

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шевченка Сергія Станіславовича «Математичні моделі процесів в системах герметизації відцентрових машин», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – “Математичне моделювання та обчислювальні методи”

Актуальність теми.

Одною із актуальних проблем сьогодення є забезпечення надійності складних технічних об'єктів (систем) та прогнозоване продовження тривалості їх безпечної експлуатації в складних умовах експлуатації. В поточний час існує тенденція підвищення одиничної потужності енергетичних об'єктів за досягнення більш високих показників їх енергоефективності. Відповідно підвищується напруженість складних процесі перетворення енергії в таких об'єктах, що не завжди може бути встановлено шляхом експериментальних досліджень та потребує застосування методів математичного моделювання. Необхідною складовою таких процесів і об'єктів є побудова складних технічних систем передачі та розподілу енергії за допомогою відцентрових машин різноманітного характеру та конструкції. Суттєві змінні складної системи перетворення енергії, що визначають ефективність сучасних відцентрових машин, складаються, в основному, в параметрах швидкості обертання ротора та тиску ущільнюваної рідини, які мають тенденцію щодо зростання. Але підвищення швидкості обертання ротора відцентрових машин призводить до необхідності вирішення складного завдання впливу зростаючого рівня вібрацій. Відповідно, підвищення тиску рідини в ущільнюючій системі призводить до необхідності врахування стисливості рідин, яка у відомих моделях при менших значеннях тиску розглядалася як нестислива, що загалом становить ще не вирішену проблему. Ущільнюючі системи, як необхідна складова систем передачі енергії, суттєво впливають на технічний стан та вібраційні характеристики роторів відцентрових машин, і тому створення сучасних відцентрових машин потребує використання ефективних ущільнюючих систем, що можуть включати різні типи ущільнень та їх поєднання. Проектування ущільнюючих систем, що відповідають підвищеним вимогам по режимним параметрам, потребують створення відповідних математичних моделей процесів їх динаміки. Головною умовою придатності таких математичних моделей є їх адекватність задля вирішення завдання забезпечити для всіх видів ущільнень умови відсутності резонансних коливань ротора, що, в свою чергу, вимагає встановлення області стійкості та розробки моделей гідромеханічних системи ротор-ущільнення за їх різновидами, зокрема, з метою отримання амплітудних та

фазових частотних характеристик і умов динамічної стійкості.

Вважаю, що розробка моделей, методів розрахунку і конструювання ущільнювачів як складових герметизуючих систем з метою досягнення компромісу між вимогами щодо герметичності і вібраційної надійності з урахуванням коливальних процесів, обумовлених гідродинамічними характеристиками ущільнювачів, є актуальною науково-прикладною проблемою.

Актуальність теми дисертаційної роботи Шевченка Сергія Станіславовича, науково-прикладної проблеми та значимість і перспективність отриманих результатів підтверджується також тим, що робота виконувалася згідно цільової програми НАН України, а також у відповідності з рядом науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, де автор був виконавцем етапів та відповідальним виконавцем, що зазначено в дисертаційній роботі та підтверджено актами про впровадження, дані про які наведені в дисертації.

Структура та зміст дисертації.

Дисертацію викладено на 407 сторінках. Робота складається зі вступу, основного змісту, що включає шість розділів, висновків, списку використаних джерел з 182 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг основної частини 380 сторінках (без списку літератури та додатків).

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та визначено основні задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, описано короткий зміст дисертації. Обґрунтована актуальність теми дослідження, встановлений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульована мета роботи, основні напрями досліджень і методи їх вирішення.

Надані опис об'єкту і предмету досліджень, наведені відомості про апробацію результатів роботи і публікації.

У вступі автором застосовано визначення: “проблема герметизації роторів відцентрових насосів і компресорів, в яких перекачується рідке або газоподібне середовище під великим тиском є складною науково - прикладною проблемою сучасного машинобудування”, с.29: та “ Таким чином, розробка моделей, методів розрахунку і конструювання ущільнень як складових герметизуючих систем на основі створення їх моделей і їх конфігурування (послідовного розміщення) з метою досягнення гармонізації між герметизацією і вібраційною надійністю з урахуванням коливальних процесів, обумовлених гідродинамічними характеристиками ущільнень, є актуальною науково - прикладною проблемою ”, с.31,і, таким чином, не співпадають.

У першому розділі надано аналіз існуючих підходів, методів та засобів до моделювання та проектування ущільнюючих пристроїв відцентрових машин.

Загалом такий огляд виконано ґрунтовно та дуже кваліфіковано, що характеризує автора як дослідника, що володіє сучасними методами досліджень в предметній галузі. Встановлені важливі питання побудови моделей різних ущільнювальних систем з метою, за термінологію автора, гармонізації функцій герметизації і підвищення динамічної жорсткості роторів відцентрових машин. Надані складові підпроблем побудови моделей ущільнень відцентрових машин у відповідній послідовності, а саме: створення моделей контактних ущільнень – сальникових і торцевих механічних для встановлення умов герметизації і подальшого їх дослідження; побудова математичної моделі ущільнення з саморегульованим моментом в парі тертя; створення математичної моделі імпульсного торцевого ущільнення, розробка математичної моделі жорсткого ротора з автоматичним урівноважуючим пристроєм, що становить основу для подальшого аналізу вимушених коливань ротора, розробка математичної моделі динамічної системи «ротор – щілинні ущільнення» та подальшого математичного аналізу динаміки такої системи з метою врахування при виборі конструкцій щілинних ущільнень забезпечувати необхідні вібраційні характеристики ротора. Обґрунтовано необхідність проведення подальших досліджень в напрямку розроблення теорії побудови моделей герметизуючих систем відцентрових машин із врахуванням особливостей їх впливу на вібраційний стан роторних машин, а також проведено аналіз робіт, пов'язаних з темою наукового дослідження.

Але висновки до розділу не містять необхідних узагальнень, фактично лише повторюють формулювання науково-прикладної проблеми та загальні завдання моделювання у вигляді “ Методи моделювання і комп’ютерні технології побудови складних ущільнюючих систем є важливою складовою інструментальних засобів для її вирішення. Створення математичних моделей та отримання аналітичних залежностей, що описують процеси в системах герметизації, є базою для створення науково обґрунтованих методик конструювання складних ущільнюючих систем. ”

У другому розділі, що присвячено математичним моделям процесів у контактних ущільненнях, наведено класифікація ущільнень роторних машин, базові параметри, за термінологією автора, що характеризують роботу ущільнень, розгляд математичного опису процесів у сальникових ущільненнях, торцевих механічних ущільненнях, ущільнення з саморегульованим моментом тертя.

Зокрема, запропоновано класифікацію ущільнюючих систем роторних машин, яка має важливі ознаки узагальнення, запропоновано математичну модель сальникового ущільнення як поєднання кільцевого дроселя зі змінним зазором і ділянки контакту набивки з валом, виконано аналіз

процесів у сальниковому ущільненні: а саме, вирішена задача гідропружності набивки і отримано математичний опис, що встановлює розподіл зазору і тиску рідини по довжині пакета набивки; обчислювальними методами визначено співвідношення довжин ділянок зазору і контакту, а також розподіл контактного тиску в залежності від тиску ущільнюваної рідини, розмірів і фізико-механічних властивостей набивки; отримано математичний опис процесів протікання рідини через радіальне сальникове ущільнення. В математичній моделі враховано радіальні і кутові зміщення осі валу щодо осі сальникової коробки, які призводять до виникнення додаткових контактних тисків набивки на вал.

Запропоновано гіпотезу, що, на основі проведених досліджень вирівнювання контактних тисків не тільки по довжині пакета набивки, але і по колу є суттєвим резервом підвищення ресурсу ущільнення.

Запропоновано і обґрунтовано математичну модель торцевого сальникового ущільнення та виконано аналіз розподілу гідростатичного тиску і зазору по радіусу стику. Отримано математичний опис для визначення втрат потужності на тертя і проведено їх порівняння з втратами потужності в традиційній конструкції радіального сальника. Вирішено важливе завдання встановлення залежностей для проведення теплового розрахунку торцевого сальникового ущільнення. Математична модель процесів торцевого механічного ущільнення дозволила запропонувати методику розрахунку робочих параметрів, як динамічної системи, для врахування експлуатаційних факторів на етапі його проектування. Для високонавантажених швидкохідних машин, при роботі яких високе тепловиділення в торцевих щілинах ущільнюючих вузлів викликає значні температурні деформації ущільнюючих поверхонь кілець торцевої пари, з метою забезпечення успішної розробки працездатних вузлів торцевих ущільнень запропоновано вирішені задачі розрахунку тепловиділень і деформацій в ущільнювальній парі.

Запропоновано та обґрунтовано методику статичного розрахунку ущільнень з системами саморегулювання тиску. Отримано математичний опис для розрахунку характеристик ущільнень з системою саморегулювання, що дає можливість враховувати експлуатаційні параметри на етапі їх проектування.

Розроблено математичну модель процесів герметизації сальникового ущільнення, як поєднання двох послідовно розташованих гідравлічних ущільнень – передвключеного ущільнення, аналогічного щілинному дроселю, і контактного ущільнення, де відбувається безпосередня герметизація вала. Запропоновано послідовність розрахунку напруженого стану набивки шляхом вирішення задачі гідропружності.

Математична модель процесів взаємодії змінних в ущільненні ґрунтується на спільному вирішенні системи диференціальних рівнянь руху робочого тіла, нерозривності течії, стану і енергії, що описують гідро-і

термодинамічні процеси в ущільнювальному тракті і зміни параметрів руху системи.

Запропоновано методики розрахунку навантажень в парі тертя торцевого ущільнення, протікання ущільнюваної рідини, втрат потужності на тертя в торцевій парі, а також деформацій кілець ущільнень, що дозволяє враховувати експлуатаційні фактори, що впливають на роботу ущільнення,

Зроблені висновки логічно випливають з проведеного в розділі аналізу та розробки основних питань і відповідають змісту.

Але висновки до розділу не містять постановки та конкретизацію завдань дослідження.

У третьому розділі розглядається моделювання щілинних ущільнень з урахуванням їх впливу на динаміку ротора та призначення щілинних ущільнень, дослідженню математичних моделей таких об'єктів у вигляді амплітудних та фазових частотних характеристик вимушених коливань ротора в щілинних ущільненнях, та питань умов сталості досліджуваних об'єктів. Зокрема розглянуті принцип роботи і призначення щілинних ущільнень, запропонована узагальнена розрахункова математична модель щілинного ущільнення; встановлений вплив щілинних ущільнень на динаміку ротора відцентрової машин та гідромеханічна система «ротор - щілинні ущільнення», розглянуті радіально-кутові коливання ротора в щілинних ущільненнях та їх математичні моделі, надано математичний опис радіальних коливань симетричного ротора в щілинних ущільненнях в умовах різних типів течії і встановлено умови стійкості та АФЧХ, детально розглянуті математичні моделі та стійкість вільних та вимушених кутових коливань ротора в щілинних ущільненнях, а також запропоновані математичні моделі спільних радіально-кутових коливань ротора в щілинних ущільненнях і наведена оцінка стійкості таких коливань.

Висновки до розділу є досить ґрунтовними та повністю розкривають поставлені завдання. Встановлені нові особливості процесів в ущільненнях, що суттєво впливають на їх математичний опис та відповідають явищам практичного застосування. Запропоновані нові математичні моделі вказаних процесів, які адекватно відображають нові встановлені закономірності.

Але, застосовувані алгебраїчні критерії стійкості мають значні обмеження. За поставленою метою було б доцільно використати частотні критерії їх, які також дозволяють встановити запаси стійкості по амплітуді і по фазі. В розділі 3.6. розглядається задача Коші, але не наведено початкових умов для її вирішення. В розділі 3.7.5 вихідна математична модель є системою нелінійних диференціальних рівнянь. Пропоноване в роботі рішення є наближенням, що відповідає методу гармонічного балансу Крилова-Боголюбова і враховує тільки основну гармоніку коливань. Умови коректності такого наближення, на жаль, не представлено.

У четвертому розділі розглянуті питання моделювання процесів у імпульсних торцевих ущільненнях.

Розглянуті типова конструкція, принцип роботи і розрахункова схема імпульсного торцевого ущільнення, статичний розрахунок імпульсного ущільнення, зокрема визначення усередненого тиску в камерах, оцінки регулюючого впливу і гідростатичної жорсткості, гідростатична жорсткість і стійкість рівноваги, статичні та витратні характеристики, розрахункова математична модель динаміки ущільнення.

Отримані амплітудні і фазові частотні характеристики імпульсного торцевого ущільнення, що дозволяють виявити небезпечні області частот обертання і обрати параметри ущільнення за умови, щоб амплітуди вимушених осьових коливань не виходили за межі умов динамічної стійкості. Проведено аналіз динамічної стійкості імпульсного ущільнення.

Результати теоретичних досліджень можуть бути основою для створення методики розрахунку імпульсних торцевих ущільнень при їх проектуванні.

Але висновки до розділу є дуже обмеженими. Лінеаризація системи диференціальних рівнянь (4.54) не супроводжується достатніми умовами можливості такої лінеаризації та порівняння з точним розрахунком.

В п'ятому розділі дисертації розглядаються питання моделювання гідродинамічних процесів у щільних ущільненнях систем авторозвантаження та безвальних насосів. Розглянуті автоматичні врівноважуючі пристрої, зокрема, осьові сили, що діють на ротор, осьові коливання ротора відцентрового насоса, детальний статичний розрахунок систем автоматичного врівноваження та її складових, у тому числі залежність статичних характеристик від частоти обертання ротора, врахування динаміки системи, розглянуто рівняння осьових коливань ротора, рівняння нестационарної течії в дроселях,

Запропоновано математичну модель і алгоритмічну побудову розрахункову схеми врівноважуючого пристрою ротора багатоступеневої відцентрової машини, який виконує функції гідравлічного затвора і радіально-осьового підшипника.

Отримані математичний опис у вигляді рівнянь спільних радіально-осьових коливань ротора відцентрового насоса з системою автоматичного розвантаження, та залежності для побудови амплітудних і фазових частотних характеристик, а також розрахунок межі стійкості.

Запропоновано методику моделювання ущільнень-опор і безвальних насосів. Отримані результати, що наведені в розділі 5 дисертації є новими **та** відмінними від відомих рішень.

Важливими для практичного використання є наступні результати досліджень, а саме, визначені резонансні (критичні) частоти обертання ротора в системі «ротор – авторозвантаження», в якій під дією неминучої радіальної статичної неврівноваженості, пульсацій тиску нагнітання і

гармонійних змін осьової сили, що діє на ротор, здійснюються взаємопов'язані вимушені радіально-осьові коливання; на основі запропонованої моделі гідродинамічних процесів в системі «ротор - авторозвантажувальний пристрій» отримано математичний опис для розрахунку динамічних характеристик роторів відцентрових машин; на основі побудованої моделі гідродинамічних процесів у безвальному насосі, у якому щільні ущільнення використовуються як опори та відсутні контакти робочого колеса з нерухомим корпусом, отримано аналітичні залежності для статичних та витратних характеристики насоса з ущільненнями-опорами, які дозволяють вибрати геометричні параметри щільних дроселів так, щоб на номінальному режимі торцевий зазор зберігав необхідне, наперед задане значення.

Висновки до розділу 5 містять вирішення поставлених завдань, обґрунтовані та відповідають викладеному матеріалу.

Але, рівняння на с. 346 є лінійними і їх аналіз взагалі є загальновідомим в теорії диференціальних рівнянь. Оцінка стійкості за рівнянням вільних коливань системи с. 302 є спрощеною (застосовується критерій Рауса до системи 7-го порядку). Умови стійкості не враховують параметри течії. Моделі турбулентної течії (розділ 5.1.5.1) взагалі не представлені, оскільки в поточний час відомо деяка множина таких моделей відповідно умовам застосування.

В шостому розділі дисертації, що має назву «Модельна організація створення складних ущільнювальних систем» розглядаються приклади моделювання складних ущільнювальних систем роторних машин з високими параметрами, показники ущільнювальних систем при промисловій експлуатації, методика моделювання ущільнювальних систем, результати впровадження результатів роботи.

Найбільш важливим практичними результатами, що викладено в розділі, є обґрунтування методика моделювання ущільнювальних систем та пропонується схема алгоритму побудови ущільнювальної системи, що, власне, і визначено в висновках за розділом. Інші представлені матеріали мають описовий характер. Сам термін «Модельна організація створення складних ... систем» має дискусійний характер і недостатньо розкрито автором.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні наукові результати в дисертації в цілому обґрунтовані теоретично та підтверджені експериментальними дослідженнями і впровадженням.

Автором коректно застосовано для теоретичного обґрунтування наукових положень та висновків дисертаційної роботи: методи

математичного моделювання, прикладна теорія систем, обчислювальні методи алгебри, методи розв'язання нелінійних систем алгебри, трибомеханіки, теплопередачі, теорії пружності, гідрогазодинаміки, теорії коливань, гідроаероупругості, теорії оптимізації гідромеханічних систем та теорії функцій комплексних змінних – для дослідження режимів роботи гідромеханічних систем, які моделюють режими роботи ущільнюючих систем., а також обчислювальне моделювання та експериментальні дослідження розроблених моделей, методів конструювання і засобів автоматизації ущільнюючих систем, засоби оцінки адекватності моделей.

Обґрунтовані теоретичні результати зіставлені з відомими в літературних джерелах, відповідними результатами комп'ютерного моделювання та результатами натурних експериментів. Обсяги експериментальних досліджень та впровадження є достатніми для підтвердження наукових положень дисертаційної роботи.

Автором висунуто та доведено низку тверджень щодо розвитку теорії ущільнюючих систем, що підкреслює теоретичну значущість роботи.

Проте не в усіх практичних задачах, що підтверджують теоретичні положення, в достатній мірі наведено особливості програмних засобів моделювання та експериментального отримання даних.

Не зважаючи на вказане, в цілому наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі є обґрунтованими теоретично та підтверджені практичним впровадженням.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується по перше, коректністю постановки математичних задач з урахуванням відповідних обмежень, та використанням сучасних математичних методів, по друге, відповідністю пропонованих математичних моделей ущільнюючих систем фізичній суті процесів в досліджуваних об'єктах. Теоретичні положення і отримані наукові результати достатньо обґрунтовані. Достовірність отриманих результатів та рекомендацій забезпечується коректністю математичного опису гідродинамічних процесів в ущільненнях та системах ущільнень і припущень, що враховують особливості процесів витрат рідини через ущільнювачі, та підтверджується близькістю теоретичних та експериментальних значень витрат герметизованої рідини та амплітудних і фазових характеристик коливань ротора.

Наукова новизна отриманих результатів.

Найбільш важливим новим науковим результатом дисертаційної роботи є вирішення актуальної науково-прикладної проблеми створення математичних моделей ущільнень з урахуванням гідродинамічних процесів в кільцевих каналах в'язкої рідини, стінки яких обертаються, прецесують і

одночасно здійснюють радіально-кутові коливання, що вирішує протиріччя між вимогами до герметичності та вібраційної безпеки.

Нові наукові результати, що розкривають вирішення поставлених завдань роботи та становлять вирішення поставленої мети, є наступними: побудовано моделі контактних і безконтактних ущільнень, в яких, на відміну від відомих рішень, вперше враховано вплив гідродинамічних характеристик герметизуючих пристроїв на динаміку ротора відцентрової машини і отримано математичний опис явищ, які враховують вплив процесів, що відбуваються в ущільнюваному середовищі, зокрема: контактних сальникових ущільнень, де, на відміну від відомих рішень, вперше враховані передвключена безконтактна і контактна ділянки, що дозволяє описати повний цикл функціонування, включаючи пусковий, базовий режими та зупинку відцентрової машини, на відміну від відомих моделей, де аналізується тільки базовий режим, що дозволяє цілеспрямовано впливати на характеристики ущільнень при проектуванні; контактних торцевих ущільнень, де вперше враховано вплив гідродинамічних процесів, що відбуваються в ущільнюваному середовищі, і його взаємодію з елементами ущільнень, та, на відміну від відомих моделей, забезпечено аналіз ряду процесів при переході торцевого ущільнення від стадії спокою аж до виходу на режим номінальної частоти обертання і навпаки, тобто від сухого до рідинного тертя, з визначенням умов виникнення рідинного тертя; безконтактних щілинних ущільнень, в яких вперше враховано вплив гідродинамічних характеристик ущільнень на динаміку ротора та отримано амплітудні і фазові характеристики з оцінкою межі динамічної стійкості системи; імпульсних ущільнень, для яких вперше отримані амплітудні і фазові характеристики та межа стійкості, що дозволяє налаштувати ущільнення на роботу у вібраційному безпечному режимі. Для класу контактних ущільнень, заснованих на принципі саморегулювання, вперше побудовано модель гідромеханічних і теплових процесів в них та отримано математичний опис таких процесів для розрахунку характеристик ущільнень з системою саморегулювання. Вперше отримані математичні моделі, що описують гідродинамічні процеси в імпульсних ущільненнях як в системі автоматичного регулювання торцевого зазору і протікання. На їх основі отримані залежності від ущільнюваного тиску, частоти обертання ротора, коефіцієнта навантаження і зусилля попереднього стиснення пружин; визначено коефіцієнт гідростатичної жорсткості, умову статичної стійкості, діапазон допустимих ущільнюваних тисків; математичний опис визначення власної частоти коливань аксіально-рухомого кільця; побудовані амплітудні і фазові частотні характеристики вимушених осьових коливань кільця під дією ущільнюваного тиску, встановлені умови динамічної стійкості. Вперше запропонована модель динамічної системи «ротор – ущільнення» у якості математичної моделі гідродинамічних процесів в щілинних ущільненнях з урахуванням їх впливу на динаміку ротора. Запропоновано новий підхід моделювання динамічних характеристик роторів, який дозволяє по

амплітудним і фазовим частотним характеристикам визначати межі динамічної стійкості. Вперше запропонована математична модель системи «ротор – система авторозвантаження», яка виконує функції врівноваження сил, які діють на ротор, та одночасно функції кінцевого ущільнення з регульованими протіканнями. Надано математичний опис осьових сил, що діють на ротор. Визначено статичні та динамічні характеристики досліджуваної системи. Для часткового випадку математичного опису у вигляді рівнянь нестационарної течії в дроселюючих каналах вперше враховано як активний, так і інерційний опори та встановлено, що інерційний опір рідини в дроселюючих каналах врівноважуючих пристроїв надає демпфуючий вплив. При додатковому врахуванні радіальних коливань ротора відцентрового насоса з системою авторозвантаження отримано математичний опис спільних радіально-осьових коливань та відповідні амплітудні і фазові частотні характеристики.

Отримані нові наукові результати становлять загалом складову частину обґрунтованих наукових та науково-прикладних положень дисертації.

Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Значущість отриманих результатів для науки полягає у розвитку наукового напрямку, спрямованого на вдосконалення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання, обчислювальних методів, призначених для використання при всебічному дослідженні і створенні ущільнюючих систем, розбудові нових теоретичних положень щодо математичного моделювання процесів складних динамічних об'єктів, що визначається в створенні комплексу нових математичних моделей контактних та безконтактних ущільнень, різноманітних систем ущільнень. Значущість результатів дисертаційного дослідження для практики полягає у тому, що розроблений в дисертаційній роботі комплекс математичних моделей дозволяє створити методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для розробки та проектування ущільнюючих систем з врахуванням їх впливу на динаміку відцентрових машин.

Висновки і рекомендації, сформульовані у докторській дисертації, мають світове значення.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані теоретичні результати використовуються при проектуванні, виробництві та обслуговуванні відцентрових машин, що документально підтверджується актами впровадження (акти впровадження: АТ «Енергопроект» №99/02 від 15.06.2021, АТ Сумський завод «Енергомаш» №8 від 03.06.2021, Конструкторське бюро «Укрспецмаш» №195 від 07.06.2021, ТОВ «Спецпромтранстехніка» №1/0206 від 02.06.2021, Одеський

національний політехнічний університет №21 від 09.08.2021, Навчально – тренувальний центр ВП ЗАЕС №18 від 21.07.2021). Отримані результати впроваджено в конструкторських, виробничих підприємствах, навчальних центрах та закладах вищої освіти. Математичні моделі використовуються в системах автоматизованого проектування. Практичне значення мають також обґрунтована методика моделювання ущільнювальних систем та пропонується схема алгоритму побудови ущільнювальної системи.

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 40 працях, з яких: 4 монографії, 22 статті в фахових наукових журналах (в тому числі 5 із них у міжнародних наукометричних базах Scopus), 11 доповідях та тезах доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

В опублікованих працях в фахових наукових виданнях повністю викладено основні наукові положення дисертаційної роботи та отримані результати.

Випадків плагіату в наукових статтях та дисертації не виявлено. В монографіях автора використовуються матеріали опублікованих статей, на які є посилання. В дисертаційній роботі використано значну кількість літературних джерел, достатню щодо повноти огляду та вимог. В дисертації наявні посилання на всі наведені такі літературні джерела.

Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях достатньо підтверджено матеріалами роботи.

Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертацій в Україні.

Реферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст по розділах, та висновки, але має редакційні зауваження.

Дисертаційна робота та реферат загалом оформлені у відповідності з вимогами, що ставляться до докторських дисертацій в Україні.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень, на основі яких захищена кандидатська дисертація.

Наукові результати досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію «Разработка и исследование новых конструкций сальниковых уплотнений насосного оборудования АЭС» за спеціальністю 05.04.13 – Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати в 1990 році в спеціалізованій раді при Харківському політехнічному інституті, не використовуються і не виносяться на захист його докторської дисертації.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.

1. У вступі автором застосовано визначення: “проблема герметизації роторів відцентрових насосів і компресорів, в яких перекачується рідке або газоподібне середовище під великим тиском є складною науково - прикладною проблемою сучасного машинобудування”, с.29: та “ Таким чином, розробка моделей, методів розрахунку і конструювання ущільнень як складових герметизуючих систем на основі створення їх моделей і їх конфігурування (послідовного розміщення) з метою досягнення гармонізації між герметизацією і вібраційною надійністю з урахуванням коливальних процесів, обумовлених гідродинамічними характеристиками ущільнень, є актуальною науково - прикладною проблемою ”, с.31,і, таким чином, не співпадають.

2. Висновки до першого розділу не містять необхідних узагальнень, фактично лише повторюють формулювання науково-прикладної проблеми та загальні завдання моделювання у вигляді “Методи моделювання і комп’ютерні технології побудови складних ущільнюючих систем є важливою складовою інструментальних засобів для її вирішення. Створення математичних моделей та отримання аналітичних залежностей, що описують процеси в системах герметизації, є базою для створення науково обґрунтованих методик конструювання складних ущільнюючих систем”

3. Висновки до другого розділу не містять постановки та конкретизацію завдань дослідження.

4. Застосовувані в третьому розділі алгебраїчні критерії стійкості мають значні обмеження. За поставленою метою було б доцільно використати частотні критерії їх, які також дозволяють встановити запаси стійкості по амплітуді і по фазі. В розділі 3.6. розглядається задача Коші, але не наведено початкових умов для її вирішення. В розділі 3.7.5 вихідна математична модель є системою нелінійних диференціальних рівнянь. Пропоноване в роботі рішення є наближенням, що відповідає методу гармонічного балансу Крилова-Боголюбова і враховує тільки основну гармоніку коливань. Умови коректності такого наближення, на жаль, не представлено.

5. Висновки до четвертого розділу є дуже обмеженими. Лінеаризація системи диференційних рівнянь (4.54) не супроводжується достатніми умовами можливості такої лінеаризації та порівняння з точним розрахунком.

6. Рівняння на с. 346, що наведені в п’ятому розділі, є лінійними і їх аналіз взагалі є загальновідомим в теорії диференційних рівнянь. Оцінка стійкості за рівнянням вільних коливань системи с. 302 є спрощеною (застосовується критерій Рауса до системи 7-го порядку). Умови стійкості не враховують параметри течії. Моделі турбулентної течії (розділ 5.1.5.1) взагалі не представлені, оскільки в поточний час відомо деяка множина таких моделей відповідно умовам застосування.

7. Зміст шостого розділу не відповідає його заголовку. За винятком обґрунтування методики моделювання ущільнювальних систем та запропонованої схеми алгоритму побудови ущільнювальної системи, представлені матеріали мають описовий характер. Сам термін «Модельна організація створення складних ... систем» має дискусійний характер і недостатньо розкрито автором.

8. В роботі не наведено опису створених програмних засобів, що реалізують розроблені математичні моделі та методи, рівня їх програмної та обчислювальної складності.

9. Наукова проблема дисертації ґрунтується на протиріччях між необхідною точністю математичних моделей та їх обчислювальною складністю. Проте у жодному пункті загальних висновків дисертації не наведено кількісних результатів, які підтверджують усунення зазначеного протиріччя.

10. Зауваження по оформленню дисертації.

У дисертаційній роботі мають місце загальні недостатньо коректні та обґрунтовані терміни і вислови, наприклад “отримані вирази”, “отримано аналітичні залежності”, “гармонізація між герметизацією та вібраційною надійністю” та ін., зустрічаються опечатки, невідповідність у посиланнях на формули, неточності у позначеннях у формулах, що ускладнює читання тексту дисертації.

Зустрічаються ідентичні та суперечливі фрагменти у різних підрозділах. Наприклад, на ст. 62 вказано «Необхідно відмітити, що на практиці недоцільним є безпосереднє використання в якості моделі для прийняття конструктивних рішень загальної системи математичних залежностей, що включають рівняння руху робочого тіла, нерозривності течії, стану і енергії, описують гідро- і термодинамічні процеси в ущільнювальному тракті і зміни параметрів руху системи.» А на ст. 69 міститься наступне: «Тому в даній роботі було побудовано математичні моделі контактних ущільнень, що ґрунтуються на спільному вирішенні системи диференціальних рівнянь руху робочого тіла, нерозривності течії, стану і енергії, що описують гідро- і термодинамічні процеси в ущільнювальному тракті і зміни параметрів руху системи.»

Робота не досить врівноважена за змістом. Основні розділи містять наближено 60...100 сторінок. Розділ 6 тільки близько 30.

В списку літератури деякі джерела не мають повних вихідних даних.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальні висновки.

Вважаю, що дисертаційна робота ШЕВЧЕНКА Сергія Станіславовича на тему «Математичні моделі процесів в системах герметизації відцентрових машин» є завершеною науковою працею, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що забезпечують досягнення мети досліджень та вирішують у сукупності науково-прикладну проблему розробки моделей, методів розрахунку і конструювання ущільнювачів як складових герметизуючих систем з метою досягнення компромісу між вимогами щодо герметичності і вібраційної надійності з урахуванням коливальних процесів, обумовлених гідродинамічними характеристиками ущільнювачів. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи, зокрема, формулі спеціальності та пп. 1 і 4 напрямів дослідження.

Дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор - ШЕВЧЕНКО Сергій Станіславович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, доцент, професор кафедри автоматизації суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія»

 В.Ф. Миргород

