

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара
Олег МАРЕНКОВ
 **2024 р.**

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Юркова Романа Сергійовича на тему «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина», представленої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика

ВИТЯГ

з протоколу №3 засідання міжкафедрального семінару при постійнодіючому семінарі «Актуальні питання оптимізації та дискретної математики» при Науковій раді НАН України з проблеми «Кібернетика» факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара від «10» травня 2024 року

ПРИСУТНІ: 36 з 36 членів наукового семінару.

ГОЛОВА НАУКОВОГО СЕМІНАРУ : член-кореспондент НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф. Кісельова О.М. (01.05.01 – теоретичні основи інформатики та кібернетики), в.о.декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

СЕКРЕТАР ЗАСІДАННЯ: канд. фіз.-мат. наук, доц. Кузенков О.О. (01.05.02 –математичне моделювання та обчислювальні методи) доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

ЧЛЕНИ НАУКОВОГО СЕМІНАРУ: д-р фіз.-мат. наук, проф. Гук Н. А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Кузьменко В. І. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Шевельова А.Є. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Гарт Л.Л. (01.05.01 – теоретичні основи інформатики та кібернетики), професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. Байбуз О.Г. (05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту), завідувач кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Турчина В.А. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), завідувачка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Зайцева Т.А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), завідувачка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Волошко В.Л. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Білозьоров В.Є. (01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень), професор кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. Книш Л.І. (05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика), професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Золотко К.Є. (05.14.04 – промислова теплоенергетика), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Зайцев В.Г. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук Дзюба П. А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Хижа О.Л. (01.01.01 – математичний аналіз), доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Мацуга О.М. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук Козакова Н. Л. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Антоненко С.В. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Міхальчук Г.Й. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Тонкошкур І.С. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук Степанова Н.І. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Сафронова І.А. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Сидорова М.Г. (05.13.06 – інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Божуха Л.М. (01.01.01 – математичний аналіз), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Білобородько О.І. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Ємел'яненко Т.Г. (05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології), доцентка кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Наконечна Т.В. (01.01.01 – математичний аналіз), доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Трофімов О.В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Полонська А.Є., асистентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лисиця Н.М., асистентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Сірик С.Ф., асистентка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Сгошкін Д.І., асистент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Красношарпа Д.В., старший викладач кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лапець О.В., асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Лирчиков В.О., асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

ЗАПРОШЕНІ ФАХІВЦІ (7 осіб, з правом голосу):

д-р техн. наук, доц. Гакал П.Г. (05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика), завідувач кафедри аерокосмічної теплотехніки Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

канд. техн. наук, доц. Моїсеєнко С.В. (05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка), доцентка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету;

д-р техн. наук, проф. Габрінець В.О. (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, с.н.с. Накашидзе Л.В. (05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії), провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

д-р фіз.-мат. наук, проф. Говоруха В. Б. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), завідувач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпровського державного аграрно-економічного університету,

д-р фіз.-мат. наук, проф. Кагадій Т. С. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), професорка кафедри прикладної математики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

канд. фіз.-мат. наук, доц. Ходанен Т. В. (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцентка кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

На засіданні присутні аспіранти: Борисенко А. В., Масаликін С. С., Юрков Р. С., Караваєв К.Д., Жушман В.В.

Аспіранти участі в голосуванні не брали.

Порядок денний: розгляд і обговорення дисертаційної роботи Юркова Романа Сергійовича на тему «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина», поданої на здобуття

ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 4 від 19 листопада 2020 року) та уточнена на засіданні вченої ради факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 7 від 21 лютого 2024 року) у формулюванні «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина».

Науковим керівником призначено д-ра. техн. наук, проф. Книш Л.І.

Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» зі спеціальності 113 Прикладна математика (сертифікат про акредитацію освітньої програми 2068, дійсний до 01.07.2027 р.).

СЛУХАЛИ:

Обговорення дисертації аспіранта 4 року навчання Юркова Романа Сергійовича на тему «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Кузенков О.О., канд. фіз.-мат. наук, доцентка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Козакова Н.Л., провідний інженер НДЛ ОСС Яцечко Н.Є.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат програмою «Strikerplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Юркова Р.С. має високий рівень унікальності (92,74 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 142 сторінках і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури.

Слово надається аспіранту Юркову Р.С. Будь ласка, регламент виступу – 30 хвилин.

Аспірант Юрков Р.С.

Шановна голова семінару, шановні члени міжкафедрального семінару, шановні колеги!

Тема моєї дисертації: «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина».

Актуальність теми.

Пошук нових та удосконалення відомих способів акумулювання енергії є однією з фундаментальних проблем сучасної науки. Ця проблема особливо гостро стає під час проектування та експлуатації енергетичних системи на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних. В сонячних термодинамічних системах виникає проблема акумулювання теплової енергії, що пов'язано із

необхідністю безперервного функціонування відповідного циклу перетворення. Новим і перспективним напрямком теплового акумулювання в сонячних термодинамічних системах є використання теплоти фазового переходу.

Теплові акумулятори з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» мають високі енергетичні показники завдяки додатковому використанню теплоти фазового переходу, компактний розмір, високу надійність та екологічну безпеку. Такі пристрої функціонують безшумно, в них відсутні рухомі елементи та деградація після великої кількості циклів зарядки – розрядки, вартість фазоперехідних теплових акумуляторів невисока.

Незважаючи на такі суттєві переваги, подібні системи ще не набули широкого впровадження. Це пов'язано, перш за все, із недостатнім рівнем дослідження процесів тепломасообміну в них. Такі дослідження необхідно проводити, базуючись на адекватних математичних моделях і відповідних числових алгоритмах. Побудова таких моделей, створення алгоритмів, програмних додатків для проведення комп'ютерного моделювання процесів тепломасообміну в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» є **актуальною науковою задачею**, яка була розв'язана в даній роботі.

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є розробка та узагальнення методів математичного і комп'ютерного моделювання процесів тепломасопереносу в системах акумулювання теплової енергії з фазовим переходом «тверде тіло – рідина»; пошук методів підвищення теплової ефективності фазоперехідних теплових акумуляторів; доведення перспектив використання фазоперехідних теплових акумуляторів у складі сонячних термодинамічних станцій; визначання найбільш енергоефективних геометричних, теплофізичних та гідродинамічних параметрів фазоперехідного теплових акумуляторів типу «труба в трубі».

Для досягнення зазначеної мети було поставлені та вирішені такі *наукові задачі*:

- розроблена та верифікована спряжена 3D математична модель енергообміну в фазоперехідному тепловому акумуляторі типу «труба в трубі», яка складається із нестационарної задачі Стефана для шару теплоакумулюючого матеріалу та квазістационарної нелінійної задачі про конвективний теплообмін в потоці теплоносія;
- обґрунтовано вибір методу уявленої теплоємності для врахування теплоти фазового переходу при моделюванні задачі Стефана;
- розроблено метод врахування вільної конвекції в розплаві теплоакумулюючого матеріалу та визначено вплив вільної конвекції на теплообмін в шарі теплоакумулюючого матеріалу;
- розроблений комп'ютерний алгоритм та створена програма розрахунку для визначення температурних полів в шарі теплоакумулюючого матеріалу та в потоці теплоносія;

- проведений параметричний аналіз та розроблені методи керування потоком теплоносія, що сприяють покращенню теплообміну в шарі теплоакumuлюючого матеріалу;
- проведена термодинамічна оптимізація теплового акумулятора типу «труба в трубі» великої довжини.

Об'єктом дослідження є взаємопов'язані процеси фазового переходу та конвективного теплообміну, що мають місце в теплових акумуляторах «тверде тіло – рідина» сонячних термодинамічних станцій.

Предметом дослідження є моделі, що описують процеси енергообміну в фазоперехідних теплових акумуляторах, методи та алгоритми для розв'язання та аналізу запропонованих моделей.

Методи дослідження. Для розв'язання зазначених задач застосовано методи математичного моделювання, методи обчислень – методи розщеплення та контрольного об'єму, методи згладжування моделей із розривом параметрів – метод уявленої теплоємності, методи числового аналізу, методи статистичної обробки результатів експериментів, об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. **Вперше** розроблена 3D математична модель спряженої задачі Стефана, створений відповідний числовий алгоритм та **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в тепловому акумуляторі з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» типу «труба в трубі».
2. **Вперше** розроблено метод врахування вільної конвекції в розплаві теплоакumuлюючого матеріалу для теплового акумулятора типу «труба в трубі», визначено вплив режиму течії теплоносія на інтенсивність вільної конвекції в розплаві.
3. **Вперше** запропоновані методи вирівнювання розподілу температур в теплоакumuлюючому матеріалі, що базуються на варіаціях швидкості теплоносія в просторі та часі.
4. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність фазоперехідного теплового акумулятора при мінімальних гідродинамічних втратах теплоносія.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням добре апробованих моделей, коректністю математичних постановок задач, використанням методів та алгоритмів, що є теоретично обґрунтованими та не суперечливими із відомими положеннями інших авторів, контрольованою точністю обчислень, доброю узгодженістю між собою числових і аналітичних

результатів, несуперечністю отриманих результатів відповідним опублікованим результатам інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. На основі розробленого числового алгоритму, що базується на методи контрольних об'ємів, був створений власний програмний код, який має узагальнений характер і, в разі незначної корекції, може застосовуватися для дослідження фазоперехідних теплових акумуляторів типу «труба в трубі» різного температурного режиму та призначення. Крім того, створений програмний код має гнучку та прозору структуру, що дозволяє без змін структури підлаштовувати його під будь-який тип теплоакumuлюючого матеріалу і теплоносія та будь-які умови функціонування системи.
2. Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час проектування та функціонування сучасних сонячних термодинамічних установок різного температурного рівня та призначення, в яких в якості технологічного обладнання використовується фазоперехідний тепловий акумулятор «тверде тіло – рідина».
3. Теоретичні та практичні положення роботи стали складовою частиною навчальних дисциплін «Моделі і методи прикладної математики», «Методи ідентифікації параметрів математичних моделей», які викладаються для здобувачів вищої освіти рівня PhD спеціальності 113 Прикладна математика в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.
4. Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативної науково-дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (2022 – 2024, науковий керівник проф. Книш Л.І., державний реєстраційний номер 0122U001467), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

У своїй доповіді аспірант описав структуру дисертації, яка складається із вступу, п'яти розділів та висновків.

У першому розділі було розглянуто методи теплового акумулювання в сонячних енергетичних системах, зокрема, в термодинамічних. Показано місце теплового акумулятора в загальній схемі сучасних двоконтурних термодинамічних сонячних станцій. Визначені основні особливості та переваги теплового акумулювання з використанням теплоти фазового переходу «тверде тіло – рідина» у порівнянні з класичним типом теплового акумулювання за рахунок теплоємності.

Проведено вибір фізичної моделі теплового акумулятора, яка являє собою кожухотрубний теплообмінник з циліндричними елементами всередині.

Одиничний циліндричний елемент такого теплообмінника побудований по принципу «труба в трубі». Канал із теплоносієм розміщений всередині циліндричного елемента, який заповнений теплоакумуючим матеріалом. На режимі зарядки у вхідний отвір подається теплоносій з температурою, яка перевищує температуру фазового переходу теплоакумуючого матеріалу. Цей теплоносій гріє та плавить матеріал, і запасає таким чином теплову енергію. На режимі розрядки процес проходить у зворотному порядку.

Для безперебійного функціонування циклу перетворення температура на виході з каналу повинна дорівнювати температурі фазового переходу теплоакумуючого матеріалу. Це можливо досягнути лише шляхом вибору відповідних геометричних параметрів теплового акумулятора, динамічних параметрів теплоносія та теплофізичних параметрів системи. В роботі проведено аналіз методів інтенсифікації тепломасообміну у фазоперехідних теплових акумуляторах та визначено, що за рахунок варіацій швидкості теплоносія стає можливим обрати оптимальний режим його руху, який гарантує постійну температуру теплоносія на виході.

У другому розділі наведені етапи складання математичної моделі теплообміну у фазоперехідному тепловому акумуляторі типу «труба в трубі». Визначено, що процеси конвективного теплообміну для теплоносія напряму пов'язані із тепловими та фазоперехідними процесами в теплоакумуючому матеріалі. Тому запропонована математична модель має спряжений характер і складається із задачі Стефана для теплоакумуючого матеріалу та задачі про конвективний теплообмін теплоносія. В якості умов спряженості виступають умови ідеального теплового контакту на границі «теплоносій – теплоакумуючий матеріал».

Для розв'язання задачі про фазовий перехід «тверде тіло – рідина» запропонований метод уявленої теплоємності, який передбачає перехід від класичної задачі Стефана із розривом параметрів до неперервної задачі теплопровідності для багат шарових тіл. Конвективний рух теплоносія моделювався на основі рівняння енергії, яке, в свою чергу, будувалося на основі класичної системи рівнянь Нав'є – Стокса в припущенні тонкого шару. Спряжена математична модель доповнювалась значенням профілю швидкості для турбулентного та ламінарного руху теплоносія та функціями, які описують залежність теплофізичних властивостей теплоносія від температури. Це функції отримані шляхом апроксимації даних натурних експериментів.

Вплив вільної конвенції в розплаві теплоакумуючого матеріалу враховувався шляхом додавання відповідного коефіцієнту тепловіддачі в умови спряженості. Цей коефіцієнт розраховувався на кожному кроці сітки на основі напівемпіричних критеріальних співвідношень.

У третьому розділі детально описані особливості створення комп'ютерного алгоритму для розв'язання запропонованої математичної моделі, наведено блок-схему алгоритму. На основі створеного числового алгоритму

розроблений власний програмний додаток та проведено комп'ютерне моделювання температурного режиму теплового акумулятора.

Спряжений характер числового дослідження дозволив визначити розподіл температур у теплоносії та теплоакумулюючому матеріалі в радіальному та повздовжньому напрямках. Проаналізовано також швидкість руху границі розподілу фаз та вплив вільної конвекції в розплаві на енергетику пристрою. Отримані результати показують, що вільна конвекція суттєво впливає на теплообмін в теплоакумулюючому матеріалі лише при ламінарному русі теплоносія.

У четвертому розділі проведено аналіз параметрів фазоперехідних теплових акумуляторів типу «труба в трубі» малої та великої довжини. Знайдено залежність середньомасової температури теплоносія від його швидкості та температури на вході. Визначено розподіл середньомасових температур в теплоносії та теплоакумулюючому матеріалі в фазоперехідних теплових акумуляторах великої довжини. Виявлено наявність суттєвої нерівномірності в розподілі температур в теплоакумулюючому матеріалі, яку пропонується компенсувати шляхом змін швидкості теплоносія. Базуючись на результатах комп'ютерного моделювання доведено, що гальмування потоку в початковій зоні в часі або в просторі призводить до подолання температурної нерівномірності в теплоакумулюючому матеріалі. Запропоновано використовувати гальмування в часі завдяки тому, що такий метод простіше технічно реалізувати.

Під час течії теплоносія в довгих трубопроводах виникають втрати на тертя, які призводять до збільшення енергетичних затрат та зменшення загальної ефективності системи. Для визначення впливу тертя проведений гідравлічний аналіз теплоакумулятора та визначена залежність чисел Рейнольдса від чисел Нуссельта, яка показала необхідність проведення термодинамічної оптимізації. Термодинамічну оптимізацію фазоперехідного теплового акумулятора типу «труба в трубі» запропоновано проводити, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки. Проведений ентропійний аналіз дозволив виявити діапазон чисел Рейнольдса, якій забезпечує максимальні теплові показники теплового акумулятора.

У п'ятому розділі наведені результати верифікації запропонованої спряженої математичної моделі та отриманих на її основі числових результатів. Верифікація здійснювалась в три етапи. На першому етапі проводилось порівняння числових та експериментальних даних для модельного теплового акумулятора малої довжини. Порівняння показало задовільний збіг результатів, що доведено кількісно. В якості критеріїв були обрані відносне середнє відхилення RAD та середньо квадратичне відхилення RMSE між числовими та аналітичними значеннями. Аналіз даних відхилень свідчить про адекватність математичної моделі та коректність отриманих даних.

На другому та третьому етапі верифікація проводилась, базуючись на результатах тестових задач, які були розв'язані аналітично. В якості тестової задачі для теплоакумулюючого матеріалу виступала одновимірна задача Стефана

в класичній постановці із граничними умовами першого роду. В якості тестової задачі для теплоносія розглядалась задача Гретца-Нуссельта про стаціонарний конвективний теплообмін при ламінарному русі теплоносія в круглій трубі. Порівняння числових та аналітичних даних показало їх майже повний збіг, що свідчить про адекватність запропонованого підходу.

На заключному етапі дослідження були сформульовані такі **загальні висновки**:

1. На основі всебічного аналізу сучасної наукової літератури визначені особливості акумулювання енергії в сонячних енергетичних системах різного типу. Висвітлені методи акумулювання тепла в термодинамічних системах, зокрема в параболоциліндричних станціях. Визначені переваги та недоліки пасивного теплового акумулювання із використанням теплоти фазового переходу «тверде тіло – рідина». Проаналізовані різні методи підвищення ефективності фазоперехідних теплових акумуляторів, обґрунтовано вибір основних напрямків досліджень та сформульовані основні задачі.
2. **Вперше** розроблена 3D математична модель спряженої задачі Стефана, створений відповідний числовий алгоритм та **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в тепловому акумуляторі з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» типу «труба в трубі».
3. Обґрунтовано доцільність використання методу уявленої теплоємності при формулюванні рівняння енергії для теплоакумуючого матеріалу. Рівняння енергії для теплоносія побудовано на основі рівнянь Нав'є-Стокса, а умови спряженості на границі теплоносія і ТАМу відповідали умовам ідеального теплового контакту – граничним умовам 4 роду. Визначені профілі швидкості для теплоносія та знайдена залежність теплофізичних властивостей теплоносія від температури шляхом апроксимації експериментальних даних.
4. **Вперше** розроблено метод врахування вільної конвекції в розплаві теплоакумуючого матеріалу для теплового акумулятора типу «труба в трубі», визначено вплив режиму теплоносія на інтенсивність вільної конвекції в розплаві.
5. Побудований числовий алгоритм для моделювання задачі Стефана в спряженій постановці, який базується на методі контрольних об'ємів із розщепленням за просторовими координатами та фізичними процесами. Детально описані основні етапи створення програмного коду на основі даного алгоритму, побудована відповідна блок-схема.
6. Проведені числові експерименти та визначені типові розподіли в просторі та часі температур теплоносія і ТАМу. Виявлено наявність суттєвої нерівномірності температур, яка збільшується при збільшенні швидкості теплоносія.

7. **Вперше** запропоновані методи вирівнювання розподілу температур в теплоакумуючому матеріалі, що базуються на варіаціях швидкості теплоносія в просторі та часі.
8. Розрахований локальний коефіцієнт тепловіддачі у фазоперехідному тепловому акумуляторі типу «труба в трубі». Виявлене суттєве його зростання при підвищенні швидкості теплоносія. Проведений гідравлічний аналіз фазоперехідного теплового акумулятора типу «труба в трубі» та знайдена залежність чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса.
9. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність фазоперехідного теплового акумулятора при мінімальних гідродинамічних втратах теплоносія.
10. Проведено верифікацію розробленої математичної моделі та отриманих числових результатів шляхом порівняння із експериментальними та аналітичними даними. Верифікація на основі експериментальних даних для модельного теплоаккумулятора показала добрий збір результатів. Аналітичні дані отримані на основі розв'язання двох тестових задач – одновимірної задачі Стефана в класичній постановці та задачі Гретца-Нуссельта про стаціонарний конвективний теплообмін ламінарного потоку в круглій трубі при постійній температурі її поверхні. Отримано повний збіг аналітичних та числових даних для тестових задач.

Після закінчення доповіді до Юркова Р.С. присутніми були поставлені запитання.

ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ

Член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., в.о. декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Як Ви в роботі розділяєте поняття математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, числовий експеримент? Це питання пов'язане із особливостями застосування методу уявленої теплоємності.

Юрков Р.С.:

Так, ці поняття умовно відрізняються в роботі. Розробка методу уявленої теплоємності для розрахунку задач Стефана відноситься до блоку математичного моделювання. Але ця розробка проводилась для подолання об'єктивних труднощів, які виникають під час комп'ютерного моделювання, а саме, наявності розриву параметрів на границі розподілу фаз.

Член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., в.о. декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Який науковий фундамент має обрана тема дослідження?

Юрков Р.С.:

Обрана тема має потужний науковий фундамент, який ґрунтується на попередніх дослідженнях в галузі космічної та наземної енергетики, що проводились в провідних наукових центрах світу. Протягом останніх тридцяти років дослідження фазоперехідних теплових акумуляторів із різними типами теплоакumuлюючих матеріалів проводились в декількох науково-дослідних підрозділах ДНУ. На відповідному слайді представлені представники наукових шкіл певного напрямку та деякі конструкції теплових акумуляторів, які досліджувались.

Член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., в.о. декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи порівнювались результати, отримані в Вашій роботі, із результатами інших дослідників?

Юрков Р.С.:

Верифікація отриманих результатів проводилась в три етапи. На першому етапі числові дані порівнювались із експериментальними даними, які отримані німецькими дослідниками. Спостерігалось добре узгодження результатів. На другому та третьому етапах верифікація проводилась шляхом порівняння із результатами тестових задач для теплоносія та теплоакumuлюючого матеріалу, які мають аналітичний розв'язок.

Доктор технічних наук, проф. Байбуз О.Г., зав. кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи були реальні фізичні прообрази систем, які досліджувались в даній роботі?

Юрков Р.С.:

Так, безумовно були. В світовій космічній та наземній сонячній енергетиці фазоперехідні теплові акумулятори активно досліджуються. Існують діючі та експериментальні зразки таких систем, які спроектовані під різний температурний рівень. В Україні цей напрям більш активно розвивався в космічній сонячній енергетиці. В ДНУ існує зразок (в натуральну величину) високотемпературного фазоперехідного теплового акумулятора для космічної сонячної енергетичної станції потужністю 3 кВт.

В світовій наземній енергетиці в теперішній час будуються термодинамічні сонячні станції із фазоперехідними тепловими акумуляторами «тверде тіло - рідина» подібні тим, що досліджувались в даній роботі.

Доктор технічних наук, проф. Байбуз О.Г., зав. кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

На якій мові програмування написаний програмний код?

Юрков Р.С.:

Комп'ютерне моделювання проводилось на основі програмного коду, який написаний на Python. Вибір цієї мови обумовлювався зручністю використання, наявністю вбудованих алгоритмів та бібліотек спеціальних математичних функцій.

Доктор фізико-математичних наук, проф. Гук Н. А., в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Які гіпотези та припущення використовувались під час створення спряженої математичної моделі?

Юрков Р.С.:

Основна гіпотеза, яка була застосована під час створення математичної моделі, це гіпотеза про наявність так званої «mushy» зони між твердою та рідкою фазами теплоакуючого матеріалу. Припускалось, що виділення та поглинання теплоти фазового переходу проходить не в нескінченно тонкій міжфазній зоні, а зоні кінцевої товщини. Таке припущення дозволяє при створенні математичної моделі перейти від двох нестационарних рівнянь теплопровідності для кожної з фаз зі специфічною умовою на границі їх розподілу до одного нестационарного рівняння теплопровідності, в якому прихована теплота фазового переходу враховується в джерельному члені.

Крім того, при створенні спряженої математичної моделі обирались припущення, які перелічені в дисертації.

Для теплоакуючого матеріалу:

- однорідність та ізотропність;

- теплофізичні властивості не залежать від температури, але різні для кожної з фаз (твердої, рідкої та “mushy”);
- теплопровідність стінок каналу не враховувалась;
- втрати в навколишнє середовище не враховувались;
- теплофізичні властивості теплоакумулюючого матеріалу в “mushy” зоні розраховувались як середні арифметичне між теплофізичними властивостями в твердий та рідкій фазах.

Для теплоносія:

- течія є квазістаціонарною;
- тип – ньютонівська нестислива рідина;
- теплопровідність в повздовжньому напрямку зневажливо мала у порівнянні з конвективним теплообміном.

Доктор технічних наук, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Як враховувалось переміщення границі розподілу фаз?

Юрков Р.С.:

Положення границі розподілу фаз визначалось на основі числових результатів. В якості теплоакумулюючого матеріалу в дослідженні обиралась сіль нітрату натрію NaNO_3 з температурою фазового переходу 306°C . «Mushy» зона визначалась лініями ліквідусу та солідусу, тобто від 305°C до 307°C . Передбачалось, що саме в межах цієї зони і знаходиться границя розподілу фаз, яка переміщується в залежності від часу.

Доктор технічних наук, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Як визначались граничні умови при дослідженні вільної конвекції?

Юрков Р.С.:

Врахування вільної конвекції проводилось в умовах ідеального теплового контакту на границі «теплоносій – теплоакумулюючий матеріал». В ці умови додавався відповідний доданок.

Доктор технічних наук, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Як був розташований тепловий акумулятор?

Юрков Р.С.:

В роботі розглядалось два типи розташування теплового акумулятора. Реальний експериментальний зразок, який досліджувався німецькими дослідниками і був обраний мною як прообраз для моделювання і верифікації, мав довжину 3.3 м і був розташований вертикально. А модельний тепловий акумулятор для параболоциліндричної станції мав довжину 114 м і був розташований горизонтально.

Доктор технічних наук, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Як розраховувався коефіцієнт тепловіддачі для вільної конвекції?

Юрков Р.С.:

Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок вільної конвекції розраховувався на основі критеріальних рівнянь. Для експериментального зразка вигляд критеріального рівняння було запропоновано німецькими дослідниками і наведено на слайді, а для модельного теплового акумулятора значення коефіцієнту тепловіддачі за рахунок вільної конвекції визначалось на основі класичних критеріальних рівнянь для горизонтального міжкільцевого шару.

Кандидат технічних наук, доц. Моїсеєнко С.В., доцентка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету:

Чому в якості основного параметру під час моделювання обиралась температура, а не ентальпія?

Юрков Р.С.:

Дійсно, існує багато моделей, коли в якості основного параметру при моделюванні задачі Стефана обирається ентальпія. В даному випадку критичним параметром є температура теплоносія на виході з каналу. Ця температура повинна дорівнювати температурі фазового переходу теплоакуючого матеріалу і співпадати з температурним рівнем системи перетворення. Ці вимоги і спонукали до створення саме спряженої математичної моделі. Тобто в даній задачі використання ентальпії є недоречним.

Доктор технічних наук, с.н.с. Накашидзе Л.В., провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Як будувалась розрахункова схема? Чи була ця схема факторизованою?

Юрков Р.С.:

Побудову розрахункової схеми детально описано в дисертації і представлено у вигляді блок-схеми на слайді. Так, схема була факторизована – проводилось розщеплення за фізичними процесами та просторовими координатами.

Д-р технічних наук, проф. Габрінець В.О., професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Які обирались граничні та початкові умови для теплоносія та теплоакумулюючого матеріалу?

Юрков Р.С.:

Моделювання проводилось у припущенні, що теплоакумулюючий матеріал знаходиться в твердому стані (290°C) і на вхід в канал подається теплоносієм зі сталою температурою (350°C), яка перевищує температуру фазового переходу теплоакумулюючого матеріалу (306°C). Теплоносієм рухається в каналі і передає тепло конвекцією теплоакумулюючому матеріалу при цьому нагріває і розплавляє його. Між теплоносієм та теплоакумулюючим матеріалом ставились граничні умови 4 роду – умови ідеального теплового контакту.

На інших границях теплоакумулюючого матеріалу ставились умови теплової ізоляції.

Кандидат технічних наук, доц. Золотько К.Є., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чому була обрана саме спряжена математична поставка задачі?

Юрков Р.С.:

Процесі конвективного теплообміну та фазового переходу взаємопов'язані і протікають одночасно. Вплив одного процесу на інший моделюється із використанням умови спряженості – умови ідеального теплового контакту. Крім того, такий підхід дозволяє спростити задачу – стає можливим розв'язувати нестационарну задачу про фазовий перехід в теплоакумулюючому матеріалі одночасно із квазістационарною задачею конвективного теплообміну теплоносія.

Кандидат технічних наук, доц. Золотько К.Є., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

При дослідженні вільної конвекції Ви визначали число Грасгофа?

Юрков Р.С.:

Напряму значення числа Грасгофа не визначалось. Це значення входить у критеріальне рівняння для числа Релея. Таке критеріальне рівняння було

знайдено під час експериментальних досліджень, які проводились німецькими дослідниками.

Доктор фізико-математичних наук, проф. Кузьменко В.І., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Представлена 3D спряжена математична модель задачі Стефана розроблена Вами вперше?

Юрков Р.С.:

Наведена 3D спряжена математична модель не виноситья в якості наукової новизни роботи. Існує багато підходів до розробки подібних моделей. Але для розрахунку саме фазоперехідних теплових акумуляторів «тверде тіло – рідина» із відповідними для цих пристроїв умовами така модель використовується вперше.

Доктор фізико-математичних наук, проф. Кузьменко В.І., професор кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи знайоми Ви з роботами по задачі Стефана, які проводились в ДНУ раніш?

Юрков Р.С.:

Мені відомі подібні роботи. Саме на детальному аналізі попередніх робіт будувалась наведена спряжена математична модель та проводилось комп'ютерне моделювання. Аналіз попередніх робіт було висвітлено в презентації.

Кандидат технічних наук, доц. Зайцева Т.А., зав. кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Який числовий метод використовувався при створенні комп'ютерного алгоритму?

Юрков Р.С.:

Алгоритм будувався на основі методу контрольних об'ємів із процедурою розщеплення за фізичними процесами та просторовими координатами. Побудова дискретних аналогів здійснювалась за неявною розрахунковою схемою, що гарантувала її абсолютну стійкість.

Кандидат технічних наук, доц. Зайцева Т.А., зав. кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Яка кількість кроків обиралась по кожному з напрямків розрахунку і чи були вони сталими?

Юрков Р.С.:

Вибір кількості кроків є важливим елементом під час розробки числового алгоритму. В даній задачі були два моменти, які потребували особливої уваги. По-перше, під час вибору кроку інтегрування необхідно враховувати, щоб в проміжну зону між твердою та рідкою фазою попадало достатня кількість кроків для врахування теплоти фазового переходу. В даному випадку на основі числових експериментів було визначено, що кількість таких кроків повинна бути не меншою за 60 –70.

По-друге, числовий алгоритм будувався за умови стійкості конвективної складової. Ця умова відповідає значенню локального числа Пекле ($Pe < 2$), яке розраховувалось на кожному кроці по осі z . По радіальному та кутовому напрямках будувалась рівномірна сітка із кількістю кроків, які визначались в ході числових експериментів.

Кандидат фізико-математичних наук, доц. Зайцев В.Г., доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи є необхідним в даній задачі слідкувати за рухом границі розподілу фаз в теплоакмулюючому матеріалі?

Юрков Р.С.:

Кількісні показники швидкості руху границі розподілу фаз не є принциповими для даної задачі. Вони використовуються тут опосередковано, під час аналізу отриманих результатів. Більш актуальними значеннями в даній роботі є рівномірний характер руху границі розподілу фаз відносно напрямку руху теплоносія.

Голова семінару, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., в.о. декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Запитань більше немає. Переходимо до обговорення дисертаційної роботи. Слово має науковий керівник.

ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:

Дисертаційна робота Юркова Романа Сергійовича присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі, яка полягає у розробці та узагальненні методів математичного і комп'ютерного моделювання процесів тепломасопереносу в системах акумулювання теплової енергії із фазовим переходом «тверде тіло – рідина», пошуку методів підвищення теплової ефективності фазоперехідних

теплових акумуляторів, доведенню перспектив їх використання, визначанню найбільш енергоефективних геометричних, теплофізичних та гідродинамічних параметрів фазоперехідних теплових акумуляторів типу «труба в трубі» на основі проведення термодинамічної оптимізації системи.

Мій офіційний висновок з оцінкою роботи аспіранта 4 року навчання Юркова Романа Сергійовича подано до відділу аспірантури та голові на засіданні сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару. Коротко зупинюся на основних його положеннях.

Юрков Роман Сергійович у 2020 році закінчив факультет прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за спеціальністю «Прикладна математика», отже має фундаментальну математичну й ІТ-підготовку. Після закінчення магістратури він виявив бажання вступити до аспірантури на кафедру комп'ютерних технологій, де й навчається до теперішнього часу.

Протягом навчання в аспірантурі Роман Сергійович повністю і своєчасно виконав освітню складову індивідуального навчального плану та індивідуальний план наукової роботи.

У процесі виконання індивідуального плану наукової роботи та підготовки дисертації Роман Сергійович працював систематично, сумлінно і творчо. Основні результати дисертації отримано ним самостійно.

Не буду перераховувати обов'язкові елементи дисертаційної роботи. Роман Сергійович докладно представив їх у доповіді, а члени семінару матимуть нагоду надати власну оцінку його здобутків.

Основні результати дисертації опубліковано у 3 статтях, зокрема 2 статті – у виданнях, що проіндексовані у наукометричній базі Scopus, 1 стаття у фаховому виданні України категорії Б. Отже, відповідно до п. 8 чинного Порядку... кількість публікацій складає 4 одиниці: 1 стаття (з одним співавтором у фаховому виданні України), та 2 статті у двох різних виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, при чому одне з них віднесене до третього квартилю (Q3) і тому зараховується як дві публікації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на підсумкових наукових конференціях в ДНУ та на п'яти міжнародних конференціях, перелік яких є в дисертації. Проведене дослідження складає розділ ініціативної науково-дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022 – 2024 рр.), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Окрім зазначених здобутків у науковій роботі хотіла би відмітити ділові якості Романа Сергійовича, його пунктуальність, відповідальність, надзвичайну працездатність. Вважаю, що за роки навчання в аспірантурі Р.С. Юрков сформувався як грамотний висококваліфікований фахівець та наполегливий дослідник, здатний знаходити та обґрунтовувати ефективні шляхи і засоби

розв'язання актуальних наукових задач, розробляти відповідне програмне забезпечення, проводити аналіз одержаних результатів та робити на основі цього практично важливі висновки.

Хотілося б висловити побажання, щоб після закінчення аспірантури Роман Сергійович не полишав наукову діяльність, і, за умови позитивного рішення нашого семінару та подальшого позитивного рішення разової спеціалізованої вченої ради щодо його дисертації, мав можливість продовжувати співпрацю з кафедрою комп'ютерних технологій та факультетом прикладної математики як викладач або як стейкхолдер.

Підсумовуючи, хочу сказати, що мені особисто було надзвичайно приємно працювати з Романом Сергійовичем. Сподіваюся на вашу підтримку його дисертаційної роботи, яку я, як науковий керівник, рекомендую до захисту на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Дякую за увагу.

В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ ЮРКОВА Р.С. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

Кандидат фізико-математичних наук, доц. Турчина В.А., зав. кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

У дисертаційній роботі Юркова Р.С. чітко сформульовані та виконані поставлені задачі. Ці задачі досить амбітні, бо сама фізична модель і процесі, що в ній мають місце, дуже складні і взаємопов'язані. Розробка спряженої моделі задачі Стефана і відповідного числового алгоритму вважаю одним з головних досягнень здобувача. Проведення моделювання в такій постановці майже неможливо здійснювати на основі стандартних комерційних CFD пакетів. Тому створення власного програмного коду – це важливий науковий і практичних здобуток Романа Сергійовича.

Хочу відмітити, що всі отримані результати опубліковано у фахових наукових виданнях, при чому дві статті опубліковані у виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus. Дисертантом було проведено апробацію матеріалів дисертації на достатній кількості міжнародних наукових конференцій.

Я підтримую цю роботу і пропоную винести позитивне рішення нашого семінару та рекомендувати її до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Доктор технічних наук, проф. Байбуз О.Г., зав. кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Математика дослідження дуже актуальна в теперішній час, бо присвячена

пошуку нових енергоефективних технологій збереження тепла. Ця тема особливо актуальна для систем на основі відновлюваних джерел енергії. Стабільне функціонування таких систем взагалі майже неможливо без акумуляції енергії.

Юрков Р.С. розглядає модель фазоперехідного теплового акумулятора, в якому всі процеси взаємопов'язані. Це значно ускладнює моделювання і вимагає використання штучних прийомів, що і було зроблено при створенні числового алгоритму. Це робить необхідним проведення всебічної верифікації, три етапи якої здобувач прекрасно продемонстрував під час доповіді.

Вважаю, що в роботі зроблено значний внесок у розробку методів та алгоритмів для розв'язання задачі Стефана у спряженій постановці. В дисертації присутні актуальність, новизна, підтвердження достовірності результатів, тому я рекомендую цю роботу до захисту на разовій раді.

Доктор технічних наук, проф. Габрінець В.О., професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Вважаю роботу цікавою, актуальною і такою, що має великі перспективи щодо практичного впровадження. Протягом декількох років в ДНУ розвивалась подібна тематика досліджень, але, на жаль, вона було згорнута завдяки об'єктивним обставинам. Подібні дисертації дозволять знов відродити цей актуальний науковий напрямок на новому сучасному рівні.

Саме такий рівень дослідження представлено в роботі Юркова Р.С. Я вважаю, що в його роботі присутні всі основні елементи наукового дослідження, а саме, критичний огляд сучасних досліджень в даній галузі, чітке визначення фізичної моделі, її геометрії, типу теплоносія та теплоакumuлюючого матеріалу, розробка математичної моделі, в якій враховані всі теплофізичні та гідродинамічні ефекти процесу, створення числового алгоритму та відповідного програмного додатку, проведення комп'ютерного моделювання. Всі ці елементи та відповідні результати Юрков Р.С. продемонстрував під час доповіді.

Тому я позитивно оцінюю роботу Романа Сергійовича і рекомендую її до захисту на разовій раді за спеціальністю «Прикладна математика».

Доктор технічних наук, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Робота Юркова Р.С. цікава і дуже сучасна. Процеси, які моделюються в даній дисертації, мають місце не тільки в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина». Такі процеси протікають в сучасних електромобілях, де необхідно проводити охолодження батарей, в системах охолодження серверів та інших подібних пристроїв. Запропоновані в роботі Юркова Р.С. методи та підходи є новими, всебічно ним вивченими та проаналізованими. Вважаю важливим елементом роботи врахування дії вільної конвекції в розплаві теплоакumuлюючого матеріалу. Як правила, при розв'язанні

задачі Стефана методами уявленої теплоємності, ефект від дії вільної конвекції не враховується. Але Роман Сергійович запропонував підхід, який опосередковано враховує вільноконвективні потоки, що вважаю важливим при розробці подібних алгоритмів.

Я підтримую цю роботу і пропоную винести позитивне рішення нашого семінару та рекомендувати роботу до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Кандидат технічних наук, доц. Моїсеєнко С.В., доцентка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету

Я приєднуюсь до слів Павла Григоровича щодо високої оцінки роботи, її актуальності і новизни. Робота є оригінальною, в ній використовуються підходи, які не є широко відомими та популярними в практиці комп'ютерного моделювання. При розробці числового алгоритму було розв'язано фактично дві взаємопов'язані задачі – про конвективний рух теплоносія та про фазовий перехід в теплоакумулюючому матеріалі. Для реалізації такого числового алгоритму Романом Сергійовичем було розроблено власний програмний додаток, який вже можна вважати окремим здобутком. Як відзначив вище Павло Григорович, застосування такого додатку дозволить проводити моделювання не тільки процесів в тепловому акумуляторі параболоциліндричних сонячних станцій, а і подібних спряжених фазоперехідних процесів в інших складних технічних пристроях.

Взагалі вважаю, що виконана дуже складна та об'ємна наукова робота. За кількістю представлених результатів робота Юркова Р.С. значно перевищує вимоги щодо PhD дисертацій. Безумовно підтримую цю роботу і пропоную винести позитивне рішення нашого семінару та рекомендувати цю роботу до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Доктор технічних наук, с.н.с. Накашидзе Л.В., провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Тема роботи Юркова Р.С., безумовно, актуальна, містить багато розрахунків, на основі яких сформульовані нові висновки. В роботі всебічно проаналізовані всі процеси, які впливають на загальний температурний режим теплового акумулятора, запропоновані реальні технічні рішення для вирівнювання границі розподілу фаз, що призведе до отримання постійної температури теплоносія на виході з каналу. Це особливо актуально для стабільного функціонування обраного циклу перетворення сонячної енергії.

Доповідь здобувача систематизована та добре стилізована. На всі питання отримані розгорнуті відповіді, всі формальності з публікаціями виконані, і здобувач, на мій погляд, набув необхідних професійних компетентностей для захисту роботи і отримання ступеня доктора філософії.

Як побажання хочу запросити Романа Сергійовича для подальшої співпраці за даною тематикою до нашого науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві.

Я підтримую цю роботу і пропоную винести позитивне рішення нашого семінару та рекомендувати її до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді.

Доктор фізико-математичних наук, проф. Гук Н. А., в. о. проректора з науково-педагогічної роботи, професорка кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Ми почули змістовну наукову доповідь, після якої відбулась плідна наукова дискусія. Під час доповіді і в ході дискусії Роман Сергійович проявив себе повністю сформованим дослідником, який здатен самостійно ставити та розв'язувати складні наукові задачі в галузі прикладної математики.

Вважаю дисертаційну роботу Юркова Р.С. завершеною науковою працею, яка відповідає всім необхідним вимогам. Крім того, здобувач повністю виконав освітню складову, має достатню кількість публікацій, провів апробації свого дослідження. Тому хочу підтримати роботу Романа Сергійовича і рекомендувати її для подальшого захисту на разові раді.

Голова семінару, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., в.о. декана факультету прикладної математики, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи є ще бажаючі виступити? Якщо немає, то я хочу відмітити, що на мене робота справила дуже позитивне враження. Відчувається, що здобувач добре володіє предметом, чітко відповідає на всі питання, що свідчить про те, що він повністю сформувався як фахівець та дослідник.

Формальні моменти в роботі Юркова Р.С. також виконані в повному обсязі. Кількість публікацій достатня. Вважаю, що у нас є всі підстави проголосувати за те, щоб подати дисертацію Юркова Р.С. до захисту і побажати йому подальших успіхів.

Тепер щодо формальної процедури. Якщо немає питань до голови семінару, до здобувача, то давайте перейдемо до висновку.

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації

Проблема акумулювання теплоти особливо гостро стає під час проектування та експлуатації енергетичних системи на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних. Безперебійне функціонування сонячних термодинамічних систем забезпечують теплові акумулятори, серед яких значні перспективи мають теплові акумулятори з фазовим переходом «тверде тіло – рідина». Такі теплові акумулятори мають високі енергетичні показники завдяки додатковому використанню теплоти фазового переходу, компактний розмір, високу надійність та екологічну безпеку. Такі пристрої функціонують безшумно, в них відсутні рухомі елементи та деградація після великої кількості циклів зарядки – розрядки, вартість фазоперехідних теплових акумуляторів невисока.

Незважаючи на такі суттєві переваги, подібні системи ще не набули широкого розповсюдження. Це пов'язано, перш за все, із недостатнім рівнем дослідження процесів тепломасообміну в них. Такі дослідження необхідно проводити, базуючись на адекватних математичних моделях і відповідних числових алгоритмах. Побудова таких моделей, створення алгоритмів, програмних додатків для проведення комп'ютерного моделювання процесів тепломасообміну в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» є актуальною науковою задачею, яка була розв'язана в даній роботі.

Розроблені моделі, алгоритми та програмні додатки та отримані на їх основі результати складають відповідний розділ ініціативної науково-дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (2022 – 2024, науковий керівник проф. Книш Л.І., державний реєстраційний номер 0122U001467), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

Затвердження теми та плану дисертації.

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 4 від 19 листопада 2020 року) та уточнена на засіданні вченої ради факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 7 від 21 лютого 2024 року) у формулюванні «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина».

Науковим керівником призначено д-ра. техн. наук, проф. Книш Л.І.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Дослідження за темою дисертації здійснювалися в рамках відповідного розділу ініціативної науково-

дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (2022 –2024, науковий керівник проф. Книш Л.І., державний реєстраційний номер 0122U001467), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

Публікації та особистий внесок здобувача. За темою дисертації опубліковано 3 статті. Дві з них опубліковані у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, а одна стаття – у виданні, що входить до переліку наукових фахових видань України категорії Б. Основні результати дисертації отримано автором самостійно. Визначення загального плану досліджень належить науковому керівнику проф. Л.І. Книш. У працях, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у побудові числових та аналітичних розв'язків, їхній програмній реалізації, візуалізації отриманих результатів, верифікації даних комп'ютерного моделювання. Публікації Юркова Р.С. відповідають вимогам пп. 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується використанням добре апробованих математичних моделей, коректністю математичних постановок задач, використанням методів та алгоритмів, що є теоретично обґрунтованими та не суперечливими із відомими положеннями інших авторів, контрольованою точністю обчислень, доброю узгодженістю між собою числових та аналітичних результатів, несуперечністю отриманих результатів відповідним опублікованим результатам інших авторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. **Вперше** розроблена 3D математична модель спряженої задачі Стефана, створений відповідний числовий алгоритм та **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в тепловому акумуляторі з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» типу «труба в трубі».
2. **Вперше** розроблено метод врахування вільної конвекції в розплаві теплоакumulюючого матеріалу для теплового акумулятора типу «труба в трубі», визначено вплив режиму течії теплоносія на інтенсивність вільної конвекції в розплаві.
3. **Вперше** запропоновані методи вирівнювання розподілу температур в теплоакumulюючому матеріалі, що базуються на варіаціях швидкості теплоносія в просторі та часі.

4. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність фазоперехідного теплового акумулятора при мінімальних гідродинамічних втратах теплоносія.

Наукове та практичне значення роботи.

У дисертаційній роботі розробляються та створюються моделі, методи та алгоритми, які використовуються для опису та дослідження процесів енергопереносу в теплових акумуляторах з фазовим переходом. Розроблені моделі та проведені на їх основі комп'ютерне моделювання дозволяє визначити основні енергетичні параметри фазоперехідних теплових акумуляторів відповідної геометрії уникаючи складних і коштовних натурних експериментальних досліджень. Проведена термодинамічна оптимізація фазоперехідного теплового акумулятора типу «труба в трубі» дозволила визначити числа Рейнольдса теплоносія, які забезпечують максимальну теплову ефективність системи.

В роботі на основі розробленого числового алгоритм був створений власний програмний код, який має узагальнений характер. Структура коду прозора та гнучка, що дозволяє легко трансформувати її для розрахунку фазоперехідних теплових акумуляторів будь-якої геометрії.

Отримані під час дослідження результати можна використовувати під час проектування та функціонування теплових акумуляторів з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» сонячних термодинамічних систем різного типу та призначення.

Окремі теоретичні та практичні результати роботи включені до обов'язкової навчальної дисципліни «Моделі і методи прикладної математики» та вибіркової дисципліни «Методи ідентифікації параметрів математичних моделей», які викладаються для здобувачів вищої освіти рівня PhD спеціальності 113 Прикладна математики в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара. Крім того, результати дисертаційної роботи також можуть бути використані при виконанні курсових та дипломних робіт студентами факультету прикладної математики.

Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативної науково-дослідну роботу «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (2022 – 2024, науковий керівник проф. Книш Л.І., державний реєстраційний номер 0122U001467), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

Список опублікованих праць за темою дисертації
Стаття у науковому фаховому виданні України категорії Б:

1. Юрков Р.С., Книш Л.І. Верифікація математичної моделі задачі Стефана в рамках методу “Mushy layer”, *Технічна механіка*, 2021, № 3, С. 119 – 125

Режим доступу до ресурсу:

http://www.journal-itm.dp.ua/UKR/Publishing/12-03-2021_ukr.html

DOI: <https://doi.org/10.15407/itm2021.03.119>

Статті у наукових виданнях, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus

2. Юрков Р.С., Книш Л.І. Моделювання вільної конвекції в розплаві в тепловому акумуляторі фазового переходу “тверде тіло – рідина”, *Відновлювана енергетика*, 2022, №4(71). С.90 – 96.

Режим доступу до ресурсу: <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/379>

DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4\(71\).90-96](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).90-96)

3. Knysh Lyudmila, Yurkov Roman. Coupled mathematical model of heat and mass transfer in the thermal energy storage module with phase transition “solid body – liquid”, *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*. 2023. Vol.59, no.4, P. 579 – 586.

Режим доступу до ресурсу:

<https://link.springer.com/article/10.3103/S0003701X23600297>

DOI: <https://doi.org/10.3103/S0003701X23600297>

Додаткові праці апробаційного характеру

4. Юрков Р.С., Книш Л.І. Числовий алгоритм розрахунку задачі Стефана на основі метода “Mushy layer”. *Збірник тез XXIII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції “Людина і космос”, м. Дніпро, 14 –16 квітня 2021р. С.80.*

Режим доступу до ресурсу: <https://spacehuman.org/files/doc/sbornik2021.pdf>

5. Юрков Р.С., Книш Л.І. Моделювання теплообміну в фазоперехідному тепловому акумуляторі сонячної термодинамічної установки, *XXIII Міжнародна науково-практична онлайн—конференція “Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті”, м. Київ, 19 – 20 травня 2022 р. С. 160 – 162.*

Режим доступу до ресурсу: https://www.ive.org.ua/?page_id=3328&lang=uk

6. Книш Л.І., Масаликін С.С., Юрков Р.С., Борисенко А.Г. Мультифізична математична модель тепломасообміну в системі прийому та акумуляції сонячної енергії, *Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції “Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ІТММ’2022”, м. Дніпро, 8 травня 2022 р., С. 123 – 126.*

Режим доступу до ресурсу:

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm/issue/view/122>

7. Юрков Р.С., Книш Л.І. Оптимізація параметрів фазоперехідного теплового акумулятора методами нерівноважної термодинаміки, *XXIV Міжнародна науково-практична конференція "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті"*, м. Київ, 18 – 19 травня 2023 року, С. 186-188.

Режим доступу до ресурсу: https://www.ive.org.ua/?page_id=4241&lang=uk

8. Юрков Р.С., Книш Л.І. Комп'ютерне моделювання спряженої задачі Стефана в тепловому акумуляторі з фазовим переходом "тверде тіло – рідина". *Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції "Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем"*, м. Дніпро, 22 – 24 листопада 2023р. С. 314 – 315.

Режим доступу до ресурсу:

<http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2023/11/mpzis-2023.pdf>

На підставі заслуховування та обговорення доповіді Юркова Р.С. про основні положення дисертаційної роботи, питань та відповідей на них

УХВАЛИЛИ:

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Юркова Романа Сергійовича на тему «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

2. Рекомендувати дисертаційну роботу Юркова Романа Сергійовича на тему «Моделювання енергетичних потоків в теплових акумуляторах з фазовим переходом «тверде тіло – рідина» до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

3. Клопотати перед вченою радою університету розглянути питання про створення спеціалізованої вченої ради для проведення разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика Юркова Романа Сергійовича у такому складі:

№ з/п	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
1.	Гук Наталія Анатоліївна (голова)	Дніпровський національний університет імені Олесь Гончара Міністерства освіти і науки України, в.о. проректора з науково- педагогічної роботи	доктор фізико- математичних наук 01.02.04- механіка деформівного твердого тіла 2011 р., Україна	професор кафедри комп'ютерних технологій, 2016 р., Україна	<p>Guk N. A., Kozakova N. L. Delamination of a Three-Layer Base Under the Action of Normal Loading. <i>J. Math. Sci.</i> 2021. Vol. 254, P. 89 – 102. (Scopus). DOI: https://doi.org/10.1007/s10958-021-05290-w URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10958-021-05290-w</p> <p>Guk N., Verba O., Yevlakov V. Design of a Recommendation System Based on the Transition Graph. <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.</i> 2021, 3, С. 24 – 31. (Scopus). DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233501 URL: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/233501</p> <p>Гук Н. А., Єгошкін Д. І. Налаштування та навчання нечіткої моделі для задачі класифікації. <i>Вісник Запорізького національного університету. Серія фіз.-мат. наук.</i> 2021. Вип. 1. С. 33 – 43. (фахове видання, категорія Б). DOI: https://doi.org/10.26661/2413-6549-2021-1-04 URL: http://journalsofznu.zp.ua/index.php/phys-math/article/view/2286</p> <p>Гук Н. А. Ідентифікація пошкоджень в деформівних системах на основі нечіткого логічного виведення. <i>Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій</i>, 2023. Вип. 37. С. 20 – 29. (фахове видання, категорія Б). DOI: https://doi.org/10.15421/4223213 URL: https://pommk.dp.ua/index.php/journal/article/view/583</p>

1	2	3	4	5	6
2.	Гакал Павло Григорович (опонент)	Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри аерокосмічної теплотехніки	Доктор технічних наук, 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика 2012 р., Україна	Доцент за кафедрою аерокосмічної теплотехніки, 2003 р., Україна	<p>Gorbenko G.A., Gakal P.G., Turna R. Yu., Hodunov A. M., Reshytov E.R. Heat transfer in evaporator of thermal sink in presence of subcooled boiling section, <i>International Journal of Heat and Technology</i>, 2021, Vol. 39, Is. 2, P. 375 – 382. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.18280/ijht.390206 URL: https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.390206</p> <p>Gorbenko G.O., Koval P.S., Yepifanov K.S., Gakal P.G., Turna R.Yu., Mathematical Model of Heat-Controlled Accumulator (HCA) for Microgravity Conditions, <i>SAE International Journal of Aerospace</i>, 2020, Vol. 13, Is.1, P. 5 – 23. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.4271/01-13-01-0001 URL: https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/01-13-01-0001/</p> <p>Gorbenko G.O., Gakal P.H., Turna R.Yu., Hodunov A.M. Retrospective review of a two-phase mechanically pumped loop for spacecraft thermal control systems, <i>Journal of Mechanical Engineering</i>, 2021, Vol.24, no.4, P.27 – 37. (фахове видання, категорія Б). DOI: https://doi.org/10.15407/pmach2021.04.027 URL: https://journals.uran.ua/jme/article/view/248497</p>
3.	Моїсеєнко Світлана Вікторівна (опонент)	Херсонський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри	Кандидат технічних наук, 05.01.01 - прикладна геометрія, інженерна графіка 2008р., Україна	Доцент по кафедрі вищої математики та математичного моделювання 2015р., Україна	Redchyts D.O. Shkvar E.A. Moiseienko S.V. Computational simulation of turbulent flow around tractor-trailers, <i>Fluid Dynamics and Materials Processing</i> , 2020, Vol. 6, Is.1, P. 91 – 103. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.32604/fdmp.2020.0

1	2	3	4	5	6
		загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання			<p>7933 URL: https://www.techscience.com/fdmp/v16n1/38336</p> <p>Moiseienko S., Tuchyna U., Redchyts D, Zaika V., Vygodner I., Comparative Analysis of Numerical Methods for Solving Linear Equation Systems for Poisson's Equation, <i>Lecture Notes in Mechanical Engineering</i>, 2023, P. 169 – 177. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_17 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18487-1_17</p> <p>Redchyts D.O., Moiseienko S.V., Numerical simulation of unsteady flows of cold plasma during plasma actuator operation, <i>Space Science and Technology</i>, 2021, Vol. 27, Is. 1, P. 85 – 96. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.15407/knit2021.01.085 URL: http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2021/1/03</p>
4.	Габрінець Володимир Олексійович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерство освіти і науки України, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки 1995 р., Україна	Професор за кафедрою інформаційних технологій та інформаційних систем, 2002р., Україна	<p>Nakashydz, L., Gabrinets, V., Mitikov, Y., Alekseyenko, S., & Liashenko, I., Determination of features of formation of energy supply systems with the use of renewable energy sources in the transition period. <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, 2021, Vol.5, no.8 (113), P.23 – 29. (Scopus) DOI: https://journals.uran.ua/eejet/article/view/243112 URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112</p> <p>Gabrinets, V., Nakashidze L., Influence of the physical and technical characteristics of the construction layers of solar radiation</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>converters on the efficiency of functioning, <i>Vidnovluvana Energetika</i>, 2022, no.2 (69), P. 5 – 12. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).5-12 URL: https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/337/272</p> <p>Габрінець В., Накашидзе Л. Нова проектна методика розрахунку основних параметрів сонячного колектора. <i>Вісник Дніпровського університету, Серія ракетно-космічна -техніка</i>, 2023, випуск 26, №4, Т.31, С. 167 –173. (фахове видання, категорія Б). DOI: https://doi.org/10.15421/452321 URL: https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/article/view/188</p>
5.	Накашидзе Лілія Валентинівна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерство освіти і науки України, провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві	Доктор технічних наук, 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії, 2019 р., Україна	Старший науковий співробітник за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції та будівлі, 2015 р., Україна	<p>Hilorme T., Nakashydz L. Tonkoshkur A. and others Devising a calculation method for determining the impact of design features of solar panels on performance, <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, 2023, Vol. 3, no.8 (123), P. 30–36. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280740 URL: https://journals.uran.ua/eejet/article/view/280740</p> <p>Гільорме Т.В., Накашидзе Л.В. Техніко-економічне обґрунтування вибору способу електротеплового захисту сонячних батарей в енергоустановках космічних апаратів, <i>Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки</i>, 2022, №6(365), С. 69 – 76. (фахове видання, категорія Б) DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-69-76 URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>=15458</p> <p>Hilorme T., Nakashidze L., Liashenko I. The model for forecasting sales of energy supply systems based on renewable energy sources, <i>Mechanism of an economic regulation</i>, 2023, 1(99), P. 75 – 80. (фахове видання, категорія Б) DOI: https://doi.org/10.32782/mer.2023.99.12 URL: http://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/133</p>

Результати голосування:

«За» – 43 особи ,
 «Проти» – немає,
 «Утримались» – немає.

**Голова
 наукового семінару**

Секретар



Олена КІСЕЛЬОВА

Олександр КУЗЕНКОВ