На основі глибокого аналізу об'єкта дисертаційного дослідження, наукової розробки та інтерпретації автор доходить точних теоретичних висновків.

6. Повнота викладу результатів в опублікованих роботах здобувача.

Основні положення дисертації мають достатню апробацію та досить повно висвітлені в фахових наукових виданнях України й матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. Найважливіші результати та положення дисертаційної роботи знайшли відбиття в 2 монографіях, навчальних посібниках, 30 статей у спеціальних виданнях, були повідомлені більш ніж на 30 наукових конференціях. Високу наукову активність здобувача підтверджує той факт, що більшість ключових робіт, які відбивають сутність дисертації, опубліковано без співавторів.

7. Зауваження по дисертації та авторефератуПозитивно оцінюючи

представлену дисертацію як результат наукового дослідження важливої проблеми, слід висловити ряд міркувань і зауважень, які мають бути розглянуті при захисті і зможуть допомогти автору в його подальшій науковій роботі.

1. У першому розділі дисертації, в якому проводиться аналіз стану проблеми мають місце наведені формули без посилань на літературні джерела, з яких вибране приведене співвідношення. Наприклад, стор.54 , формула (1.11)

2. При виборі напрямку та обґрутування задач дослідження здобувач свідомо обмежив дослідження побудовою одновимірних математичних моделей динамічних процесів та систем ГВ та ВУ машин, тим самим не забезпечив можливості застосування більшої кількості параметрів досліджуваних об'єктів.

3. При визначенні коефіцієнта k формула (2.12) стор.101 не вказано фізичний сенс коефіцієнта γ пропорційності сили жорсткості.

4. Сторінка 103, формула (2.16) не є рівнянням. Це розв'язок рівняння (2.15) при вказаних умовах. Те ж саме зауваження відноситься і до формули (2.17) (стор. 104), яку здобувач називає рівнянням.

5. У формулі (2.41) стор. 113 інтегрування виконується по змінній p а не s .

6. Стор. 120 інтеграл за формулою (2.57) залежить від параметру n а змінна ϕ це змінна визначеного інтегрування.

7. Стор. 139, права частина формули (2.120) в операторній формі Лапласа залежить від p ,а не від t . Те ж саме зауваження відноситься і до формули (2.187) (стор.156), права частина якої має залежити від p .

8. Стор. 163. Вираз «Як відомо, нелінійні рівняння, що мають вигляд (2.216) не мають регулярних методів розв'язку». Точніше і зрозуміліше було б записати аналітичних методів розв'язку.

9. Рис. 2.31, стор. 167. Не зрозуміло на основі яких теоретичних залежностей побудована діаграма робочого циклу ГП гіdraulічних вібраційних і ГВУ машин.

10 Стор. 181. Написано «При руху моделі вантажу по вісі оу...». Правильно було б написати « При русі вантажу в напрямку вісі ОУ модель є наступною...». На стор.184 невдалим є вираз «У момент t_n відбувається падіння моделі вантажу на вантажонесучий орган...»

11.На стор.199-200 наведена математична модель технологічного процесу руйнування гірської породи навісним віброударним пристроєм. Як відомо, сама модель не повністю інформативна, якщо відсутній аналіз її розв'язків, які можна використати для конструювання відповідного устаткування. Тому крім моделі, яка детерміновано описує поведінку об'єктів ГВ і ГВУ необхідно було б привести розв'язки , що дають можливість раціонального проектування параметрів відповідного обладнання і формулювати критерії управління процесами. Таке зауваження має місце і до математичної моделі технологічного процесу занурення паль навісним віброударним пристроєм (стор.216)

12. Стор. 248-249 у виразах для F і G u_x, u_y — скалярні величини. Тому верхня риска як ознака векторної величини непотрібна.

13. Аналіз літературних джерел, використаних здобувачем показав, що із 373 джерел немає посилань на підручники та монографії останніх років видання. Так, підручник «Моделювання та оптимізація систем» авторів Дубового В.М., Кветного Р.Н. та інш. 2017 р., монографія Оборського Г.О. «Моделирование систем», видавництва Астропринт, Одеса ,2013р. та інші залишилися поза увагою здобувача.

14. Додаток В Чисельне моделювання гідродинамічних процесів було б більше наглядним, якби виконувалось в програмному середовищі Symlink matlab.

Висновок про відповідність дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту.

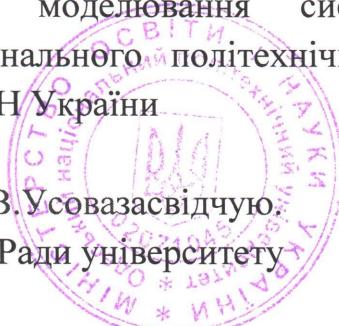
Відмічені зауваження, на наш погляд, суттєво не знижують загальної позитивної оцінки наукової роботи пана Ярослава Іванчука. У цілому, дисертація характеризується високим науковим рівнем і новизною, строгим логічним обґрунтуванням, має важливе наукове і практичне значення. Автореферат відповідає змісту дисертації, а також всім нормативним вимогам до такого роду наукового продукту. Дисертація та автореферат написані грамотно, з урахуванням існуючих вимог до оформлення дисертаційних робіт. Виклад змісту дослідження логічний і послідовний.

Дисертація Іванчука Ярослава Володимировича Методи та засоби математичного моделювання гіdraulічних вібраційних і віброударних машин»,

відповідає спеціальності 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи, профілю спеціалізованої вченого ради Д 05.052.01 Вінницького національного технічного університету. За актуальністю розглянутих задач, обсягом дослідження, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає діючим вимогам до докторських дисертацій. На наш погляд дисертація Іванчука Я. В. є самостійною, завершеною науковою роботою, в якій зроблено суттєвий внесок до розв'язання проблеми, що має істотне значення для науки і техніки, відповідає вимогам п.п. 9,10,12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, Міністерства освіти і науки України, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

Лауреат Державної премії України в області науки і техніки, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики та моделювання систем Одеського національного політехнічного університету МОН України



А. В. Усов

В.І. Шевчук

Підпис проф. А. В. Усова за свідчую.
Вчений секретар Ради університету