ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Щербака Леоніда Миколайовича

на дисертаційну роботу **Шевченка Сергія Станіславовича**

«Математичні моделі процесів в системах герметизації відцентрових машин»,

яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Актуальність теми дисертації

Базовими величинами, що визначають ефективність сучасних відцентрових машин є швидкість обертання ротора та тиск в ущільнюваній рідині. Зростання оборотів ротора призводить до зростання вібрацій. А підвищення тиску рідини в ущільнюючій системі призводить до необхідності врахування стисливості рідини, яка при менших значеннях тиску розглядалася як нестислива. Враховуючи те, що ущільнюючі системи можуть суттєво впливати на вібраційні характеристики ротора, створення сучасних відцентрових машин потребує використання складних ущільнюючих систем, що включають різні типи ущільнень. Ефективним засобом при проектуванні новітніх ущільнюючих систем є сучасні САПР, які, в свою чергу, потребують створення відповідних математичних моделей, де для всіх видів ущільнень необхідно забезпечити умови відсутності резонансних коливань ротора, що вимагає оцінки області стійкості та розробки моделі гідромеханічної системи ротор-ущільнення з метою отримання амплітудних та фазових частотних характеристик і умов динамічної стійкості.

Таким чином, 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.

Отже, 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.

Вирішенню вказаної актуальної науково-прикладної проблеми присвячена дисертаційна робота Шевченка Сергія Станіславовича.

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, дані про які наведені в дисертації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки дисертаційної роботи в цілому достатньо обґрунтовані. Для обґрунтування наукових положень автором застосовано 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. Чисельне моделювання та експериментальні дослідження розроблених моделей, методів конструювання і засобів автоматизації ущільнюючих систем, оцінка адекватності моделей.

Наукові положення і висновки дисертаційної роботи підтверджені шляхом зіставлення з експериментальними даними для різних типів ущільнюючих систем.

В цілому наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими як теоретично, так і практичним застосуванням.

Наукова новизна отриманих результатів.

У процесі вирішення визначених завдань у роботі отримано такі наукові результати:

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 аналітичні залежності, які враховують вплив процесів, що відбуваються в ущільнюваному середовищі, в тому числі:

– 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 торцових 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 торцового 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 налаштовувати ущільнення на роботу у вібраційно безпечному режимі.

Для нового класу контактних ущільнень, заснованих на принципі саморегулювання, вперше побудовано модель гідромеханічних і теплових процесів в них та отримано аналітичні залежності для розрахунку характеристик ущільнень з системою саморегулювання.

Вперше отримано моделі, що описують гідродинамічні процеси в імпульсних ущільненнях як системі автоматичного регулювання торцового зазору і протікання. На їх основі: для розмірів торцового зазору і витрат ущільнюваного середовища отримано 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; вирази для визначення власної частоти коливань аксіально-рухомого кільця; побудовано амплітудні і фазові частотні характеристики вимушених осьових коливань кільця під дією ущільнюваного тиску, що гармонічно змінюється, виконано аналіз динамічної стійкості.

Вперше запропоновано модель систем «ротор – ущільнення» – математичну модель гідродинамічних процесів в щілинних ущільненнях з урахуванням їх впливу на динаміку ротора. Визначено їх динамічні характеристики з урахуванням конструктивних параметрів герметизуючих пристроїв. Розроблено підхід та алгоритм розрахунку динамічних характеристик роторів, що дозволяє по амплітудним і фазовим частотним характеристикам визначати межі динамічної стійкості.

Запропоновано модель системи «ротор – система авторозвантаження», що виконує функції врівноваження сил, які діють на ротор, та одночасно функції кінцевого ущільнення з регульованими протіканнями. Комплексно така задача розглядається вперше. В моделі вперше дано опис осьових сил, що діють на ротор, через частоту обертання ротора. Визначено статичні та динамічні характеристики системи. Для рівнянь нестаціонарної 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, суттєво (порядку на 50%) зменшуючи амплітуди резонансних коливань. При додатковому врахуванні радіальних коливань ротора відцентрового насоса з системою авторозвантаження отримано математичний опис спільних радіально-осьових коливань та амплітудні і фазові частотні характеристики.

Отримала подальший розвиток теорія математичного моделювання гідродинамічних процесів в ущільненнях відцентрових машин на основі розробки моделей контактних та безконтактних ущільнень, систем

ущільнень, систем «ротор – ущільнення» та «ротор – система авторозвантаження».

Практична цінність і значення дисертаційної роботи

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, систем ущільнень, систем «ротор – ущільнення» та «ротор – система авторозвантаження».

Значущість результатів дисертаційного дослідження для практики полягає у тому, що розроблений в дисертаційній роботі комплекс математичних моделей дозволяє в перспективі 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, яке підтверджене публікаціями рівня каротелей Q1 й Q3 та результатами доповідей на міжнародних конференціях.

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 у вигляді аналітичних залежностей використовуються в системах автоматизованого проектування.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною і оформленою відповідно до вимог.

Робота містить анотацію на двох мовах, список публікацій автора, вступ, шість розділів, висновки, перелік використаних джерел та три додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми й науково-прикладних задач; сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження; визначено зв'язок із науковими програмами, планами та темами; показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача; наведено інформацію про реалізацію, апробацію та публікацію

результатів.

У першому розділі розглянуті проблеми і принципи існуючих підходів до моделювання та розрахунку ущільнюючих пристроїв відцентрових машин. Виявлено та сформульовано технічні і наукові проблеми побудови моделей різних ущільнювальних систем з метою гармонізації функцій герметизації і підвищення динамічної жорсткості роторів відцентрових машин. Сформовані основні складові-підпроблеми побудови моделей ущільнень відцентрових машин: створення моделей контактних ущільнень – сальникових і торцових механічних для розуміння механізмів герметизації і подальшого аналітичного дослідження; побудова моделі ущільнення з саморегульованим моментом в парі тертя, що пояснює механізм регулювання моменту тертя в різних конструкціях контактних ущільнень; створення моделі імпульсного торцового ущільнення, як системи автоматичного регулювання; розробка моделі жорсткого ротора з автоматичним урівноважуючим пристроєм служить для подальшого аналізу вимушених коливань ротора, амплітуда яких залежить від віддаленості частоти обертання від власних частот системи «ротор- урівноважуючий пристрій»; розробка моделі динамічної системи «ротор – щілинні ущільнення» та подальшого математичного аналізу динаміки системи з метою врахування при виборі конструкцій щілинних ущільнень не тільки їх прямого призначення – зменшувати об'ємні втрати, але і не менш важливу їх функцію – забезпечувати необхідні вібраційні характеристики ротора. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень в напрямку розроблення теорії побудови моделей герметизуючих систем відцентрових машин і модельного конструювання ущільнювальних систем з врахуванням особливостей їх впливу на вібраційний стан роторних машин, а також проведено аналіз робіт, пов'язаних з темою наукового дослідження.

У другому розділі обґрунтовано напрямки проведення досліджень. Описується класифікація конструкцій ущільнюючих систем роторних машин, виконано побудову фізичних та математичних моделей контактних ущільнень, отримано аналітичні залежності для розрахунку контактних ущільнень.

Сформовано систему класифікації ущільнень, виділено об'єкти для досліджень. Вказано, що створення та вивчення моделей кожного типу ущільнень, дає можливість формувати складні ущільнюючі системи з елементів, регулювати взаємовплив між елементами.

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

Розроблено структурну схему моделі торцового механічного ущільнення як динамічної системи, яка дає уявлення про взаємодію основних її елементів.

Математична модель ущільнення 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 методи розрахунку навантажень в парі тертя торцового ущільнення, протікання ущільнюваної рідини, втрат потужності на тертя в торцовій парі, а також деформацій кілець ущільнень. Це дозволяє враховувати експлуатаційні фактори, що впливають на роботу ущільнення, на етапі його проектування.

Розроблені модель та методика розрахунку контактних ущільнень з системами автоматичного регулювання. Побудовано статичні характеристики саморегульованих ущільнень, отримано аналітичні залежності для розрахунку втрат потужності на тертя в контакті та теплового розрахунку. Вказано, що принцип саморегулювання запатентовано.

У третьому розділі розглядаються принцип роботи та призначення щілинних ущільнень і їх вплив на динаміку ротора відцентрової машини.

Щілинні ущільнення розглядаються як гідростатодинамічні опори, здатні ефективно демпфувати коливання ротора. Для визначення динамічних характеристик розглянута модель системи «ротор – щілинні ущільнення».

Проведено оцінку радіальних сил і моментів в щілинних ущільненнях. При виведенні рівнянь радіально-кутових коливань ротора враховано додаткові моменти від пружних сил (інерційних, дисипативних та гіроскопічних).

Отримані вирази спільних радіально-кутових коливань ротора в щілинних ущільненнях. З системи неоднорідних алгебраїчних рівнянь отримано амплітуди і фази, виражені через зовнішні збурення. Також отримано умови динамічної стійкості ротора в ущільненнях.

На основі проведених розрахунків динамічних характеристик ротора відцентрової машини розроблена методика підвищення вібраційної стійкості відцентрових машин за рахунок зміни конструктивних параметрів щілинних ущільнень.

У четвертому розділі розглядається моделювання гідродинамічних процесів в імпульсних торцових ущільненнях.

Розглянуто принцип функціонування та побудовано розрахункову модель імпульсного торцового ущільнення.

Досліджено статичні характеристики імпульсного ущільнення. Проведений аналіз статичних характеристик, який показує вплив конструктивних параметрів імпульсного ущільнення на величину торцового зазору і витоків ущільнюваної рідини. Зроблено висновки про вплив коефіцієнта навантаження і зусилля попереднього стиснення пружин на статичні характеристики імпульсного ущільнення. Статичний розрахунок дозволяє визначити коефіцієнт гідростатичної жорсткості, умови статичної стійкості, діапазон допустимих ущільнюваних тисків.

Отримано динамічні характеристики імпульсного ущільнення, які містять оцінку власної частоти коливань аксіально-рухомого кільця.

Визначено фактори, що впливають на динамічні характеристики ущільнення. Проведено оцінку розмірних значень амплітуд вимушених осьових коливань кільця на будь-якій частоті обертання. Отримані вирази амплітудних і фазових частотних характеристик, що дозволяють виявити небезпечні області частот обертання і підібрати параметри ущільнення так, щоб амплітуди вимушених осьових коливань не виходили за межі динамічної стійкості. Проведено аналіз динамічної стійкості імпульсного ущільнення.

Запропоновано методику аналітичного розрахунку імпульсних торцових ущільнень, яка дозволяє з достатньою для практики точністю розраховувати геометрію ущільнення на етапі його проектування. Визначення основних параметрів імпульсних ущільнень забезпечує оптимальне значення торцового зазору, необхідну величину витоків та втрат потужності в парі тертя в широкому діапазоні ущільнюваних тисків і частот обертання ротора.

В п’ятому розділі дисертації розглядаються питання моделювання гідродинамічних процесів у щілинних ущільненнях систем авторозвантаження та безвальних насосів.

Здійснено моделювання системи «ротор – автоматичний врівноважуючий пристрій». Запропоновано модель і розрахункову схему врівноважуючого пристрою ротора багатоступеневої відцентрової машини, який виконує функції гідравлічного затвора і радіально-осьового підшипника.

Проведений аналіз динаміки системи. Отримано рівняння спільних радіально-осьових коливань ротора відцентрового насоса з системою автоматичного розвантаження. Отримано формули для побудови амплітудних і фазових частотних характеристик, а також розрахунку межі стійкості.

Розроблено методику моделювання ущільнень-опор і безвальних насосів. Безвальні насоси є прикладом використання щілинних ущільнень як опор, крім їх основного призначення – обмежувати перетоки між порожнинами з різним тиском. Проведено аналіз динаміки безвального консольного насоса з комбінованим опорно-врівноважуючим і ущільнюючим вузлом, результати якого засвідчили, що насос має достатній запас вібронадійності.

В шостому розділі дисертації розглядаються питання модельної організації створення ущільнюючих комплексів.

Наведено приклади моделювання складних ущільнюючих систем роторних машин з високими параметрами. Продемонстрована практична реалізація методів створення ущільнюючих систем відцентрових компресорів, авіа та ракетних двигунів та інших роторних машин з високими параметрами.

На основі проведених досліджень та аналізу принципів формування складних ущільнюючих систем розроблено науково обґрунтовану методику їхнього створення. Отримані наукові результати та рекомендації дозволяють цілеспрямовано впливати на формування характеристик ущільнюючих

систем, чим досягається максимальна гармонізація між герметизацією та вібраційною надійністю.

Висновки містять розгорнутий перелік основних результатів та рекомендацій, отриманих в роботі.

У **Додатках** наведені результати експериментальних досліджень, що підтверджують адекватність побудованих математичних моделей, акти впровадження результатів роботи в «НАЕК «Енергоатом» та інших промислових підприємствах та навчальних закладах, список публікацій здобувача за темою Дисертації.

Характеризуючи зміст роботи в цілому, слід відзначити величезний обсяг виконаної роботи, комплексність та багатогранність задач, розв'язаних автором на шляху вдосконалення існуючих систем ущільнення відцентрових машин, всебічний аналіз запропонованих науково-практичних підходів та рішень. Все це підтверджує високу науково-методичну кваліфікацію автора дисертації.

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. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у провідних фахових журналах, 5 з яких індексуються в наукометричній базі Scopus рівня квартилей Q1 та Q3.

Також результати підтверджено їх практичним використанням.

Повнота відображення результатів у публікаціях та апробація роботи

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 та відображені в 3 патентах.

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 для відносно вузького класу технічних об’єктів. 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 дисертаціїї, її зміст по розділах, та висновки. Дисертаційна робота та реферат 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 до дисертації

1. Термін «…в імпульсних ущільненнях…» є поєднанням термінології теорії сигналів і термінології теорії машин і механізмів (реф., стор. 3), тому доцільно замінити її на «динамічне імпульсне ущільнення» для більш узгодження з відомою термінологією англійською мовою.
2. Математичні моделі: «…системи ротор-ущільнення» і «…системи ротор-система авторозвантаження» (реф., стор. 5) доцільно замінити на моделі поєднання сукупностей механізмів досліджуваної складної механічної системи.
3. «Математичні моделі та отримані аналітичні залежності, точність яких підтверджена даними експериментальних досліджень, використовуються при проектуванні та обслуговуванні ущільнюючих систем на підприємствах АТ «Енергопроєкт»…» (реф., стор. 5) по суті відображає процес впровадження математичних моделей і отриманих аналітичних залежностей, верифікація яких підтверджена результатами експериментальних досліджень, так як термін «точність» в повній мірі не відображає такого підтвердження.
4. Напевно із-за обмеження об’єму реферату не описані позначення рис. 4 (реф., стор. 14), рис. 6 (реф., стор. 15), рис. 9 (реф., стор. 18), рис. 14 (реф., стор. 21), рис. 15 (реф., стор. 22).
5. Не описані позначення наведених рівнянь і виразів (реф., стор 12,

13, 16, 17, 20, 21).

6. В рефераті не наведені розмірності фізичних величин, які використовувались при проведенні значної кількості вимірювальних експериментів для досягнення мети даної дисертації.

7. Фазова частотна характеристика відповідних механізмів (реф., стор. 19, 20) не є функцією частоти, а така ж характеристика (реф., стор. 22) є функцією частоти ω.

9. Логічно не підтверджено, звідки із системи рівнянь витікають відповідні нерівності (реф., стор. 17, 19, 20).

10. Із тексту реферату і відсутності опису позначень важко визначити, які з досліджуваних величин, функцій є дійсними, а які є комплексними.

11. В текстах дисертації і реферату не в повній мірі відображені результати комп'ютерного моделювання відповідних задач досліджень, включаючи методологію створення алгоритмічного і програмного забезпечення.

12. При виконанні всього об'єму досліджень автором для досягнення мети для вирішення науково-прикладної проблеми використаний детермінований апарат. При цьому не враховано дія значної кількості стохастичних факторів для більш об'єктивних досліджень процесів функціонування таких складних механічних і гідродинамічних систем. Тому пропоную у висновку обговорення даної дисертації доповнити ще одним пунктом:

– отримані вагомі результати досліджень визначають статистично усереднені по ансамблю реалізацій моделі й характеристики досліджуваних процесів при підтвердженні статистичної гіпотези про їх однорідність по простору і стаціонарність по часу.

Незважаючи на виказані зауваження, в цілому дисертація загалом заслуговує на позитивну оцінку.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Шевченка С.С. «Математичні моделі процесів в системах герметизації відцентрових машин» є завершеною, цілісною науковою працею, в якій досягнута мета дослідження: вирішені поставлені теоретичні та практичні задачі в межах важливої науково-прикладної проблеми розробки моделей, методів розрахунку і конструювання ущільнювачів як складових герметизуючих систем.

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

Дисертація містить результати власних досліджень, у роботі відсутні академічний плагіат, фабрикації, фальсифікації

За змістом, оформленням, обсягом, науковою новизною і публікаціями,

важливістю та глибиною вирішення актуальних задач дисертаційна роботи Шевченка С.С. на тему: «Математичні моделі процесів в системах герметизації відцентрових машин» відповідає вимогам МОН України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, пунктам 7 та 9 Постанови Кабінету міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор Шевченко Сергій Станіславович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент
провідний науковий співробітник
Інституту загальної енергетики НАН України
доктор технічних наук, професор Леонід ЩЕРБАК

Підпис Леоніда Щербака
ЗАСВІДЧУЮ
"____" _____ 20__ р.
Зав. відділу кадрів