

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара
Олег МАРЕНКОВ
«11» 05 2024 р.



ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Борисенка Андрія Геннадійовича на тему «Математичне та комп'ютерне
моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних
термодинамічних станцій», 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;

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

Красношапка 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 Борисенка Андрія Геннадійовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій», 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 «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій».

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 Борисенка Андрія Геннадійовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій» 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 Борисенка А.Г. має високий рівень унікальності (92,18 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 139 сторінках і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури.

Слово надається аспіранту Борисенко А.Г. Будь ласка, регламент виступу – 30 хвилин.

Аспірант Борисенко А.Г.

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

Тема моєї дисертації: «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій»

Актуальність теми.

Термодинамічне перетворення енергії Сонця є перспективним напрямком сучасної відновлюваної енергетики. Сонячні термодинамічні станції з параболоциліндричними концентраторами мають найвищі енергетичні, економічні та екологічні показники серед інших типів сонячних термодинамічних систем. Ключовим елементом сонячної параболоциліндричної станції є система прийому енергії Сонця, що складається із концентратора та трубчатого теплоприймача в його фокусі. Теплоносій, що рухається всередині теплоприймача, нагрівається від концентрованого сонячного потоку і передає отриману теплову енергію для подальшого перетворення в паротурбінному циклі.

Від теплової ефективності системи прийому напряму залежить загальна ефективність перетворення, тому важливим є пошук методів інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоносії станції. Одним з методів інтенсифікації конвективного теплообміну є використання спеціальних теплоносіїв – нанорідин, які отримані шляхом додавання в базовий теплоносій параболоциліндричних станцій частинок різних матеріалів нанометрового розміру. Такі наночастинки змінюють властивості базового теплоносія, покращуючи його спроможність передавати тепло.

Незважаючи на суттєві переваги, які мають нанорідини з точки зору покращення конвективного теплообміну, вони ще не набули широкого розповсюдження. Це пов'язано, перш за все, із недостатнім рівнем дослідження процесів тепломасообміну в них. Ці 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 системах прийому сонячних термодинамічних станцій із нанорідинним теплоносієм 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 прийому сонячного випромінювання сонячних термодинамічних станцій; пошук методів підвищення теплової ефективності систем прийому; доведення перспектив використання нанорідини в якості теплоносія для інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоприймачах сонячних термодинамічних станцій; визначання співвідношення між теплофізичними та гідродинамічними параметрами нанорідинного теплоносія, при якому тепла ефективність буде максимальною, а гідравлічні втрати мінімальні.

Для досягнення зазначеної мети було поставлені та розв'язані такі *наукові задачі*:

- розроблена та верифікована 3D математична модель конвективного теплообміну в теплоприймачі параболоциліндричних станцій із нанорідиною при тривіальних та реальних граничних умовах;
- визначені теплофізичні властивості обраної нанорідини та їх залежність від температури та концентрації наночастинок;
- знайдена функція апроксимації розподілу концентрованого сонячного потоку на поверхні теплоприймача;
- розроблений комп'ютерний алгоритм та створений програмний код для визначення температурних полів та локального коефіцієнту тепловіддачі в потоці нанорідини;
- визначені залежності між теплофізичними та гідродинамічними параметрами нанорідини та проведена термодинамічна оптимізація теплоприймача з нанорідиною.

Об'єктом дослідження є процеси конвективного теплообміну в нанорідинному теплоносії систем прийому сонячних термодинамічних станцій.

Предметом дослідження є моделі, що описують процеси теплообміну в нанорідинному теплоносії систем прийому сонячних термодинамічних станцій, методи та алгоритми для розв'язання та аналізу запропонованих моделей.

Методи дослідження. Для розв'язання зазначених задач застосовано методи математичного моделювання, методи обчислень, а саме, методи контрольного об'єму та розщеплення, методи числового аналізу, методи статистичної обробки результатів експериментів, об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. **Вперше** на основі класичної системи рівнянь Нав'є-Стокса розроблена 3D нелінійна математична модель, створений числовий алгоритм та відповідний **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в теплоприймачі параболоциліндричної станції з нанорідиною в якості теплоносія.
2. **Вперше** на основі числових експериментів доведено, що додавання наночастинок оксиду алюмінію до базового теплоносія (термічної олії) параболоциліндричної станції призводить до інтенсифікації теплообміну в теплоприймачі, що підвищує загальну теплову ефективність системи.
3. **Вперше** визначені якісні та кількісні показники, які показують суттєве збільшення втрат тиску в теплоприймачі з нанорідиною в порівнянні із чистою термічною олією. Знайдена залежність чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса для нанорідини та доведена необхідність проведення термодинамічної оптимізації системи.
4. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел

Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність при мінімальних гідродинамічних втратах.

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, аналітичних та експериментальних результатів, несуперечністю отриманих результатів відповідним опублікованим результатам інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. На основі розробленого числового алгоритму, що базується на методі контрольних об'ємів, був створений власний програмний код, який має узагальнений характер і, в разі незначної корекції, може застосовуватися для розрахунку течії в круглих каналах з нанорідиною, які є елементом будь-якого технологічного обладнання. Крім того, створений програмний код має гнучку та прозору структуру, що дозволяє без змін структури підлаштовувати його під будь-який тип 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 теплоносія використовуються нанорідини різного типу.
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, чотирьох розділів та висновків.

У першому розділі було розглянуто типи термодинамічних систем перетворення енергії Сонця, їх переваги та недоліки. Наведено принцип дії сучасної двоконтурної параболоциліндричної станції, визначене ключове місце системи прийому такої станції з точки зору її енергетичної ефективності.

Представлена фізична модель, що досліджується в дисертації. Ця модель складається із параболоциліндричного концентратора, в фокусі якого знаходиться трубчатий теплоприймач із теплоносієм. Проаналізовано методи інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоприймачах та доведені перспективи використання для цього нанорідинних теплоносіїв. Описані типи нанорідинних теплоносіїв та методи їх виготовлення для подальшого використання в сонячних термодинамічних системах. Наведена вартість популярних наночастинок та критерії їх вибору для виготовлення нанорідин.

Проаналізовані сучасні наукові дослідження з точки зору методів дослідження конвективного теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій. На основі проведеного аналізу обраний метод дослідження та сформульовані основні задачі дослідження.

У другому розділі наведена загальна схема дослідження, яка складається із трьох основних етапів – комп'ютерне моделювання та верифікація отриманих результатів для створеної 3D математичної моделі конвективного теплообміну в теплоприймачі з нанорідиною при граничних умовах першого роду; комп'ютерне моделювання та верифікація отриманих результатів для створеної 3D математичної моделі конвективного теплообміну в теплоприймачі з нанорідиною при реальних умовах функціонування параболоциліндричної станції; проведення термодинамічної оптимізації системи.

Математична модель конвективного теплообміну в нанорідинному теплоносії була розроблена на основі класичної системи рівнянь Нав'є-Стокса в припущенні тонкого шару. Залежність теплофізичних параметрів нанорідини від температури визначалась із використанням напівемпіричних співвідношень, в яких комбінувались теплофізичні властивості наночастинок та функції температурної залежності теплофізичних параметрів базової рідини. Ці функції знаходились шляхом апроксимації експериментальних даних.

Числовий алгоритм для розробленої 3D математичної моделі будувався на основі методу контрольованого об'єму із процедурою розщеплення за просторовими координатами. Врахування температурної залежності для теплофізичних параметрів нанорідини проводилось у відповідності до квазілінійного підходу. На основі побудованого числового алгоритму розроблено програмний застосунок та проведено комп'ютерне моделювання процесів конвективного теплообміну в теплоприймачі з нанорідиною при постійному тепловому потоці на поверхні. Аналіз результатів показав, що додавання наночастинок у базовий теплоносій підвищує його температуру на виході, що призводить до підвищення теплової ефективності системи прийому.

Створена математична модель та отримані числові дані були верифіковані шляхом порівняння із аналітичним розв'язок тестової задачі. В якості тестової була розв'язана задача про конвективний теплообмін в круглому каналі при сталій швидкості теплоносія і постійній температурі стінки. Порівняння отриманих числових та аналітичних результатів показало їх повний збіг, що свідчить про адекватність запропонованої моделі та числового алгоритму.

У третьому розділі проведено комп'ютерне моделювання конвективного теплообміну в каналі з нанорідиною при реальних умовах функціонування параболоциліндричних станцій. Розроблена 3D математична модель була доповнена граничними умовами, що описують нерівномірний концентрований сонячний потік від концентратора та конвективні та радіаційні втрати з поверхні теплоприймача.

Нерівномірний сонячний потік від концентратора був розрахований методом Монте-Карло. Отримані цим методом точкові значення щільності теплового потоку на поверхні теплоприймача були апроксимовані нелінійною функцією. Ця функція апроксимація вводилась у вираз для відповідних граничних умов.

Конвективні втрати з поверхні теплоприймача розраховувались на основі класичних критеріальних рівнянь для зовнішнього обтікання циліндру, а радіаційні втрати розраховувались за законом Стефана – Больцмана.

Базуючись на отриманих співвідношеннях, розроблений числовий алгоритм був скорегований та доповнений. Представлена блок-схема числового алгоритму, на основі якої було удосконалено програмний застосунок. Проведене комп'ютерне моделювання конвективного теплообміну в нанорідині при реальних умовах функціонування станції показало підвищення енергетичних показників в системі прийому, що призводить до зростання загальної енергетичної ефективності системи перетворення.

Верифікація розробленої математичної моделі та отриманих числових результатів проводилась шляхом порівняння із експериментальними даними, які отримані для базового теплоносія – силіконової олії. Порівняння числових та експериментальних даних показало їх задовільний збіг, що свідчить про адекватність запропонованої моделі та коректність числових результатів.

У четвертому розділі представлена термодинамічна оптимізація теплоприймача з нанорідиною. Проведення такої оптимізації пов'язано з тим, що при додаванні наночастинок у базовий теплоносій суттєво підвищуються втрати тиску в системі. Таке підвищення може компенсувати позитивний енергетичний ефект від додавання наночастинок у теплоносій. Справедливість цього твердження доведено на основі проведеного гідравлічного аналізу системи прийому.

Визначення оптимальних чисел Рейнольдса при яких теплові характеристики теплоносія будуть максимальні, а гідродинамічні втрати мінімальні, проводилось з використанням принципів нерівноважної термодинаміки. Для проведення ентропійного аналізу системи прийому з нанорідиною проаналізовані відповідні термодинамічні потоки та термодинамічні сили. На основі такого аналізу визначені співвідношення та побудований графік залежності чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса. Аналіз графіку дозволив знайти діапазон значень чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальні енергетичні показники системи прийому з нанорідинним теплоносієм при мінімальних гідродинамічних втратах.

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

1. На основі всебічного аналізу сучасної наукової літератури визначені особливості термодинамічного способу перетворення енергії Сонця, обґрунтована необхідність проведення наукових досліджень сонячних параболоциліндричних станцій з точки зору підвищення їх теплової ефективності шляхом інтенсифікації конвективного теплообміну в системі прийому. Проаналізовані різні методи інтенсифікації теплообміну та обґрунтовано перспективність використання в якості теплоносіїв спеціально підготовлених суспензій – нанорідин.
2. **Вперше** на основі класичної системи рівнянь Нав'є-Стокса розроблена 3D нелінійна математична модель, створений числовий алгоритм та відповідний **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в теплоприймачах параболоциліндричних станцій з нанорідиною в якості теплоносія. Знайдені функції апроксимації, що описують теплофізичні властивості обраної нанорідини в залежності від температури та концентрації наночастинок.
3. Визначені нелінійні граничні умови на поверхні теплоприймача, в яких враховується значення концентрованого сонячного потоку, конвективні та радіаційні втрати. Функція, що описує нерівномірний розподіл концентрованого сонячного потоку, знаходилась шляхом апроксимації числових даних, які отримані методом Монте-Карло. Конвективні втрати визначались на основі класичних критеріальних рівнянь, а радіаційні втрати – на основі закону Стефана-Больцмана.
4. Розроблено числовий алгоритм, що базується на методі контрольних об'ємів з процедурою розщеплення за кутовою та радіальною координатами. Проведені числові експерименти по визначенню середньомасової температури та коефіцієнту тепловіддачі в нанорідинному теплоносії параболоциліндричних станцій.
5. **Вперше** на основі числових експериментів доведено, що додавання наночастинок оксиду алюмінію до базового теплоносія (термічної олії) параболоциліндричних станцій призводить до інтенсифікації теплообміну в теплоприймачі, що підвищує загальну теплову ефективність системи.
6. Проведено верифікацію розробленої математичної моделі та отриманих числових результатів шляхом порівняння із аналітичними та експериментальними даними. Аналітичні дані отримані на основі розв'язання тестової задачі про конвективний теплообмін нанорідини в круглій трубі при постійній температурі її поверхні. В якості експериментальних виступали дані, що отримані в реальних умовах функціонування параболоциліндричних станцій з чистою силіконовою олією в якості теплоносія.

7. **Вперше** визначені якісні та кількісні показники, які показують суттєве збільшення втрат тиску в теплоприймачі з нанорідиною у порівнянні із чистою олією. Знайдена залежність чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса для нанорідини та доведена необхідність проведення термодинамічної оптимізації системи.
8. Визначені та теоретично обґрунтовані основні етапі дослідження незворотних термодинамічних процесів в теплоприймачі параболоциліндричних станцій із нанорідиною. Проведений ентропійний аналіз системи та знайдені значення генерації ентропії в потоці нанорідини в залежності від чисел Рейнольдса.
9. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність при мінімальних гідродинамічних втратах.

Після закінчення доповіді до Борисенка А.Г. 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:

Математична модель в Вашій роботі розроблена на основі класичної системи рівнянь Нав'є – Стокса в припущенні тонкого шару. А як враховувався режим течії при такому припущенні?

Борисенко А.Г.:

Так, моделювання проводилось саме із використанням такого припущення. При цьому режим течії враховувався у вигляді функції, що характеризує профіль швидкості теплоносія. При ламінарному режимі використовувався класичний квадратичний профіль швидкості, а при турбулентному режимі – двошарова емпірична модель для профілю швидкості, що запропонована Рейхардом.

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

Чи доводилося Вам стикатись із нанорідинними теплоносіями в реальному житті чи при проведенні експериментальних досліджень?

Борисенко А.Г.:

На жаль, ні. На даний момент нанорідинні теплоносії знаходяться в процесі активних наукових досліджень, що підтверджується великою кількістю

публікацій у високореєтингових світових наукових виданнях. Саме на основі цих публікацій проведено огляд в моїй дисертації. Щодо експериментальних досліджень, то на даний момент в Україні їх майже неможливо організувати. Але великі перспективи існують в цьому напрямку в рамках міжнародної співпраці, перемовини про яку ведуться мною та моїм науковим керівником.

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

Чому Ви не використовували під час дослідження стандартні комерційні CFD пакети типу ANSYS та ін. для моделювання конвективного теплообміну.

Борисенко А.Г.:

В дисертації моделюються процеси, які, фактично, мають спряжений характер. Окремо розраховується радіаційний тепловий потік, що надходить на теплоприймач від параболоциліндричного концентратора, а також конвективні та радіаційні втрати з поверхні теплоприймача. Такі нетипові нелінійні граничні умови досить складно врахувати в CFD пакетах із закритим кодом. Крім того, закритий код не дозволяє прозора проаналізувати взаємний вплив теплофізичних та гідродинамічних процесів, провести відповідні параметричні дослідження. Вартість сучасних CFD пакетів є дуже високою, а студентські версії мало підходять для розрахунку високоінтенсивних процесів в енергетичних системах, що досліджуються.

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:

В розробленій математичній моделі існує гранична умова, яка описує нерівномірний тепловий потік на зовнішній границі теплоприймача. Аналітичний вираз для цієї умови отриманий, як свідчить з Вашої доповіді, на основі методу Монте-Карло. Чи Ви самі розробляли метод Монте-Карло?

Борисенко А.Г.:

Ні, алгоритм Монте-Карло я сам не розробляв. Цей алгоритм був розроблений раніш моїм керівником проф. Книш Л.І. Дискретні дані статистичного моделювання на основі методу Монте-Карло були апроксимовані мною та введені в мій числовий алгоритм, який розроблений для визначення параметрів конвективного теплообміну в нанорідинному теплоносії.

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

Чому саме таку базову олія було обрано для створення нанорідини? І чому обраний саме такий тип наночастинок?

Борисенко А.Г.:

Розроблена математична модель та відповідний числовий алгоритм можуть бути застосовані для будь-якого типу нанорідин. Для визначеності в роботі досліджувалась нанорідина, яку було виготовлено на основі базової термічної олії Syltherm800. Така силіконова олія часто використовується, як традиційна олія сонячних параболоциліндричних станцій. Вибір наночастинок оксиду алюмінію визначався властивостями цього матеріалу, а саме, температурною стійкістю, екологічною безпекою, хімічною стійкістю, малою розчинністю, легкістю виготовлення нанорідинної суспензії.

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

Чи розглядалось питання вартості наночастинок, зокрема наночастинок оксиду алюмінію?

Борисенко А.Г.:

Так, таке питання розглядалось в роботі. На слайді наведена таблиця, в якій вказані світові ціни на найбільш популярні наночастинок. Як можна спостерігати, діапазон цін є досить великим. Наночастинок оксиду алюмінію мають відносно низьку вартість. Крім того, ця хімічна сполука є широко розповсюдженою в природі. Це глинозем, яка використовується для виготовлення алюмінію.

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

Хочу продовжити два попередніх питання, які стосувались властивостей виготовленої нанорідини. Чи не втрачає така нанорідина властивостей під дією високих температур? Бо відомо, що технічні олії мають такий недолік.

Борисенко А.Г.:

Дійсно, технічні олії суттєво деградують під впливом високих температур, які є характерними для сонячних параболоциліндричних станцій. Це призводить до необхідності частої заміни олій. Особливо цей дефект є характерним для мінеральних технічних олій. Технічна олія Syltherm800 відноситься до силіконових олій, які менш схильні до деградації.

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

Чим обумовлена нелінійність розробленої Вами математичної моделі?

Борисенко А.Г.:

Нелінійність розробленої математичної моделі обумовлена трьома аспектами. По-перше, це нелінійний доданок в граничних умовах, що описує нерівномірний розподіл концентрованого сонячного потоку, який поступає від концентратора на поверхню теплоприймача. По-друге, це нелінійний доданок у граничних умовах, що характеризує радіаційні втрати з поверхні теплоприймача, які розраховуються за законом Стефана – Больцмана. І, по-третє, це залежність від температури теплофізичних властивостей теплоносія, а саме, його коефіцієнту теплопровідності, щільності, питомої теплоємності та в'язкості.

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 обрані саме такі значення концентрації наночастинок в нанорідині?

Борисенко А.Г.:

Значення концентрації наночастинок обирались на основі аналізу публікацій в провідних наукових журналах світу, в яких описані подібні дослідження.

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

Чим Ви можете пояснити таку малу похибку між числовими та експериментальними даними?

Борисенко А.Г.:

Верифікація результатів комп'ютерного моделювання проводилась шляхом порівняння із даними натурного експерименту. Цей експеримент проводився для чистої олії Syltherm800. Тобто порівнювались експериментальні та числові дані для чистої олії із миттєвими фіксованими значеннями зовнішніх параметрів. Тільки цим я можу пояснити відносно малі похибки. Слід також відмітити, що представлена таблиця – це лише фрагмент великої бази даних, яка ілюструє порівняння числових та експериментальних даних. Нажаль, в цій базі спостерігались і більш значні відхилення. В той же час слід відмітити, що ці відхилення не перевищували 4-5%.

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

На графіках, що ілюструють гідравлічний аналіз течії, в якості параметру виступає величина, яка виражена в мм. Що означає ця величина?

Борисенко А.Г.:

Ця величина показує якість (наявність шорсткості) внутрішньої поверхні теплоприймача. Для аналізу були обрані типові теплоприймачі параболоциліндричних станцій – металокерамічний, новий сталевий та сталевий, що був в експлуатації (з вапняним нальотом) з ефективною шорсткістю 0.0001 – 0.0015 мм, 0.02 – 0.1 мм та 1– 4 мм, відповідно.

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

Чи проводився аналіз того, як впливає використання нанорідини на енергетичні показники інших технологічних елементів параболоциліндричної станції?

Борисенко А.Г.:

Ні, на жаль, такий аналіз не проводився.

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

Що саме мається на увазі під якісними та кількісними показниками в п.3 наукової новизни даної роботи?

Борисенко А.Г.:

В даному контексте під якісними параметрами мається на увазі загальне збільшення коефіцієнту тепловіддачі (число Нуссельта) та коефіцієнту гідравлічних втрат при підвищенні числа Рейнольдса та концентрації наночастинок. Точні кількісні значення локальних чисел Нуссельта для нанорідини знайти досить складно завдяки наявності початкової ділянки теплообміну. Тому знаходились лише усереднені значення чисел Нуссельта, на основі яких проводилась подальша термодинамічна оптимізація.

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?

Борисенко А.Г.:

В дисертації детально описано інтегрування та побудову дискретних аналогів відповідних рівнянь математичної фізики. Числовий алгоритм представлено у вигляді блок-схеми на слайді. Так, схема була факторизована – розщеплення відбувалось за просторовими координатами. Спочатку процедура прогонки проводилась в радіальному напрямі на півцілому кроці по довжині, а потім, отримане температурне поле обиралось в якості початкової умови для проведення процедури прогонки в кутовому напрямку на півцілому кроці по довжині.

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:

Тоді продовжу своє питання. А яка кількість кроків обиралась за кожним напрямком і чи був крок інтегрування змінним?

Борисенко А.Г.:

Системи різницевих рівнянь розв'язувались на рівномірній сітці, яка містила 70000 кроків в радіальному напрямі і 7200 кроків у кутовому напрямі. Величина розрахункової сітки у повздовжньому напрямку була змінної і розраховувалось за умови, що значення локального числа Пекле на кожному кроці за координатою z не перевищувало $Pe < 2$.

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

Як впливає режим руху нанорідини на її теплофізичні показники?

Борисенко А.Г.:

Загальновідомо, що при турбулентній течії теплоносія тепловіддача збільшується. В той же час, в роботі розглядалось підвищення тепловіддачі не взагалі, а за рахунок додавання наночастинок в базовий теплоносій. І в цьому випадку картина дещо інша. В роботі доведено (рис.3.5), що при збільшенні швидкості теплоносія ефект від додавання наночастинок зводиться нанівець. Фізично це можна пояснити так: інтенсифікація конвективного теплообміну при додаванні наночастинок в базову рідину здійснюється за рахунок підвищення коефіцієнту теплопровідності нанорідини, тому під час ламінарного руху, в якому перенос тепла теплопровідністю відіграє вирішальну роль, спостерігається підвищення температури теплоносія. При переході до турбулентної течії вплив молекулярного переносу стає мінімальним, тому температурні поля в чистому

Syltherm800 і в нанорідині Syltherm800/Al₂O₃ майже повністю співпадають. Більш того, подальше підвищення швидкості теплоносія може призводити до того, що температура на виході для нанорідини стане меншою за вихідну температури чистої силіконової олії.

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 Борисенка Андрія Геннадійовича присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі, яка полягає у розробці та узагальненню методів математичного і комп'ютерного моделювання процесів тепломасопереносу в системах прийому сонячного випромінювання сонячних термодинамічних станцій; пошуку методів підвищення теплової ефективності систем прийому; доведенню перспектив використання нанорідин в якості теплоносія для інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоприймачах сонячних термодинамічних станцій; визначанню співвідношення між теплофізичними та гідродинамічними параметрами нанорідинного теплоносія, при якому тепла ефективність буде максимальною, а гідродинамічні втрати мінімальними.

Мій офіційний висновок із оцінкою роботи аспіранта 4 року навчання Борисенка Андрія Геннадійовича подано до відділу аспірантури та голові на засіданні сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару. Коротко зупинюся на основних його положеннях.

Борисенко Андрій Геннадійович 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 Андрій Геннадійович виявив бажання вступити до аспірантури на кафедру комп'ютерних технологій, де й навчається до теперішнього часу.

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

У процесі виконання індивідуального плану наукової роботи та підготовки дисертації аспірант Борисенко А.Г. працював системно, сумлінно і творчо. Основні результати дисертації отримано ним самостійно.

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

Основні результати дисертації опубліковано у 3 статтях, зокрема 1 стаття – у виданні, що проіндексовані у наукометричній базі Scopus, 2 статті у фахових виданнях України категорії Б. Отже, відповідно до п. 8 чинного Порядку... кількість публікацій складає 4 одиниці: 2 статті (з одним співавтором кожна у фахових виданнях України) та 1 стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, яке 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 шістьох 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 Андрія Геннадійовича, а саме, його пунктуальність, відповідальність, надзвичайну працездатність. Вважаю, що за роки навчання в аспірантурі А.Г. Борисенко сформувався як грамотний висококваліфікований фахівець та наполегливий дослідник, здатний знаходити та обґрунтовувати ефективні шляхи для 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 Андрій Геннадійович 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 Андрієм Геннадійовичем. 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 БОРИСЕНКА А.Г. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

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

Тематика дослідження цікава та актуальна, бо присвячена пошуку методів інтенсифікації конвективного теплообміну. Борисенко А.Г. пропонує підвищувати властивості передачі теплоти за рахунок додавання в базовий теплоносій наночастинок. В роботі досліджується теплоносій сонячних параболоциліндричних станцій. Але я вважаю, що запропонований підхід може бути застосований для дослідження параметрів конвективного теплообміну в будь-яких елементах технологічного обладнання із нанорідинним теплоносієм.

Борисенко А.Г. розглядає теплоприймач сонячної параболоциліндричної станції, який функціонує в реальних умовах навколишнього середовища. Теплоносій рухається під впливом нерівномірного концентрованого сонячного потоку. Всі ці впливи взаємопов'язані, що значно ускладнює проведення моделювання. Тому особливо доречним бачиться обраний здобувачем підхід, що спрощує задачу шляхом апроксимації значень щільності сонячного потоку від концентратора. Це новий оригінальний підхід, який робить числовий алгоритм прозорим та зручним для аналізу.

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

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

У дисертаційній роботі Борисенка А.Г. чітко поставлені та виконані всі заплановані задачі. Здобувач самостійно розробив 3D нелінійну математичну модель, відповідний числовий алгоритм та власний програмний додаток. Такий комплексний підхід вважаю одним з головних досягнень здобувача як фахівця в галузі прикладної математики. Однією з особливостей роботи є те, що всі отримані числові результати верифіковані шляхом порівняння з експериментальними даними і з даними тестової задачі, яка має аналітичний розв'язок.

Хочу відмітити, що основні результати роботи опубліковано у фахових наукових виданнях, при чому одна стаття опублікована у виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus (Q3). 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, доц. Гакал П.Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут":

Розроблена Борисенком А.Г. математична модель та відповідний програмний код мають універсальний характер. Процеси, які формалізуються в них, мають місце не тільки в системах прийому сонячних параболоциліндричних станціях. Такі процеси можуть протікати в теплообмінниках з нанорідинним теплоносієм різного типу та призначення. Тому наявність запропонованого Борисенком А.Г. математичного та програмного інструментарію для визначення основних параметрів конвективного теплообміну може стати важливим елементом при проектуванні подібних теплообмінних апаратів.

Запропоновані в роботі Борисенка А.Г. методи та підходи є новими, всебічно вивченими та проаналізованими. Вважаю важливим моментом роботи визначення залежності від температури теплофізичних параметрів нанорідинного теплоносія. Запропонований метод є універсальним і підходить для нанорідини будь-якого складу.

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

Хочу звернути Вашу увагу на те, що протягом багатьох років в ДНУ досліджуються енергетичні системи на основі енергії Сонця. І дисертація Борисенка А.Г. є гідним вкладом в розвиток цієї наукової школи.

Я вважаю, що в роботі Борисенка А.Г. присутні всі основні елементи наукового дослідження, а саме, критичний огляд сучасних досліджень в даній галузі, чітке визначення фізичної моделі, її геометрії, типу теплоносія та його властивостей, 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 Борисенко А.Г. продемонстрував під час доповіді.

Тому я позитивно оцінюю роботу Андрія Геннадійовича і рекомендую її до захисту на разовій раді за спеціальністю «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 дисертації Борисенка А.Г. є актуальною і розвинута в роботі досить повно і детально. В роботі всебічно проаналізовані всі процеси, які впливають на конвективний теплообмін у трубчатому теплоприймачі параболоциліндричної станції. Важливим елементом наукової новизни в дисертації Борисенка А.Г. є проведення термодинамічної оптимізації теплоприймача з нанорідиною, що дозволило визначити такі його гідродинамічні параметри, при яких енергетичні показники системи будуть максимальними.

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 Андрія Геннадійовича 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:

Вважаю цей семінар дуже плідним, бо ми почули змістовну наукову доповідь, після якої відбулась продуктивна наукова дискусія. Під час доповіді і в ході дискусії Андрій Геннадійович проявив себе повністю сформованим дослідником, якій здатен самостійно ставити та розв'язувати складні наукові задачі в галузі прикладної математики.

Вважаю дисертацію Борисенка А.Г. завершеною науковою роботою, яка відповідає всім необхідним вимогам щодо кваліфікаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю «Прикладна математика». Здобувач повністю виконав освітню складову, має достатню кількість наукових публікацій, провів всебічну апробацію результатів свого дослідження. Тому хочу підтримати роботу Андрія Геннадійовича та 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 бажані виступити? Якщо немає, то я хочу відмітити, що на мене робота також 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.

Дисертаційна робота Борисенка А.Г. присвячена математичному моделюванню в галузі відновлюваної енергетики та нанотехнологій. Ці галузі займають передові позиції в сучасній науці. Тому тема є дуже актуальною і важливою. Презентований матеріал за змістом, ступенем новизни та практичної цінності повністю відповідає вимогам щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

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

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

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації

Термодинамічне перетворення енергії Сонця є перспективним напрямком сучасної відновлюваної енергетики. Сонячні термодинамічні станції з параболоциліндричними концентраторами мають найвищі енергетичні, економічні та екологічні показники серед інших типів термодинамічних систем. Ключовим елементом сонячної параболоциліндричної станції є система прийому енергії Сонця, що складається із концентратора та трубчатого теплоприймача в його фокусі. Теплоносій, що рухається всередині теплоприймача, нагрівається від концентрованого сонячного потоку і передає отриману теплову енергію для подальшого перетворення в паротурбінному циклі.

Від теплової ефективності системи прийому напряму залежить загальна ефективність перетворення, тому важливим є пошук методів інтенсифікація конвективного теплообміну в теплоносії станції. Одним з методів інтенсифікації конвективного теплообміну є використання спеціальних теплоносіїв – нанорідин, які отримані шляхом додавання в базовий теплоносій параболоциліндричних станцій частинок різних матеріалів нанометрового розміру. Такі наночастинки змінюють властивості базового теплоносія, покращуючи його спроможність передавати тепло.

Незважаючи на суттєві переваги, які мають нанорідини з точки зору покращення конвективного теплообміну, вони 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 системах прийому сонячних термодинамічних станцій із нанорідинним

теплоносієм є **актуальною науковою задачею**, яка була розв'язана в даній роботі.

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 «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій».

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. Одна з них опублікована у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus (Q3), а дві статті – у виданнях, що входять 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 Борисенка А.Г. 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** на основі класичної системи рівнянь Нав'є-Стокса розроблена 3D нелінійна математична модель, створений числовий алгоритм та відповідний **власний програмний продукт** для визначення особливостей теплообміну в теплоприймачі параболоциліндричної станції з нанорідиною в якості теплоносія.
2. **Вперше** на основі числових експериментів доведено, що додавання наночастинок оксиду алюмінію до базового теплоносія (термічної олії) параболоциліндричної станції призводить до інтенсифікації теплообміну в теплоприймачі, що підвищує загальну теплову ефективність системи.
3. **Вперше** визначені якісні та кількісні показники, які показують суттєве збільшення втрат тиску в теплоприймачі з нанорідиною у порівнянні із чистою термічною олією. Знайдена залежність чисел Нуссельта від чисел Рейнольдса для нанорідини та доведена необхідність проведення термодинамічної оптимізації системи.
4. **Вперше**, базуючись на принципах нерівноважної термодинаміки, проведений ентропійний аналіз та визначені оптимальні значення чисел Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність при мінімальних гідродинамічних втратах.

Наукове та практичне значення роботи.

У дисертаційній роботі розробляються та створюються моделі, методи та алгоритми, які використовуються для опису та дослідження процесів конвективного теплообміну в системах прийому термодинамічних сонячних станцій із наанорідинним теплоносієм. Розроблені моделі та проведені на їх основі комп'ютерне моделювання дозволяє визначити основні енергетичні параметри систем прийому з нанорідиною уникаючи складних і коштовних натурних експериментальних досліджень. Проведена термодинамічна оптимізація параметрів нанорідинного теплоносія дозволила визначити числа Рейнольдса, які забезпечують максимальну теплову ефективність системи прийому.

В роботі, на основі розробленого числового алгоритму, був створений власний програмний код, який має узагальнений характер. Структура коду прозора та гнучка, що дозволяє легко трансформувати її для розрахунку систем прийому з будь-яким типом нанорідинного теплоносія.

Отримані під час дослідження результати можна використовувати під час проектування та функціонування сонячних термодинамічних систем різного типу та призначення із нанорідним теплоносієм.

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 зі спеціальності 113 Прикладна математика 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

Статті у наукових фахових виданнях України категорії Б:

1. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Моделювання теплообміну в сонячних термодинамічних системах з нанорідиною в якості теплоносія. *Збірник наукових праць “Питання прикладної математики і математичного моделювання”*. 2021. Випуск 21. С. 16 – 25.

Режим доступу до ресурсу: <https://pm-mm.dp.ua/index.php/pmmm/article/view/305>
DOI: <https://doi.org/10.15421/322102>

2. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Математична модель тепломасообміну в каналі з нанорідиною при його нерівномірному нагріві концентрованим тепловим потоком. *Технічна механіка*. 2022. № 3. С. 99 – 107.

Режим доступу до ресурсу:
http://www.journal-itm.dp.ua/ENG/Publishing/10-03-2022_eng.html
DOI: <https://doi.org/10.15407/itm2022.03.099>

Стаття у науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus

3. Knysh Lyudmila, Borysenko Andrey. Thermodynamic optimization of the solar parabolic trough collector with nanofluid as heat transfer fluid. *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*. 2022, Vol.58. No. 5. P. 668 – 674.

Режим доступу до ресурсу:
<https://link.springer.com/article/10.3103/S0003701X22601193>

DOI: <https://doi.org/10.3103/S0003701X22601193>

Додаткові праці апробаційного характеру

4. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Моделювання температурних полів нанорідини в каналах енергетичних систем. *Збірник тез XXIII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції “Людина і космос”*, м. Дніпро, 14 – 16 квітня 2021р. С.72.

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

5. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Розробка 3D моделі переносу в теплоприймальному каналі з нанорідиною, *Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”*, м. Дніпро, 17 – 19 листопада 2021р. С. 27

Режим доступу до ресурсу:

<http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2021/12/mpzis-2021.pdf>

6. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Математична модель теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячної термодинамічної установки, *XXIII Міжнародна науково-практична онлайн—конференція “Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті”*, м. Київ, 19 – 20 травня 2022 р. С. 158 – 160.

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

7. Книш Л.І., Масаликін С.С., Юрков Р.С., Борисенко А.Г. Мультифізична математична модель тепломасообміну в системі прийому та акумулювання сонячної енергії, *Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції “Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ІТММ’2022”*, м. Дніпро, 18 травня 2022 р. С. 123 – 126.

Режим доступу до ресурсу:

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

8. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Співвідношення між параметрами нанорідинного теплоносія в системі прийому сонячної параболоциліндричної станції, *XXIV Міжнародна науково-практична конференція “Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті”*, м. Київ, 18 – 19 травня 2023 р. С. 209 – 211.

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

9. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Етапи дослідження конвективного теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних параболоциліндричних станцій, *Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”*, м. Дніпро, 22–24 листопада 2023р. С. 80 – 81

Режим доступу до ресурсу:

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

На підставі заслуховування та обговорення доповіді Борисенка А.Г. 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 Борисенка Андрія Геннадійовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій» 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 Борисенка Андрія Геннадійовича на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій» 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 Борисенка Андрія Геннадійовича 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.	Гук Наталія Анатоліївна (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, в.о. проректора	доктор фізико-математичних наук 01.02.04-механіка деформівного твердого тіла	професор кафедри комп'ютерних технологій, 2016 р., Україна	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/10.1

1	2	3	4	5	6
		з науково-педагогічної роботи	2011 р., Україна		<p>007/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>
2.	Гакал Павло Григорович (опонент)	Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" Міністерство освіти і науки України, завідувач	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/pa</p>

1	2	3	4	5	6
		кафедри аерокосмічної теплотехніки			<p>per/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 загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання	Кандидат технічних наук, 05.01.01 - прикладна геометрія, інженерна графіка 2008р., Україна	Доцент по кафедрі вищої математики та математичного моделювання 2015р., Україна	<p>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.2020.07933 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)</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_17</p> <p>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)</p> <p>DOI: https://doi.org/10.15407/knit2021.01.085</p> <p>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)</p> <p>DOI: https://journals.uran.ua/eejet/article/view/243112</p> <p>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 converters on the efficiency of functioning, <i>Vidnovluvana Energetika</i>, 2022, no.2 (69), P. 5 – 12. (Scopus)</p> <p>DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).5-12</p> <p>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</p>

1	2	3	4	5	6
					<p>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=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-</p>

1	2	3	4	5	6
					journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/133

Результати голосування:

«За» – 43 особи ,

«Проти» – немає,

«Утримались» – немає.

**Голова
наукового семінару**

Секретар



Олена КІСЕЛЬОВА

Олександр КУЗЕНКОВ