

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри „Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин” Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), доктора технічних наук, професора Ткачука Миколи Анатолійовича на дисертацію Нісонського Володимира Павловича **„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 дисертації.

Вібраційні технології на сучасному етапі знайшли широке застосування у різних галузях діяльності. Відповідно, необхідно проводити аналіз процесів у динамічних системах, що породжуються. Серед них значне місце посідають віброударні системи, які є суттєво нелінійними. При цьому суттєва нелінійність полягає у тому, що приходимо до розгляду т. з. «негладких систем». У них залежність сил взаємодії між елементами досліджуваної системи має розриви та переломи. Відповідно, до аналізу динамічних процесів, які збуджуються у таких системах, традиційні методи інтегрування рівнянь руху непридатні. Отже, актуальною задачею є розробка та розвиток математичних моделей та обчислювальних методів визначення часових розподілів узагальнених координат, швидкостей та сил у перехідних та усталених процесах. Якраз на розв’язання такої задачі спрямована дисертаційна робота Нісонського В. П. Крім того, слід зазначити, що ця задача має й суттєве практичне значення, зокрема, підтверджене на прикладі віброагрегатів для ливарного виробництва, що обрані як ілюстративні об’єкти і для яких необхідність урахування віброударних процесів зумовлене характером їх функціонування.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

дацій, сформульованих у дисертації.

Автором дисертації проведено глибокий і всебічний аналіз стану питання комп'ютерного моделювання динаміки елементів віброударних систем. Виявлені проблемні питання, що не знайшли розв'язання попередніми дослідниками. Це було враховано при визначенні мети і задач дисертаційних досліджень.

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове розв'язання актуальної наукової задачі, що має важливе значення для математичного моделювання та обчислювальних методів.

При цьому застосуванні, розвинені та адаптовані математичні моделі та обчислювальні методи, які є достатньо обґрунтованими й апробованими. Усі розробки базуються на використанні строгого математичного апарату. Проведено аналіз впливу окремих чинників на поведінку систем, що досліджуються. Він продемонстрував задовільну узгодженість отримуваних результатів із результатами інших дослідників. Крім того, для чисельного інтегрування систем диференціальних рівнянь залучено високоточні методи, зокрема, 4-крокова схема Адамса. Проведена оцінка похибки, що потенційно може накопичуватися при здійсненні обчислень. На конкретних прикладах продемонстровано, що рівень похибки незначний і не чинить суттєвого спотворюючого впливу на фізичну картину процесів, які моделюються.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням автором математичного апарату аналітичної механіки, методів розв'язання систем диференціальних рівнянь, числових методів їх інтегрування.

Таким чином, наукові положення, сформульовані у дисертації, достатньо коректні, результати – достовірні, а висновки та рекомендації, сформульовані на їх основі – обґрунтовані.

Робота має безпосередній зв'язок з науковими програмами, планами, темами, зокрема, вона втілена при проведенні наукових досліджень в рамках науково-дослідної держбюджетної теми: «Механіко-математичне моделювання контактної взаємодії в оболонково-стрижневих системах з ура-

хуванням сухого тертя та закриття тріщин», Державний реєстраційний номер теми 0197 U 008957.

Мета і завдання дослідження сформульовані задовільно та відповідають заявленій темі. Проте варто зазначити, що серед переліку завдань відсутній пункт «Огляд сучасного стану методів математичного моделювання віброударних систем та вибір напрямків досліджень. Крім того, на мій погляд, деякі із пунктів переліку можна було б об'єднати (наприклад, п.п. 4 та 5: «...чисельні розрахунки...», «...побудова графіків залежностей...», див. стор. 2 автореферату).

Об'єкт та предмет дослідження відповідають, з одного боку, темі, меті та завданням, а з іншого, – подальшому змісту, викладеному в основних розділах дисертації. Як варіант, можна було б додати до предмету досліджень «...на основі чисельного інтегрування рівнянь руху».

Здобувач продемонстрував глибоке володіння методами математичного моделювання та чисельного розв'язування системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь.

Положення наукової новизни в цілому сформульовані задовільно. Проте в частині виокремлення саме того нового, що відрізняє результати досліджень від раніше відомих, хотілось би бачити більш конкретні формулювання, які не заставляють звертатися за уточненням до тексту основних розділів. Також було б доцільно словосполучення «дозволяє», яке зустрічається у пунктах наукової новизни, замінити на синоніми, наприклад, «що уможливорює» тощо.

Практичне значення результатів роботи незаперечне. По-перше, воно зумовлене потенційною застосовністю до дослідження широкого класу віброударних машин. По-друге, у дисертації містяться рекомендації, які можуть бути використані при створенні віброграток. І по-третє, розробки, описані у роботі, уже впроваджені та знайшли використання при виготовленні віброударних граток на ПАТ «Азовзагальмаш», м. Маріуполь.

Із аналізу змісту роботи і публікацій, а також із виступів на конферен-

ціях та особистого спілкування можна зробити висновок, що дисертаційні дослідження здійснені здобувачем самостійно.

Апробація дисертаційної роботи має широкі географічні, хронологічні рамки. Вони оприлюднені на багатьох конференціях упродовж більш ніж чвертьстолітнього періоду.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано у 26 наукових працях: тринадцять статей у наукових виданнях (чотири одноосібного авторства), дві роботи задепоновано; 10 тез доповідей міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій. 3 статті входять до наукометричної бази SCOPUS, 13 – до фахових видань. Одержано один Патент України на винахід.

Таким чином, за кваліфікаційними ознаками дисертація відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, а за рівнем – ступеню кандидата наук.

Дисертація складається з титульного аркушу, анотацій, змісту, вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 191 сторінку, основна частина складає 131 сторінку. Список використаних джерел містить 183 найменування на 21 сторінці. Дисертація містить 49 рисунків та 2 таблиці.

У вступній частині обґрунтовано актуальність, важливість і новизну теми, міститься загальна характеристика роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, наведено основні напрямки та методи їх розв'язання, викладено положення, що визначають наукову новизну і практичне значення роботи, описана її структура.

У першому розділі автор розглядає стан методів математичного моделювання віброударних процесів в механіці та теорії коливань, окреслює проблеми математичного моделювання віброагрегатів з ланцюгово-розгалуженим з'єднанням твердих тіл, описує аналіз недоліків існуючих методів математичного моделювання динамічного режиму роботи промислових віброагрегатів, а на цій основі – здійснює постановку задач дослідження.

Слід зазначити, що здобувач здійснив аналіз робіт багатьох авторитетних вчених. Проте варто було би залучити до огляду більшу кількість сучасних робіт зарубіжних дослідників.

У другому розділі описана математична модель багатосекційного вібраційного агрегату з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання інерційних тіл. На основі технології формування рівнянь Лагранжа 2-го роду побудовано розв'язувальну систему співвідношень у вигляді звичайних диференціальних рівнянь. Наведено матричне подання розв'язувальної системи рівнянь. Таким чином, розроблена узагальнена математична модель руху для віброударних систем, що досліджуються. Разом із тим суттєвим обмеженням є припущення про плоскопаралельний рух елементів системи. Проте слід зазначити, що для систем, які досліджуються в роботі, якраз такий характер руху є домінуючим.

У третьому розділі описана взаємодія технологічного вантажу з робочими органами віброґраток. Саме розглянуті та обґрунтовані моделі ударно-контактної взаємодії є джерелом визначальних особливостей віброударних систем, що досліджуються. Вони задають умови односторонніх обмежень при взаємодії технологічного вантажу та робочих органів віброґратки. Розглянуто три варіанта контакту. Цим самим забезпечено моделювання реальних фізичних процесів.

Дещо випадає із загальної канви опис схеми пристрою для вивчення явища самосинхронізації в динамічних системах, хоча це є важливим феноменом нелінійних систем подібного типу.

У четвертому розділі описані чисельні розрахунки динамічного режиму роботи віброагрегату. Виконано розрахунки режиму роботи динамічного віброагрегата для випадку, коли технологічний вантаж віброагрегата взаємодіє з робочими органами інерційно-ударних вибивних ґраток за наявності в'язкого опору. Результати викладені із наведенням часових розподілів контрольованих величин та фазових портретів досліджуваних віброударних систем. Здійснено варіювання параметрів системи та визначено їх вплив на

характер руху та його особливості. Зокрема, проаналізовано вплив в'язкого тертя на усталений рух віброударної системи. Продемонстровано наявність стійких періодичних режимів руху. Визначено також параметри системи, які забезпечують інтенсивні віброприскорення вантажу, що є позитивним чинником для якісного здійснення технологічних операцій на віброгратці. Також наведено оцінку похибки, яка допускається при чисельному інтегруванні системи диференціальних рівнянь.

У п'ятому розділі описані імітаційна модель динамічного режиму роботи віброгратки типу 31327 та результати імітаційного моделювання динамічного режиму її роботи. Наведені візуалізовані результати досліджень, які надають повне уявлення про модельований процес. Проаналізовано взаєморозташування віброгратки та технологічного вантажу упродовж циклу здійснення технологічної операції.

У висновках описані основні наукові результати, отримані здобувачем, з виокремленням відмінностей та переваг над результатами інших дослідників.

Оцінюючи рукопис дисертації Нісонського В. П. в цілому, слід зазначити, що матеріали досліджень викладені чітко, послідовно, логічно. Термінологія в основному залучається загальноприйнятна. У роботі міститься достатня кількість ілюстрацій, що дає змогу чітко сприймати зміст. Стиль викладу матеріалу зрозумілий та доступний.

Автореферат дисертації повною мірою відображає зміст дисертації та дає достатнє уявлення про основні її положення.

У роботі та в авторефераті містяться усі необхідні компоненти, передбачені чинними нормативними документами.

До дисертації, крім зазначених вище, можна зробити низку зауважень.

1. Серед переліку завдань дисертаційної роботи, як зазначалося, відсутній пункт відносно аналізу стану методів математичного моделювання віброударних систем, хоча цьому присвячено розділ 1. Це, звичайно, традиційний розділ, проте попередню аналітичну роботу було би варто перелічити серед завдань дисертації, оскільки вона є базовою при визначенні на-

прямоків досліджень, описаних у подальших розділах.

2. Обсяг дисертації розподілено за розділами нерівномірно, їх обсяги відрізняються у декілька разів. Звичайно, це викликане логікою викладу матеріалу. Проте було б бажано збалансувати матеріал, наприклад, за рахунок збільшення розділу 5. Це тим більш доцільно, що в цьому розділі міститься опис імітаційного моделювання віброгратки 31327, який є важливим не тільки для науковців, але й для практиків.

3. Серед висновків за роботою відсутній пункт про стан проблеми в літературі та аргументація щодо вибору напрямків дисертаційних досліджень.

4. У роботі здійснена оцінка похибки чисельного інтегрування методом Адамса. Це – позитивний момент. Разом з тим ця оцінка здійснена за певних значень параметрів системи та часового кроку дискредитації. Було би бажано, звичайно, отримати більш загальні оцінки для широкого діапазону варіювання параметрів віброударної системи та схеми інтегрування, що застосовується.

5. Підрозділ 3.4 «Адекватність та точність моделей контакту» викладено всього у кількох абзацах незначним обсягом тексту. Крім того, що цього занадто мало для такого важливого питання, сама аргументація є неповною. Висновок про адекватність та точність моделі контакту у кінцевому підсумку можна здійснити тільки при порівнянні результатів моделювання із експериментальними даними. Цього ж немає. Натомість присутня теза про ідеалізацію пружних сил лінійними залежностями (стор. 102 дисертації, другий рядок першого абзацу). Якраз правомірність такої ідеалізації хотілося б визначити, тим більше, що в літературі присутня велика кількість моделей ударно-контактної взаємодії, що породжує питання про застосовність у цьому випадку саме лінійних апроксимацій пружних сил. Проте це питання – щодо фізичного закону. Здобувач же розробив методологію урахування нерівномірного місцевого деформування, яка (в принципі) придатна для будь-яких фізичних законів ударно-контактної взаємодії. Саме в цьому полягає вклад здобувача: усувається одна із причин неадекватності інших моделей, що раніше застосовувалися.

Також слід було б у тексті чітко визначити поняття «власні частоти механічної системи», тобто стосовно якої лінійної системи відноситься цей термін. Крім того, часто вживаються терміни «найпростіша модель» (наприклад, стор. 91, 92), «простіші схеми» (наприклад, стор. 11 автореферату, шостий рядок знизу); їх теж було б доцільно описати.

6. Стосовно висновків слід також зробити зауваження, що декілька перших із них майже дослівно повторюють формулювання пунктів наукової новизни. Варто взяти до уваги, що висновки є самостійним структурним елементом дисертації, хоча й, безперечно, пов'язані із нею, тому вони висвітлюють відповідний аспект роботи.

7. У тексті дисертації та автореферату зустрічаються деякі описки, нечіткості, недостатня аргументація, стилістичні огріхи. Так, на рисунках 1, 2 (стор. 7 автореферату) – занадто дрібні буквені та числові позначення. На стор. 16 автореферату (11-й рядок знизу) – лишня крапка після речення тощо. На стор. 14 автореферату не пояснені позначення у формулах (13), які відповідають формулам (4.17) (стор. 128 дисертації). До речі, у самій дисертації щодо величини « Δ » зазначено лише те, що це «вираз, що містить сталі $C_{13, \dots}$ ».

Вказані зауваження і недоліки можуть слугувати підґрунтям для розгорнутої дискусії під час захисту дисертаційної роботи, але не знижують загальної позитивної оцінки дисертації

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її чинним вимогам.

Дисертаційна робота Нісонського В. П. є завершеною науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати – математичні моделі та обчислювальні методи та їх реалізація стосовно віброагрегатів, що дають можливість на стадіях проектування забезпечити їхні високі технічні характеристики. Отримані у дисертації результати знайшли широке використання в науці, машинобудуванні та інших галузях України при створенні конструкторських та технологічних рекомендацій щодо підвищення технічних харак-

теристик машин різного призначення.

Вирішена вагома наукова задача, її наукова новизна, а також практична спрямованість отриманих результатів та їх широке промислове запровадження у сукупності мають суттєве значення для науки та для народного господарства України, що підтверджує відповідність дисертаційної роботи чинним вимогам.

Вважаю, що в дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМ України № 567 від 24.07.13 р., та відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, а її автор, Нісонський Володимир Павлович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор

М.А.Ткачук

Підпис Ткачука Миколи Анатолійовича засвідчую:

Вчений секретар НТУ «ХПІ»
д.т.н., доц.



О.Ю.Заковоротний