

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

\_\_\_\_\_ 2025 р.

### **ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Захарова Дениса Віталійовича на тему «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах», представленої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика

### **ВИТЯГ**

з протоколу №1 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 «26» лютого 2025 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), декан факультету прикладної математики та інформаційних технологій, 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. Золотько 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. Михальчук 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. Іванченко 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;

доктор філософії Єгошкін Д.І., (113 – прикладна математика), доцент кафедри комп'ютерних технологій 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;

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 (4 осіб, з правом голосу):**

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

д-р фіз.-мат. наук, с.н.с. Редчиць Д.О. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), директор Інституту транспортних систем та технологій НАНУ, професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу Дніпровського державного 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.

На засіданні присутні аспіранти: Захаров Д.В., Кошель Є.В.

**Аспіранти участі в голосуванні не брали.**

**Порядок денний:** розгляд і обговорення дисертаційної роботи Захарова Дениса Віталійовича на тему «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах», 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 № 5 від 18 листопада 2021 року). 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 Захарова Дениса Віталійовича на тему «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах» 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., старший лаборант кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Яцечко Н.Є.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат програмою «Strikerplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Захарова Д.В. має високий рівень унікальності (88,23 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 134 сторінках і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури.

Слово надається аспіранту Захарову Д.В. Будь ласка, регламент виступу – 30 хвилин.

### **Аспірант Захаров Д.В.**

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

**Тема моєї дисертації:** «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах».

### **Актуальність теми.**

Фотоелектрична технологія є найбільш поширеною та добре апробованою серед інших методів перетворення енергії Сонця. Сонячні фотоелектричні системи мають суттєві технічні, екологічні та економічні переваги у порівнянні з іншими сонячними енергетичними системами. Але ці переваги компенсуються невисокою енергетичною ефективністю сонячних панелей, яка знижується для більшості промислових сонячних елементів при підвищенні температури. У зв'язку з цим *актуальною науковою задачею* є знаходження методів та підходів для мінімізації падіння енергетичної ефективності, що пов'язане із температурними коливаннями в сонячних панелях.

Завдяки постійним змінам кліматичної картини в місці функціонування фотоелектричних станцій, визначення температур в шарах сонячної панелі в режимі реального часу можливо проводити лише коштовними експериментальними методами. Тому, важливим є розробка таких математичних моделей та числових алгоритмів, які можна реалізовувати в програмних продуктах у режимі реального часу. «Цифровий двійник», який розроблений в даній роботі, дозволить швидко визначати динаміку змін температур у сонячній панелі та прогнозувати її енергетичну ефективність. Передбачається, що всі наукові підходи, моделі, методи та висновки, які розглядаються в даній дисертації, можна застосовувати для фотоелектричних панелей із будь-яким типом сонячних елементів.

### **Мета і завдання дослідження.**

*Метою дисертаційної роботи* є розробка та узагальнення методів математичного і комп'ютерного моделювання температурних полів у сонячних фотоелектричних панелях, визначення співвідношень між температурними та енергетичними параметрами таких систем за для забезпечення максимальних значень їх ефективності, вплив на ці співвідношення географічних та кліматичних даних, а також дизайну сонячних панелей.

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

- розроблена стаціонарна нелінійна 2D математична модель із розподіленими параметрами для визначення інтегральної температури сонячної панелі та впливу цієї температури на її ефективність;
- розроблена та верифікована нестаціонарна нелінійна 1D математична модель із зосередженими параметрами для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі;
- шляхом апроксимації кліматичних даних, отриманих із всесвітніх баз в режимі реального часу або архівних, знайдені функції розподілу для щільності теплового потоку, швидкості вітру та температури навколишнього середовища в місці локації сонячної панелі;
- розроблений комп'ютерний алгоритм та створений інтерактивний програмний комплекс для визначення температурних полів та параметрів ефективності сонячної панелі з урахуванням актуальних географічних та кліматичних даних;
- проведені параметричні дослідження щодо впливу зовнішніх факторів на температуру та енергетичну ефективність сонячної панелі;
- досліджено методи термічної стабілізації сонячної панелі, доведені енергетичні перспективи комбінованих термофотоелектричних панелей, в яких одночасно здійснюється генерація теплової та електричної енергії.

*Об'єктом дослідження* є процеси переносу енергетичних потоків в сонячних фотоелектричних системах.

*Предметом дослідження* є моделі, що описують процес переносу енергетичних потоків, методи та алгоритми для розв'язання та аналізу запропонованих моделей.

*Методи дослідження.* для розв'язання зазначених задач застосовано методи математичного та комп'ютерного моделювання, методи обчислень та числового аналізу, методи математичної статистики та об'єктно-орієнтованого програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

1. **Вперше** запропонований метод визначення середньоінтегральної температури сонячної панелі в реальних умовах її функціонування, який базується на розв'язанні стаціонарної нелінійної 2D математичної моделі енергопереносу. Знайдене значення дозволяє провести оцінку середньої ефективності сонячної панелі та порівняти її із значенням, що оголошено виробником.

2. **Вперше** на основі нестаціонарної нелінійної 1D математичної моделі **розроблено числовий алгоритм та власний інтерактивний програмний продукт** для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі. В розробленому за допомогою хмарних технологій комп'ютерному алгоритмі передбачається передача та обробка кліматичних даних в реальному часі з міста локації сонячної панелі.

3. **Вперше** запропоновано фізичну та відповідну математичну модель комбінованої сонячної панелі з шаром теплоносія з фронтальної сторони. На основі проведеного комп'ютерного моделювання **встановлено**, що наявність теплоносія з фронтальної сторони сонячної панелі призводить до термічної стабілізації сонячних елементів, не охолоджуючи їх. Доведено, що комбіновані термофотоелектричні системи відповідного дизайну можуть бути джерелом не тільки електричної, а і додаткової низькопотенційної теплової енергії.

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

### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. На основі розробленого числового алгоритму був створений власний програмний C++код, який має узагальнений характер і може застосовуватися, в разі незначної корекції, для розрахунку середньоінтегральної температури та середнього значення ефективності сонячної панелі різного дизайну і з різним типом сонячних елементів.

2. Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час проектування та функціонування сучасних сонячних фотоелектричних станцій. Накопичені під час дослідження дані можуть складати основи для подальшого навчання штучних нейронних мереж, які будуть застосовуватися для прогнозу ефективності обраного типу сонячних панелей та для прийняття рішення про доцільність їх використання в даній місцевості.

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 та інформаційних технологій ДНУ.

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

У першому розділі проведена класифікація сонячних енергетичних систем, визначені переваги та недоліки фотоелектричної технології перетворення енергії Сонця, сформульовані наукові задачі, які необхідно вирішити для подолання цих недоліків. Відмічене, що незважаючи на значні наукові прориви в галузі створення нових типів сонячних елементів, два характерних для фотоелектричних систем недоліка досі не подолані, а саме, більшість типів промислових сонячних елементів мають низьку ефективність, яка суттєво знижується за рахунок підвищення температури.

Для аналізу ефективності сонячних фотоелектричних систем проведено типізацію сонячних елементів, які в них використовуються, описані два методологічних підходи, що можна використовувати для визначення залежності цієї ефективності від температури. Обґрунтовано вибір методологічного підходу для подальших досліджень, який базується на гіпотезі суцільності. Проведено огляд сучасної наукової літератури на предмет розробки математичних моделей

для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі. Для даного дослідження обрані стаціонарна 2D модель із розподіленими параметрами та нестаціонарна 1D модель із зосередженими параметрами, які надають детальний та неперебільшений опис процесів енергопереносу в шарах сонячної панелі.

У другому розділі проведено комп'ютерне моделювання температурного режиму в сонячній панелі на основі нелінійної стаціонарної 2D математичної моделі із розподіленими параметрами. Для обраної фізичної моделі сонячної панелі розроблено узагальнене балансове рівняння та рівняння для визначення двовимірного температурного поля в ній. Особливістю стаціонарного 2D рівняння із розподіленими параметрами є те, що сонячна панель моделювалась без врахування розподілу на шари, із використанням ефективних теплофізичних параметрів. Щільність електричного потоку враховувалась у джерельному члені, а залежність ефективності полікристалічних кремнієвих сонячних елементів від температури визначалась шляхом апроксимації експериментальних даних. Модель розв'язувалась методом скінчених різниць із застосуванням відповідних ітераційних процедур. В розділі детально описаний метод побудови ітераційного числового алгоритму, критерії його стійкості та збіжності. На основі розробленого числового алгоритму був створений власний програмний продукт, який реалізований на мові програмування C++.

В результаті комп'ютерного моделювання визначено розподіл температур по довжині та висоті сонячної панелі, а також проведено порівняння температур в сонячній панелі із урахуванням та без урахування залежності ККД сонячних елементів від температури. Знайдено, що врахування залежності ККД сонячних елементів від температури суттєво змінює розподіл температур у сонячній панелі.

В ході числового дослідження знайдена середня температура сонячної панелі та її середня ефективність. Доведено, що реальна середня ефективність сонячної панелі при підвищенні температури може знижуватись на 10-15% і вище по відношенню до значення, що заявляють виробники.

У третьому розділі представлена розробка нестаціонарної нелінійної 1D математичної моделі та створення відповідного комп'ютерного алгоритму для визначення розподілу температур у кожному шарі сонячної панелі. Дослідження проводились при постійних умовах навколишнього середовища, які є середньомісячними для обраної місцевості.

В моделі обиралась середня щільність сонячного потоку для обраного дня року із перерахунком на похилу поверхню, конвективні втрати розраховувались на основі класичних критеріальних рівнянь, радіаційні – за законом Стефана-Больцмана, а температурна залежність ККД розраховувалась на основі емпіричних співвідношень.

Математична модель розв'язувалась методом Рунге-Кутти, в якому була передбачена процедура лінеаризації нелінійних членів та використання правила Рунге для підвищення точності апроксимації. В ході моделювання виявлено вплив

на температуру сонячних елементів кліматичних та проектних параметрів, а також було визначено час теплової інерційності сонячної панелі.

**У четвертому розділі** наведена більш узагальнена 1D математична модель енергопереносу в сонячній панелі. В моделі враховувались реальні, змінні протягом доби значення умов навколишнього середовища в місці локації сонячної панелі. Передбачалось, що ці значення передаються в модель і розроблений програмний код в режимі реального часу із всесвітніх кліматичних баз. В програмного коді, який написаний в Wolfram Cloud, проводився їх регресивний аналіз та будувались функції апроксимації. В розділі представлена блок-схема відповідного комп'ютерного алгоритму та наведені основні етапи розрахунку.

Під час моделювання визначено розподіл температур в шарах сонячної панелі при середньостатистичних та реальних кліматичних даних, а також проаналізовано вплив кожного з кліматичних факторів на температурні та енергетичні показники сонячної панелі. Знайдено, що реальне значення ККД може суттєво змінюватись протягом доби, що призводить до зменшення видобутку електричної енергії, і таке зменшення в безвітряну погоду може досягати 15% і вище.

Розроблена математична модель та отримані на її основі числові результати були верифіковані шляхом порівняння із даними натурного експерименту. Отриманий дуже добрий збіг даних, який підтверджується кількісними показниками, що свідчить про адекватність запропонованого підходу і коректність отриманих результатів.

**У п'ятому розділі** запропонований дизайн термофотоелектричної системи, в якій шар теплоносія знаходиться в скляному пакеті над шаром сонячних елементів. Для такої термофотоелектричної системи була розроблена відповідна математична модель, на основі якої проведене комп'ютерне моделювання. Знайдений розподіл температури в шарах термофотоелектричної панелі при відповідному значенні витрати теплоносія та початкових температур. Доведено, що наявність шару теплоносія з фронтальної сторони сонячної панелі призводить до незначного зниження температури сонячних елементів в часи максимальної сонячної інсоляції. Крім того, циркуляція теплоносія в каналі забезпечує відносну термічну стабілізацію системи, згладжуючи температурні піки та зсуви. Спостерігалось підвищення температури теплоносія в термофотоелектричній панелі до рівня, який є достатнім для генерації низькопотенційної теплоти. Визначено вплив початкової температури теплоносія та його витрати на температуру сонячних елементів.

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

1. На основі всебічного аналізу сучасної наукової літератури визначені основні переваги та недоліки фотоелектричного способу перетворення енергії

Сонця, обґрунтована необхідність визначення температурного режиму сонячних панелей методами математичного та комп'ютерного моделювання за для мінімізації впливу температур на їх енергетичні показники.

2. Проведено огляд концепцій та підходів до математичного та комп'ютерного моделювання температурного режиму в сонячних панелях. Визначені дві основні моделі, які дозволяють отримати детальну та неперекручену інформацію щодо розподілу енергетичних потоків в сонячних панелях.

3. Розроблено стаціонарну нелінійну 2D математичну модель, відповідний числовий алгоритм та програмний код для числового моделювання розподілу температур у сонячній панелі. Моделювання проводилось без врахування температурного режиму кожного з шарів сонячної панелі, з ефективними значеннями її теплофізичних параметрів.

4. **Вперше запропонований метод** визначення середньоінтегральної температури сонячної панелі в реальних умовах її функціонування, який базується на розв'язанні стаціонарної нелінійної 2D математичної моделі енергопереносу. Знайдене значення дозволяє провести оцінку середньої ефективності сонячної панелі та порівняти її зі значенням, що оголошено виробником.

5. Розроблена нестаціонарна нелінійна 1D математична модель із зосередженими параметрами для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі. Модель досліджувалась в двох модифікаціях – зі сталими значеннями кліматичних параметрів та з реальними значеннями, які знаходились на основі даних світових кліматичних баз. Під час проведення числового параметричного аналізу на основі моделі зі сталими кліматичними даними визначено вплив температури навколишнього середовища та швидкості вітру на температурні та енергетичні показники сонячної панелі, знайдена залежність цих показників від значення конвективних та радіаційних втрат.

6. **Вперше на основі нестаціонарної нелінійної 1D математичної моделі розроблено числовий алгоритм та власний інтерактивний програмний продукт** для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі. В розробленому за допомогою хмарних технологій комп'ютерному алгоритмі передбачається передача та обробка кліматичних даних в реальному часі з міста локації сонячної панелі.

7. Проведено верифікацію розробленої 1D математичної моделі із реальними кліматичними даними та отриманих на її основі числових даних по розподілу температур в шарах сонячної панелі. Верифікація, яка проводилась шляхом порівняння числових та експериментальних даних, показана їх задовільний збіг, що доводить адекватність запропонованого підходу.

8. **Вперше** запропоновано фізичну та відповідну математичну модель комбінованої сонячної панелі з шаром теплоносія з фронтальної сторони. На

основі проведеного комп'ютерного моделювання **встановлено**, що наявність теплоносія з фронтальної сторони сонячної панелі призводить до термічної стабілізації сонячних елементів, не охолоджуючи їх. Доведено, що комбіновані термофотоелектричні системи відповідного дизайну можуть бути джерелом не тільки електричної, а і додаткової низькопотенційної теплової енергії.

Після закінчення доповіді до Захарова Д.В. присутніми були поставлені запитання.

#### **ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ**

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

Який науковий фундамент має обрана тема дослідження?

**Захаров Д.В.:**

Обрана тема має потужний науковий фундамент, який ґрунтується на сучасних дослідженнях фотоелектричних систем, що проводились в провідних наукових центрах світу. В роботі проведений детальний огляд сучасних світових наукових досліджень в даній галузі. Цей огляд ґрунтується на аналізі наукових публікацій за останні 3-4 роки у світових фахових високорейтингових журналах, назви яких представлені на слайді.

Протягом останніх тридцяти років фотоелектричне перетворення активно досліджується в ДНУ. Ці дослідження сформували потужну наукову школу і представлена дисертація виконана на науковому фундаменті цієї школи.

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

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

**Захаров Д.В.:**

Для верифікації отриманих результатів був обраний метод, який базується на порівнянні числових та експериментальних даних. Щодо порівняння із числовими результатами інших авторів, то в огляді літератури проаналізовано багато подібних досліджень, але всі вони проводились при інших припущеннях, що ускладнює пряме порівняння результатів.

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

У Ваших моделях використовується залежність ККД сонячних елементів від температури? Ця залежність отримана Вами особисто?

**Захаров Д.В.:**

В запропонованих математичних моделях була використана напівемпірична залежність ККД сонячних елементів від температури, яка вважається класичною. Ця напівемпірична залежність наведена в багатьох відомих монографіях та статтях.

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

Судячи з доповіді, Ви проводили дослідження фотоелектричної сонячної панелі із полікристалічними кремнієвими сонячними елементами. Напівемпірична залежність ККД сонячних елементів від температури справедлива лише для такого типу сонячних елементів? Чи її можна використовувати для фотоелектричних перетворювачів будь-якого типу?

**Захаров Д.В.:**

Наведена напівемпірична формула вважається універсальною і її можна використовувати для всіх найбільш розповсюджених типів сонячних елементів.

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

Як напрямок швидкості вітру впливає на визначення коефіцієнту тепловіддачі з фронтальної сторони сонячної панелі?

**Захаров Д.В.:**

В дослідженнях не враховувались зміни напрямку вітру. Вважалось, що вітровий потік направлений по нормалі до фронтальної сторони сонячної панелі.

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

Як визначалось кількісне значення коефіцієнту тепловіддачі з фронтальної та тильної сторони сонячної панелі?

**Захаров Д.В.:**

При моделюванні вважалось, що значення коефіцієнту тепловіддачі є однаковим з фронтальної та тильної сторони сонячної панелі. Кількісне значення цього коефіцієнту визначалось на основі критеріальних формул, які отримані іншими авторами на основі багаточисельних натурних експериментів.

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

Поясніть, будь ласка, як витрата теплоносія впливає на температуру сонячних елементів в комбінованій термофотоелектричній системі?

**Захаров Д.В.:**

Підвищення масової витрати теплоносія сприяє інтенсифікації конвективного теплообміну в каналі, що призводить до збільшення температури теплоносія та підвищення теплової ефективності PV/T панелі. В той же час, при підвищенні масової витрати теплоносія температура сонячних елементів також зростає, що призводить до зниження електричної ефективності комбінованої системи. Тобто вибір оптимального значення масової витрати теплоносія напряму пов'язаний із вимогами, які ставляться перед розробниками PV/T панелей і потребує додаткових комплексних досліджень.

**Гарт Л.Л., доктор фізико-математичних наук, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

В роботі розглядалась стаціонарна 2D модель із розподіленими параметрами та нестаціонарна 1D модель із зосередженими параметрами. Для цих моделей розроблені числові алгоритми. Які методи використовуватись при розробці цих алгоритмів?

**Захаров Д.В.:**

При розробці числового алгоритму для 2D моделі використовувався метод скінчених різниць. Отримані таким чином алгебраїчні рівняння розв'язувались методом простої ітерації. Для побудови числового алгоритму нестаціонарної 1D моделі із постійними умовами навколишнього середовища використовувався метод Рунге-Кутти, а числовий алгоритм для нестаціонарної 1D моделі із реальними умовами навколишнього середовища розв'язувався засобами символічної математики в хмарному середовищі Wolfram Cloud.

**Гарт Л.Л., доктор фізико-математичних наук, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Яким чином забезпечувалась стійкість та збіжність побудованих числових алгоритмів?

**Захаров Д.В.:**

Для стаціонарної 2D моделі монотонність різницевого оператора, а, відтак, і збіжність ітераційного процесу забезпечувалась позитивними значеннями коефіцієнтів  $A$  в різницевому рівнянні та виконанням умови, що коефіцієнт  $A$ , якій відповідає обраному вузлу, є більшим за суму коефіцієнтів  $A$ , які відповідають чотирьом найближчим вузлам. В ході числових експериментів було виявлено, що вибір початкового наближення, яке відповідає фізичній сутності процесу, та виконання наведених вище умов забезпечує доволі швидко збіжність ітераційного процесу із заданою точністю  $\xi \leq 0.001$ .

Для нестаціонарної 1D моделі стійкість та збіжність числового алгоритму забезпечувалась вибором розрахункового кроку. Для підвищення точності використовувався метод Рунге. Суттю цього методу є те, що проводяться повторні розрахунки по одній різницевій схемі, але з різними кроками за часом. Уточнений розв'язок у вузлах, що співпадають при різних кроках, будується за допомогою серії розрахунків.

**Гарт Л.Л., доктор фізико-математичних наук, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Який тоді порядок апроксимації має отриманий числовий розв'язок?

**Захаров Д.В.:**

Відповідно правилу Рунге, порядок точності отриманого розв'язку буде  $p + 1 = 5$ , хоча використовувався різницевий метод Рунге-Кутти з порядком  $p = 4$ . Використання двоетапного алгоритму на двох різницевих шаблонах дозволяє підвищити на порядок точність результатів.

**Гарт Л.Л., доктор фізико-математичних наук, професорка кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Чи проводилось перехід до безрозмірних параметрів під час аналізу результатів розрахунків?

**Захаров Д.В.:**

Розрахунки проводились із використанням розмірних величин. Перехід до безрозмірних параметрів при даній постановці задачі здійснити майже неможливо, бо всі функції апроксимації отримані для конкретного дня року та конкретної місцевості.

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

Як змінювалось значення ступеня чорноти при моделюванні термофотоелектричної системи?

**Захаров Д.В.:**

Під час моделювання температурного режиму термофотоелектричної панелі використовувались значення ступеня чорноти та поглинаючої спроможності фронтальної поверхні захисного скла, ступеня чорноти тильної поверхні захисного скла, ступеня чорноти фронтальної та тильної поверхні сонячної панелі. Значення всіх цих коефіцієнтів наведені в роботі.

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

Як проводилась верифікація отриманих в роботі результатів?

**Захаров Д.В.:**

Верифікація отриманих результатів комп'ютерного моделювання проводилась шляхом порівняння із експериментальними даними, які отримані співробітниками наукової лабораторії у Франції та опубліковані в провідному світовому фаховому науковому журналі Applied Thermal Engineering.

Для верифікації із архівних даних кліматичної бази NASA Earth Observations (NEOs) обирався день, в якій проводився експеримент. Всі дані для цього дня року та міста локації сонячної панелі передавались у розроблену математичну модель. Після проведення регресивного аналізу та відповідних розрахунків отримувалася розподіл температур, який порівнювався із експериментальними даними. Далі здійснювався статистичний аналіз результатів порівняння та визначались кількісні показники відхилення. Це показники знаходились в межах інженерної похибки, що доказує адекватність запропонованої математичної моделі та отриманих числових результатів.

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

Що саме Ви маєте на увазі під регресивним аналізом кліматичних даних?

**Захаров Д.В.:**

Під регресивний аналізом даних розуміється побудова функцій регресії, які відповідають змінам щільності сонячного потоку, температури навколишнього середовища та швидкості вітру. Ці функції будуються на основі апроксимації даних, які отримані із всесвітніх кліматичних баз. На слайді представлені ці функції, які відповідають дню проведення експерименту у Франції. В цей день тривалість світового дня дорівнювала 10.5 годин. Знайдено, що поліноміальні функції відповідного виду найкраще наближають отримані дискретні дані.

**Редчиць Д.О., доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, директор Інституту транспортних систем та технологій НАНУ, професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу Дніпровського державного технічного університету:**

Чи можна на основі Вашої моделі визначити температуру теплоносія на виході в термофотоелектричній панелі?

**Захаров Д.В.:**

На основі запропонованої нестационарної 1D математичної моделі можна визначити лише середню температуру теплоносія в каналі. Це є суттєвим обмеженням цієї моделі. Для визначення температури на виході із каналу термофотоелектричній панелі необхідно враховувати її зміни вздовж течії теплоносія, що неможливо зробити в рамках 1D моделі.

**Редчиць Д.О., доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, директор Інституту транспортних систем та технологій НАНУ, професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу Дніпровського державного технічного університету:**

Як враховувався конвективний перенос тепла між теплоносієм та стінками каналу в термофотоелектричній панелі? Чи враховувалась залежність в'язкості теплоносія від температури?

**Захаров Д.В.:**

Конвективний теплоперенос між теплоносієм та стінками каналу враховувався за допомогою середнього коефіцієнту тепловіддачі, який розраховувався на основі класичних критеріальних рівнянь. Температурний градієнт теплоносія в термофотоелектричній панелі, яка досліджувалась в дані роботі, є достатньо

низьким. Тому моделювання проводилось із постійним значенням в'язкості теплоносія.

**Накашидзе Лілія Валентинівна, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Яке практичне втілення можуть мати результати Вашої роботи?

**Захаров Д.В.:**

Вважаю, що на основі наведених підходів можна проводити аналіз кліматичних показників обраної місцевості з точки зору перспектив використання сонячних панелей із відповідним типом сонячних елементів. Цей аналіз проводиться без тривалих і коштовних експериментальних досліджень – виключно на основі актуальних та архівних даних всесвітніх баз та розроблених програмних додатків.

Отримані статистичні дані щодо значень температур та ефективності обраних сонячних панелей можуть бути основою для подальшого тренування штучних нейронних мереж. Крім того, отримані результати можуть бути корисними для оптимізації роботи фотоелектричних станцій та синхронізації їх роботи із роботою традиційних систем генерації та електричним навантаженням споживачів.

**Голова семінару, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., декан факультету прикладної математики та інформаційних технологій, 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 Захарова Дениса Віталійовича присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі, яка полягає у розробці математичних моделей, побудові комп'ютерних алгоритмів, власних програмних кодів та проведенні числових експериментів по дослідженню в рамках механіки суцільних середовищ температурного режиму в сонячних фотоелектричних панелях. Розв'язок зазначеної прикладної математичної задачі дозволить знайти показники ефективності подібних систем та визначити шляхи мінімізації впливу температур на ці показники без проведення складних натурних експериментів, без використання коштовних комерційних програмних засобів.

Мій офіційний висновок із оцінкою роботи аспіранта 4 року навчання Захарова Дениса Віталійовича подано до відділу аспірантури та голові на засіданні

сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару. Коротко зупинюся на основних його положеннях.

Захаров Денис Віталійович у 2020 році закінчив факультет прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за спеціальністю «Прикладна математика», отже має фундаментальну математичну та 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 Денис Віталійович повністю і своєчасно виконав освітню складову індивідуального навчального плану та індивідуальний план наукової роботи. У процесі виконання індивідуального плану наукової роботи та підготовки дисертації Денис Віталійович працював системно, сумлінно і творчо. Основні результати дисертації отримано ним самостійно.

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

Основні результати дисертації опубліковано у 4 статтях, зокрема 1 стаття – у виданні, що проіндексовано у наукометричній базі Scopus, 3 статті у фахових виданнях України категорії Б. Отже, відповідно до п. 8 чинного Порядку... кількість публікацій складає 5 одиниць: 3 статті (з одним співавтором у фаховому виданні України), та 1 стаття у виданні, що входять до наукометричної бази Scopus та віднесені до третього квартилю (Q3) і тому зараховується як дві публікації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на підсумкових наукових конференціях 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 проводилось 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 Дениса Віталійовича, його пунктуальність, відповідальність, надзвичайну працездатність. Вважаю, що за роки навчання в аспірантурі Д.В. Захаров 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 Денис Віталійович 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 та інформаційних технологій як викладач або як стейкхолдер.

Підсумовуючи, хочу сказати, що мені особисто було надзвичайно приємно працювати з Денисом Віталійовичем. 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 ЗАХАРОВА Д.В. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:**

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

Дисертаційна робота і доповідь Захарова Дениса Віталійовича склали добре враження. В роботі розглянуті нові задачі, які розв'язувались на різному рівні детальності. Важливим є запропонована методика визначення середньоінтегральної температури сонячної панелі на основі ефективних значень її теплофізичних коефіцієнтів. Такий спрощений підхід дозволяє врахувати всі зовнішні ефекти, що впливають на ефективність сонячної панелі, та швидко оцінити середнє значення цієї ефективності та порівняти її зі значенням виробника. Автор обрав в якості фізичної моделі для дослідження сонячну панель із кремнієвими полікристалічними сонячними елементами відповідної геометрії, але представлена узагальнена математична модель підходить для будь-якої геометрії сонячної панелі та будь-якого типу сонячних елементів. Це робить запропонований підхід універсальним і підвищує його значення в теоретичному та практичному планах.

Заслуговує на увагу новизна тематики досліджень. Наскільки мені відомо і як зазначено в доповіді, дослідження енергетичних потоків у сонячних фотоелектричних системах у сформульованій автором постановці проводиться вперше, що надає особливу цінність роботі Дениса Віталійовича.

Також хотілось звернути увагу, що здобувачем проведена верифікація отриманих числових результатів. Під час порівняння числових та експериментальних даних спостерігається їх добрий збіг, що доводить адекватність запропонованого підходу.

Наприкінці хочу відзначити, що дисертація Захарова Д.В. присвячена актуальній темі, в ній є новизна, отримані результати достовірні, тому я рекомендую цю роботу до захисту на разовій раді.

**Редчиць Д.О., доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, директор Інституту транспортних систем та технологій НАНУ,**

**професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу Дніпровського державного технічного університету:**

Я приєднуюсь до слів Павла Григоровича щодо високої оцінки роботи, її актуальності та новизни. Робота є оригінальною, в ній використовуються підходи, які не є широко відомими та популярними в практиці комп'ютерного моделювання. Хочу окремо відмітити, що для реалізації відповідних числових алгоритмів Денисом Віталійовичем були розроблені власні програмні додатки, які можна вважати окремим здобутком. Застосування таких додатків дозволяє уникнути коштовних натурних експериментів під час дослідження фотоелектричних систем, що суттєво зменшить час та вартість таких досліджень

Вважаю, що робота Захарова Д.В. повністю відповідає вимогам до PhD дисертацій, підтримую її 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, проф. Байбуз О.Г., зав. кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

В дисертаційній роботі Захарова Д.В. зроблено значний внесок у розробку методів та алгоритмів для моделювання енергетичних потоків у сонячних фотоелектричних системах. Автор поєднав в роботі декілька підходів, що прикрашає роботу та розширює рамки її застосування. Представлений в дисертації та доповіді матеріал є чітко структурованим, викладається автором прозоро та системно, на всі питання були отримані ґрунтовні відповіді.

Слід окремо відмітити актуальність теми дослідження, яка присвячена розробці методів розрахунку енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних. Підвищення ефективності подібних систем є важливою задачею світової науки.

Вважаю, що за науковим рівнем, новизною, практичною цінністю робота Захарова Д.В. повністю відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика, і рекомендую цю роботу до захисту на разовій спеціалізованій раді.

**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 Захарова Д.В. є, безумовно, актуальною. Всі формальності з публікаціями виконані і здобувач, на мій погляд, набув необхідних професійних компетентностей для захисту роботи та отримання ступеня доктора філософії.

Як побажання хочу запросити Дениса Віталійовича 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 технічних наук, проф. Габрінець В.О., професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:**

Хочу відзначити, що ця робота продовжує наукову тематику в галузі сонячної енергетики, яка вже багато років розвивається в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара. В роботі є багато наукових висновків, які можна вважати новими та важливими для подальшого практичного втілення.

В цілому робота багатопланова, в ній представлені різні методи та підходи до розрахунку енергетичних потоків у сонячних фотоелектричних системах. Важливим є те, що запропоновані підходи можна застосовувати для фотоелектричних панелей відповідного дизайну із будь-яким типом сонячних елементів.

Робота Захарова Д.В. виконана на високому науковому рівні, із дотриманням всіх вимог, має наукову новизну та практичну цінність. Тому я підтримую цю дисертацію і рекомендую її до захисту на спеціалізованій разовій раді.

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

Отримані в дисертації Захарова Д.В. наукові результати є новими та суттєвими як з теоретичної, так і з практичної точки зору, оскільки їх успішно можна застосувати для розв'язання реальних практичних задач. Із доповіді та відповідей на питання зрозуміло, що Денис Віталійович добре володіє сучасним апаратом наукових досліджень, здатен самостійно ставити і вирішувати задачі в галузі прикладної математики, проводити критичний аналіз отриманих результатів.

У дисертаційній роботі Захарова Д.В. чітко сформульовані та виконані поставлені задачі. Використано широкий спектр теоретичних та статистичних методів для визначення достовірності отриманих результатів.

Хочу відмітити, що результати роботи в достатній мірі опубліковані у фахових періодичних виданнях. Дисертантом було проведено апробацію матеріалів дисертації на достатній кількості міжнародних наукових конференцій.

Вважаю, що представлена робота повністю відповідає вимогам до PhD дисертацій і пропоную винести позитивне рішення нашого семінару та рекомендувати її до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 Прикладна математика.

**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:**

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

Дисертація Захарова Д.В. є завершеною науковою працею, яка відповідає всім необхідним вимогам. Крім того, здобувач повністю виконав освітню складову, має достатню кількість публікацій, провів апробацію свого дослідження. Тому вважаю, що ми маємо підтримати цю роботу і рекомендувати її для подальшого захисту.

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

Повністю підтримую позицію моїх колег відносно роботи Захарова Д.В. Вважаю цю роботу завершеною і пропоную її до захисту в разовій спеціалізованій раді за спеціальністю 113 Прикладна математика.

**Голова семінару, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, проф. Кісельова О.М., декан факультету прикладної математики та інформаційних технологій, 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 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.

Вважаю, що всі етапи дисертаційної роботи Захарова Д.В. висвітлені в його доповіді достатньо повно та ґрунтовно. Денис Віталійович навів розширений огляд наукової бази та сучасних наукових досліджень, які покладені в основу дисертаційної роботи.

Тема роботи актуальна, бо присвячена розвитку сучасних методів дослідження сонячних енергетичних систем, які бурхливо розвиваються в світі. Всі запропоновані методи та отримані на їх основі результати є достовірними та

такими, що відповідають сучасному рівні наукових досліджень в даній сфері. В дисертації в достатній мірі присутні елементи наукової новизни. Тому вважаю, що презентований матеріал відповідає вимогам щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика і рекомендую цю роботу до захисту на спеціалізованій разовій раді.

Формальні моменти в роботі Захарова Д.В. виконані в повному обсязі. Кількість публікацій достатня. Вважаю, що у нас є всі підстави проголосувати за те, щоб подати дисертацію Захарова Д.В. 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**

Фотоелектрична технологія є найбільш поширеною та добре апробованою серед інших методів перетворення енергії Сонця. Сонячні фотоелектричні системи мають суттєві технічні, екологічні та економічні переваги у порівнянні з іншими сонячними енергетичними установками. Але ці переваги компенсуються невисокою енергетичною ефективністю сонячних панелей, яка знижується для більшості промислових сонячних елементів при підвищенні температури. У зв'язку з цим *актуальною науковою задачею* є знаходження методів та підходів для мінімізації падіння енергетичної ефективності, що пов'язана із температурними коливаннями в сонячних панелях.

Завдяки постійним змінам кліматичної картини в місці функціонування фотоелектричних станцій, визначення температур в шарах сонячної панелі в режимі реального часу можливо проводити лише коштовними експериментальними методами. Тому, важливим є розробка таких математичних моделей та числових алгоритмів, які можна реалізовувати в програмних продуктах в режимі реального часу. «Цифровий двійник», який розроблений в даній роботі, дозволить швидко визначати динаміку змін температур в сонячній панелі та прогнозувати її енергетичну ефективність. Передбачається, що всі наукові підходи, моделі, методи та висновки, які розглядаються в даній дисертації, можна застосовувати для фотоелектричних панелей із будь-яким типом сонячних елементів.

### **Затвердження теми та плану дисертації.**

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 5 від 18 листопада 2021 року). 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 проводилась на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

**Публікації та особистий внесок здобувача.** За темою дисертації опубліковано 4 статті. Одна з них опублікована у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, а три 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 розв'язків, їхній програмній реалізації, візуалізації отриманих результатів, верифікації даних комп'ютерного моделювання. Публікації Захарова Д.В. 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 такими, що не суперечать із відомими положеннями інших авторів, контрольованою точністю обчислень, доброю узгодженістю між собою числових та експериментальних результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

1. **Вперше** запропонований метод визначення середньоінтегральної температури сонячної панелі в реальних умовах її функціонування, який базується на розв'язанні стаціонарної нелінійної 2D математичній моделі енергопереносу. Знайдене значення дозволяє провести оцінку середньої ефективності сонячної панелі та порівняти її із значенням, що оголошено виробником.

2. **Вперше** на основі нестационарної нелінійної 1D математичної моделі розроблено числовий алгоритм та власний інтерактивний програмний продукт для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі. В розробленому за допомогою хмарних технологій комп'ютерному алгоритмі

передбачається передача та обробка кліматичних даних в реальному часі з міста локації сонячної панелі.

3. **Вперше** запропоновано фізичну та відповідну математичну модель комбінованої сонячної панелі з шаром теплоносія з фронтальної сторони. На основі проведеного комп'ютерного моделювання **встановлено**, що наявність теплоносія з фронтальної сторони сонячної панелі призводить до термічної стабілізації сонячних елементів, не охолоджуючи їх. Доведено, що комбіновані термофотоелектричні системи відповідного дизайну можуть бути джерелом не тільки електричної, а і додаткової низькопотенційної теплової енергії.

### **Наукове та практичне значення роботи.**

У дисертаційній роботі розробляються моделі, методи та алгоритми, які використовуються для опису та дослідження процесів енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах. Розроблені моделі та проведені на їх основі числові дослідження дозволяють визначити основні енергетичні параметри в сонячних фотоелектричних системах, уникаючи складних і коштовних натурних експериментальних досліджень.

В роботі на основі розробленого числового алгоритму був створений власний програмний C++код, який має узагальнений характер і може застосовуватися, в разі незначної корекції, для розрахунку середньоінтегральної температури та середнього значення ефективності сонячної панелі різного дизайну і з різним типом сонячних елементів.

Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час проектування та функціонування сучасних сонячних фотоелектричних станцій. Накопичені під час дослідження дані можуть складати основу для подальшого навчання штучних нейронних мереж, які будуть застосовуватися для прогнозу ефективності обраного типу сонячних панелей та для прийняття рішення про доцільність їх використання в даній місцевості.

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.

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 проводилась на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики та інформаційних технологій ДНУ.

### Список опублікованих праць за темою дисертації

#### Статті у наукових фахових виданнях України категорії Б:

1. Захаров Д.В., Книш Л.І. Математичне моделювання впливу температурного режиму на ефективність сонячної панелі, *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*, 2022, Т.34, С. 48 –58.

Режим доступу до ресурсу: <https://pommk.dp.ua/index.php/journal/article/view/547>

DOI: <https://doi.org/10.15421/4222105>

Захаров Д.В. розробив математичну модель, числовий алгоритм та власний C++ програмний продукт для визначення стаціонарного 2D розподілу температур в сонячній панелі; провів комп'ютерне моделювання та аналіз результатів; визначив середньоінтегральну температуру та середню ефективність сонячної панелі.

Книш Л.І. запропонувала загальну концепцію дослідження, провела апроксимацію даних експерименту та аналіз деяких отриманих наукових положень.

2. Захаров Д.В., Книш Л.І. Нестационарна математична модель розподілу температур в шарах сонячної панелі. *Технічна механіка*, 2023, №3, С.79 – 87.

Режим доступу до ресурсу: <https://www.journal-itm.dp.ua/docs/P-07-03-2023.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.15407/itm2023.03.079>

Захаров Д.В. розробив нестационарна 1D математична модель із зосередженими параметрами для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі при сталих умовах навколишнього середовища; побудував числовий алгоритм та програмний код; провів числове дослідження та зробив аналіз його результатів.

Книш Л.І. запропонувала загальну форму нестационарної 1D математичної моделі та числовий метод її розрахунку.

3. Захаров Д.В., Книш Л.І., Математичне моделювання теплового режиму в сонячній термофотоелектричній панелі, *Системні технології. Регіональний міжвузовський збірник наукових праць*, 2024, Том 6, №155, С. 159 –166.

Режим доступу до ресурсу:

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/article/view/1923>

DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-155-2024-15>

Захаров Д.В. розробив модифіковану 1D математичну модель, відповідний числовий алгоритм та програмний код для визначення розподілу температур в шарах комбінованої PV/T сонячної панелі із шаром теплоносія з фронтальної сторони; провів моделювання теплопереносу в шарах комбінованої PV/T сонячної панелі; проаналізував отримані результати та сформулював загальні висновки.

Книш Л.І. запропонувала дизайн комбінованої PV/T сонячної панелі; розробила метод розрахунку конвективного теплопереносу в шарі теплоносія.

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

4. L. Knysh, D. Zakharov, Computer Modeling of the Temperature Regime of Solar Panels using Global Climate Databases, *Applied Solar Energy*, 2024, Vol.60. No. 3.

Режим доступу до ресурсу:

<https://link.springer.com/article/10.3103/S0003701X24600115>

DOI: <https://doi.org/10.3103/S0003701X24600115>

ISSN: 0003-701X(print), 1934-9434 (online)

Книш Л.І. запропонувала удосконалену нестационарну 1D математичну модель та загальну концепцію інтерактивного програмного продукту для визначення розподілу температур в шарах сонячної панелі при реальних умовах її функціонування.

Захаров Д.В. розробив числовий алгоритм та інтерактивний програмний продукт, на основі якого провів комп'ютерне моделювання та детальний аналіз отриманих результатів.

#### *Додаткові праці апробаційного характеру*

5. Захаров Д.В., Книш Л.І. Моделювання температурних полів в сонячній панелі при змінному ККД, *Збірник тез XXIV Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції “Людина і космос”*, м. Дніпро, травень 2022р., С.99.

Режим доступу до ресурсу: [https://spacehuman.org/\\_files/doc/sbornik2022.pdf](https://spacehuman.org/_files/doc/sbornik2022.pdf)

6. Захаров Д.В., Книш Л.І. Комп'ютерне моделювання впливу полів температур на ефективність сонячної панелі, *Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”*, м. Дніпро, 23 –25 листопада 2022р., С. 90.

Режим доступу до ресурсу:

<http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2022/12/MPZIS-2022-1.pdf>

7. Захаров Д.В., Книш Л.І. Особливості моделювання розподілу температур в сонячній панелі з урахуванням та без урахування охолодження, *Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”*, м. Дніпро, 22 –24 листопада 2023р., С. 132.

Режим доступу до ресурсу:

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

8. Книш Л.І., Захаров Д.В. Комп'ютерне моделювання активного охолодження сонячної панелі, *Матеріали Міжнародної наукової конференції “Математичні проблеми технічної механіки – 2024”*, квітень 2024, м. Дніпро, С. 38 – 39.

Режим доступу до ресурсу:

[https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2024/materiali\\_konferenc/Matem\\_prob1\\_tehn\\_meh.pdf](https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2024/materiali_konferenc/Matem_prob1_tehn_meh.pdf)

9. Книш Л.І., Захаров Д.В. Нестационарна математична модель розподілу температур в шарах сонячної панелі при реальних умовах її функціонування, *Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції “Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті”*, м. Київ, 22–24 травня 2024р., С.202.

Режим доступу до ресурсу:

[https://www.ive.org.ua/?page\\_id=4895&lang=uk](https://www.ive.org.ua/?page_id=4895&lang=uk)

10. Захаров Д.В., Книш Л.І., Порівняльний аналіз методів дослідження температурних полів в сонячній панелі в рамках теорії суцільності, Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”, м. Дніпро, 20 –22 листопада 2024р., С. 140.

Режим доступу до ресурсу:

<http://mpzis.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2024/11/%D0%9C%D0%9F%D0%97%D0%86%D0%A1-2024-1.pdf>

**На підставі заслуховування та обговорення доповіді Захарова Д.В. 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 Захарова Дениса Віталійовича на тему «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах» відповідає вимогам 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).

2. Рекомендувати дисертаційну роботу Захарова Дениса Віталійовича на тему «Математичне моделювання енергопереносу в сонячних фотоелектричних системах» 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 Захарова Дениса Віталійовича 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 з науково-педагогічної роботи	доктор фізико-математичних наук 01.02.04-механіка деформівного твердого тіла 2011 р., Україна	Професор за кафедрою комп'ютерних технологій, 2016 р., Україна	<p><b>Guk N. A., Kozakova N. L.</b> Delamination of a Three-Layer Base Under the Action of Normal Loading. <i>J. Math. Sci.</i> 2021. Vol. 254, P. 89 – 102. (Scopus, ISSN: 1573-8795 (online), 1072-3374 (print)) DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s10958-021-05290-w">https://doi.org/10.1007/s10958-021-05290-w</a> URL: <a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10958-021-05290-w">https://link.springer.com/article/10.1007/s10958-021-05290-w</a></p> <p><b>Гук Н. А.</b> 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: <a href="https://doi.org/10.15421/4223213">https://doi.org/10.15421/4223213</a> URL: <a href="https://pommk.dp.ua/index.php/journal/article/view/583">https://pommk.dp.ua/index.php/journal/article/view/583</a></p> <p>Vasiliy Ye. Belozyorov, <b>Natalia A. Guk</b>, Danylo I. Yehoshkin, Encryption of Color Images Based on Chaotic Attractors Generated by ODE Systems Containing Module Nonlinearities, <i>Journal of Optimization, Differential Equations and their application</i>, 2024, Vol.32, no.2, P. 92 – 117. (Scopus, ISSN 2617-0108). DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.15421/142410">http://dx.doi.org/10.15421/142410</a> URL: <a href="https://model-dnu.dp.ua/index.php/SM/article/view/202">https://model-dnu.dp.ua/index.php/SM/article/view/202</a></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, професор 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., <b>Gakal P.G.</b>, 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.  <b>(Scopus, ISSN 0392-8764)</b>  DOI:  <a href="https://doi.org/10.18280/ijht.390206">https://doi.org/10.18280/ijht.390206</a>  URL:  <a href="https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.390206">https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.390206</a></p> <p>Gorbenko G.O., <b>Gakal P.H.</b>, 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.  <b>(фахове видання, категорія Б).</b>  DOI:  <a href="https://doi.org/10.15407/pmach2021.04.027">https://doi.org/10.15407/pmach2021.04.027</a>  URL:  <a href="https://journals.uran.ua/jme/article/view/248497">https://journals.uran.ua/jme/article/view/248497</a></p> <p>Hodunov A., Gorbenko G., <b>Gakal P.</b>, The calculation of the heat control accumulator volume of two-phase heat transfer loop of a spacecraft thermal control system, <i>Aerospace Technic and Technology</i>, 2021, no.5, P. 15 -23.  <b>(фахове видання, категорія Б).</b>  DOI:  <a href="https://doi.org/10.32620/aktt.2021.5.02">https://doi.org/10.32620/aktt.2021.5.02</a>  URL:  <a href="http://nti.khai.edu/ojs/index.php/aktt/article/view/aktt.2021.5.02">http://nti.khai.edu/ojs/index.php/aktt/article/view/aktt.2021.5.02</a></p>

1	2	3	4	5	6
3.	Редчиць Дмитро Олександрович (опонент)	<p>Інститут транспортних систем і технологій Національна академія наук України, Директор (основне місце роботи)</p> <p>Дніпровський державний технічний університет Міністерство освіти і науки України, професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу (сумісник)</p>	Доктор фізико-математичних наук, 01.02.05 - механіка рідини, газу та плазми 2020р., Україна	Старший науковий співробітник за спеціальністю 01.02.05 - механіка рідини, газу та плазми, 2009 р., Україна	<p>Moiseienko S., Tuchyna U., <b>Redchyts D.</b>, 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. <b>(Scopus, ISSN: 2195-4364 (online), 2195-4356 (print))</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_17">https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_17</a> URL: <a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18487-1_17">https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18487-1_17</a></p> <p><b>Redchyts D.O.</b>, 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. <b>(Scopus, ISSN: 2518-1459 (Online), 1561-8889 (print))</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.15407/knit2021.01.085">https://doi.org/10.15407/knit2021.01.085</a> URL: <a href="http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2021/1/03">http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2021/1/03</a></p> <p>Dzenzerskiy V.A., Tarasov S.V., <b>Redchyts D.O.</b>, Ivanov V.A., Sukhova O.V. Mechanical Properties of Pb–Sn–Ba Grid Alloys for Lead-Acid Batteries Produced by Melt Spinning Technology, <i>Journal of Nano- and Electronic Physics</i>, 2024, Vol.16, no.1, 01003(6pp). <b>(Scopus, ISSN: 2077-6772)</b> DOI: 10.21272/jnep.16(1).01003 URL: <a href="https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/download/123456789/94920/1/Dzenzerskiy_jnep_1_2024.pdf">https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/94920/1/Dzenzerskiy_jnep_1_2024.pdf</a></p>

1	2	3	4	5	6
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., <b>Gabrinets, V.</b>, Mitikov, Y., Alekseyenko, S., &amp; 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. <b>(Scopus, ISSN 1729-3774 , E- ISSN 1729-4061, ISSN-L 1729-3774.)</b> DOI: <a href="https://journals.uran.ua/eejet/article/view/243112">https://journals.uran.ua/eejet/article/view/243112</a> URL: <a href="https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112">https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112</a></p> <p><b>Gabrinets, V.</b>, 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. <b>(Scopus, ISSN: 1819-8058 (print), 2664-8172 (online))</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).5-12">https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).5-12</a> URL: <a href="https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/337/272">https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/337/272</a></p> <p><b>Габрінець В.</b>, 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. <b>(фахове видання, категорія Б).</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/452321">https://doi.org/10.15421/452321</a> URL: <a href="https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/article/view/188">https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/article/view/188</a></p>

1	2	3	4	5	6
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., <b>Nakashidze L.</b>, 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. <b>(Scopus, ISSN 1729-3774, E- ISSN 1729-4061, ISSN-L 1729-3774)</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280740">https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280740</a> URL: <a href="https://journals.uran.ua/eejet/article/view/280740">https://journals.uran.ua/eejet/article/view/280740</a></p> <p>Гільорме Т.В., <b>Накашидзе Л.В.</b> 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. <b>(фахове видання, категорія Б)</b> DOI: <a href="https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-69-76">https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-69-76</a> URL: <a href="http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=15458">http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=15458</a></p> <p>Hilorme T., <b>Nakashidze L.</b>, 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. <b>(фахове видання, категорія Б)</b> DOI: <a href="https://doi.org/10.32782/mer.2023.99.12">https://doi.org/10.32782/mer.2023.99.12</a> URL: <a href="http://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/133">http://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/133</a></p>

**Результати голосування:**

«За» – 40 осіб ,

«Проти» – немає,

«Утримались» – немає.

**Голова****наукового семінару** 10.03.25**Олена КІСЕЛЬОВА****Секретар**

10.03.25

**Олександр КУЗЕНКОВ**