

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

« 11 » _____ 2024 р.



ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Масаликіна Станіслава Сергійовича на тему «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця», 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. 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. 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;

Лапєць 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 – перетворення відновлюваних видів енергії), провідний науковий співробітник науководослідного 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 Масаликіна Станіслава Сергійовича на тему «Статистичне моделювання енергетичних

потоків в системах концентрації енергії Сонця», 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 «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця».

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 Масаликіна Станіслава Сергійовича на тему «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця» 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 НДЛі ОСС Яцечко Н.Є.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат програмою «Strikeplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Масаликіна С.С. має високий рівень унікальності (93,56 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 131 сторінки і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, список використаної літератури.

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

Аспірант Масаликін С.С.

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

Тема моєї дисертації: «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця».

Актуальність теми.

Енергія сонячного випромінювання широко використовується для отримання як електричної, так і теплової енергії. Термодинамічне перетворення має значні енергетичні, екологічні та економічні переваги перед фотоелектричним, а саме, значно більший коефіцієнт корисної дії, який не зменшується при збільшенні потужності систем; наявність промислового виробництва складових елементів термодинамічного циклу – насосів,

турбогенераторів та ін.; мінімальна фізична деградація елементів системи; екологічна чистота під час виробництва, експлуатації та утилізації. Необхідність реалізації цих переваг доводить **актуальність** даної роботи.

Завдяки низької щільності сонячного випромінювання термодинамічне перетворення може бути реалізоване лише з використанням концентраторів. Концентратори уловлюють та перенаправляють сонячне випромінювання, завдяки чому його щільність багаторазово зростає. Ступінь цього зростання напряму залежить від геометрії концентраторів, які, як правило, мають форму кривих другого порядку – конуса, клину, параболоциліндру, сфери, параболоїда тощо. Слід відмітити, що всі наукові підходи, моделі, методи та висновки, які розглядаються в даній роботі, можна застосовувати для концентраторів будь-якої геометрії.

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є розробка та узагальнення методів математичного і комп'ютерного моделювання радіаційного переносу в сонячних енергетичних системах з концентраторами, визначення співвідношень між геометричними та енергетичними параметрами таких систем за для забезпечення максимальних значень ефективності відповідного циклу перетворення, вплив на ці співвідношення неточності поверхні концентраторів та ефекту розфокусування.

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

- розроблена узагальнена математична модель процесу концентрації сонячного випромінювання;
- проведений аналіз і вибір відповідних припущень;
- побудований числовий алгоритм Монте-Карло та створений власний програмний код для проведення числових експериментів по визначенню раціональних геометричних та енергетичних показників системи концентрації на прикладі параболоїдного концентратора;
- проаналізовані отримані результати з точки зору впливу неточності поверхні концентратора та міри його розфокусування;
- проведена верифікація числових результатів на основі знайденого наближеного аналітичного розв'язку.

Об'єктом дослідження є процеси переносу випромінювання в системах концентрації енергії.

Предметом дослідження є моделі, що описують процес концентрації сонячного випромінювання, методи та алгоритми для розв'язання та аналізу запропонованих моделей.

Методи дослідження. Для розв'язання зазначених задач застосовано методи математичного моделювання, теорії ймовірності та математичної статистики, методи обчислень, зокрема, метод Монте-Карло, методи числового аналізу, об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. На основі узагальненої математичної моделі розроблений числовий алгоритм Монте-Карло та створений **власний програмний продукт** для визначення основних енергетичних характеристик в системах концентрації сонячного випромінювання з урахуванням неточностей поверхні концентратора та ефекту його розфокусування.
2. **Вперше** визначено вплив сумарних неточностей поверхні реального концентратора на щільність теплового потоку в його фокальній площині при фіксації неточностей в частках кута розкриття Сонця. Порівняно значення щільності теплового потоку від реального концентратора при рівномірному та нормального законах розподілу неточностей поверхні.
3. **Вперше** встановлений факт взаємної компенсації неточності поверхні концентратора та ефекту його розфокусування. Знайдено, що реальні концентратори із незначними неточностями та розфокусуванням можуть бути більш енергетично ефективні, ніж математично ідеальні з розфокусуванням.
4. **Вперше** проведено верифікацію отриманих методом Монте-Карло числових даних для щільності теплового потоку шляхом порівняння із даними знайденого аналітичного розв'язку, в якому неточність поверхні враховується на основі значення інтегральної ймовірності.

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 аналітичних результатами, несуперечністю отриманих результатів відповідним опублікованим результатам інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. На основі розробленого числового алгоритму Монте-Карло був створений власний програмний C++код, який має узагальнений характер і може застосовуватися, в разі незначної корекції, для розрахунку концентраторів будь-якої геометрії. Крім того, створений програмний код має гнучку та прозору структуру, що дозволяє його трансформувати в залежності від типу обраних припущень та методів врахування неточності.
2. Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час проектування та функціонування сучасних сонячних енергетичних установок різного температурного рівня та призначення, в складі яких знаходиться концентратор сонячного випромінювання відповідної геометрії.
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 систем перетворення енергії Сонця та основні характеристики системи «Сонце – концентратор – теплоприймач». В якості фізичної моделі обраний концентратор параболоїдної геометрії, визначені геометричні та енергетичні характеристики такого концентратора та наведені приклади енергетичних систем з параболоїдними концентраторами. На основі аналізу літературних джерел проведено огляд сучасних методів досліджень системи «параболоїдний концентратор – теплоприймач» та обґрунтовано вибір напрямку дослідження. Доведено, що експериментальні дослідження є дуже коштовними, бо можуть проводитися тільки на моделях натуральної величини. Аналітичні методи також мало підходять для аналізу процесів у системах концентрації, бо обмежені функціонально. Аналіз показав, що адекватні результати можна отримати лише на основі числових методів, які є найбільш розповсюдженими при дослідженні систем концентрації. Існує консенсус, що метод статистичних випробувань Монте-Карло найбільш підходить для дослідження процесів переносу випромінювання в системі «параболоїдний концентратор – теплоприймач».

У **другому розділі** проаналізовані можливі підходи до створення узагальненої математичної моделі переносу сонячного випромінювання в системах концентрації. Визначено, що адекватні узагальнені результати можна отримати лише на основі фотометричного підходу, який обраний за основний під час дослідження. Базуючись на фотометричному підході, представлені етапи розробки узагальненої математичної моделі процесу концентрації енергії Сонця, в якій враховані всі фактори, що впливають на енергетичний баланс в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач». Проведена класифікація підходів – спрощень, які дозволяють розв'язати розроблену математичну модель. Ці підходи залежать від виду функції індикатриси випромінювання та методу врахування неточності поверхні концентратора. Для конкретизації результатів узагальнена математична модель із обраними припущеннями була застосована для дослідження сонячного концентратора параболоїдної геометрії.

Математична модель процесу концентрації в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач» складається із поверхневого інтегралу з невизначеною областю інтегрування, формалізації закону дзеркального відбиття для пучків промінів, що ідуть від Сонця на концентратор й від концентратора на теплоприймач та методу врахування неточності поверхні концентратора.

У третьому розділі обґрунтовано вибір методу Монте-Карло для дослідження розробленої математичної моделі та наведені основні етапи складання комп'ютерного алгоритму. Окремо детально описаний векторний аналіз, проведений на основі закону дзеркального відбиття. Цей аналіз базується на властивості компланарності відповідних векторів, які показують переміщення промінів в системі концентрації. В результаті такого аналізу отримані значення компонент векторів, які фігурують в математичній моделі та враховуються у значеннях функції Хевісайду.

Окремим елементом дослідження було визначення кількості випробувань при реалізації метода Монте-Карло, які забезпечують необхідну ступінь точності та достовірності. Ця кількість визначалась на основі ймовірнісних співвідношень.

Врахування неточності поверхні концентратора запропоновано проводити з використанням ймовірнісного підходу. Передбачалось, що кутові відхилення відбитого концентратором променя від математично ідеального напрямку підпорядковуються нормальному або рівномірному законам розподілу. Ці алгоритми введені у розроблений власний програмний продукт, який використовувався для подальшого моделювання. В результаті моделювання отримані розподіли щільності концентрованого сонячного потоку на поверхні теплоприймача з урахуванням неточності поверхні концентратора. Запропоновано рівень неточності враховувати в частках від кута розкриття Сонця.

Проведено моделювання енергетичних потоків в концентраторах з ефектом розфокусування. Виявлено ефект взаємної компенсації неточності поверхні та ефекту розфокусування. Проаналізовано значення кутів розфокусування на енергетичні показники системи, визначені їх критичні значення.

У четвертому розділі наведений наближений аналітичний розв'язок розробленої математичної моделі процесу концентрації в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач». Наближений аналітичний розв'язок будувався з припущеннями, які обирались для числового розв'язку Монте-Карло. Додаткові спрощення стосувались методу врахування неточності поверхні, а саме, використовувався нормальний закон розподілу із інтегральними параметрами. Крім того, вважалось, що пучок від концентратора майже завжди потрапляє у фокус. З урахуванням цих додаткових припущень проведені відповідні перетворення та отримані значення максимальної та середньої щільності сонячного потоку на поверхні теплоприймача.

Отримані аналітичні вирази мають відносно просту форму, підходять для розрахунку як ідеальних, так і реальних концентраторів, бо враховують фактор

помилки, і тому є змістовними та зручними для використання на практиці під час розрахунку систем концентрації.

Отриманий аналітичний розв'язок був використаний для верифікації алгоритму Монте-Карло та знайдених числових результатів. Порівняння показало задовільне узгодження отриманих даних, що доводиться кількісно. В якості критеріїв були обрані відносне середнє відхилення RAD та середньо квадратичне відхилення RMSE між числовими та аналітичними значеннями. Аналіз даних відхилень свідчить про адекватність математичної моделі та коректність отриманих даних.

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

1. На основі всебічного аналізу сучасної наукової літератури визначені основні переваги термодинамічного способу перетворення енергії Сонця, обґрунтована необхідність проведення наукових досліджень сонячних термодинамічних систем з концентраторами методами математичного та комп'ютерного моделювання.
2. В рамках фотометричного підходу розроблена узагальнена математична модель процесу концентрації сонячного випромінювання, в якій враховані всі ефекти, які виникають в системах концентрації та впливають на енергетику цих систем.
3. Визначені методи дослідження розробленої узагальненої математичної моделі, систематизовані можливі припущення щодо врахування неточності поверхні концентратора. В термінах узагальненої математичної моделі розроблена математична модель переносу випромінювання в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач».
4. На основі математичної моделі для параболоїдного концентратора розроблений числовий алгоритм Монте-Карло та створений власний програмний продукт для визначення основних енергетичних характеристик в системах концентрації сонячного випромінювання з урахуванням неточності поверхні концентратора та ефекту його розфокусування.
5. Вперше визначено вплив сумарних неточностей поверхні реального концентратора на щільність теплового потоку в його фокальній площині при фіксації неточностей поверхні в частках кута розкриття Сонця. Порівняно значення щільності теплового потоку від реального концентратора при рівномірному та нормальному законах розподілу неточностей поверхні.
6. На основі комп'ютерного моделювання встановлено вплив кутів розфокусування на енергетичні показники параболоїдного концентратора. Знайдено, що на ці показники суттєво впливає значення лише одного з двох кутів, визначено критичне значення цього кута, при якому розмір фокальної плями буде мінімальним.

7. Вперше встановлений факт взаємної компенсації неточності поверхні концентратора та ефекту його розфокусування. Знайдено, що реальні концентратори із незначними неточностями та розфокусуванням можуть бути більш енергетично ефективними, ніж математично ідеальні з розфокусуванням.
8. Проведено адаптацію розробленої математичної моделі для подальшого її розв'язання наближеним аналітичним методом. На основі аналітичного розв'язку знайдено максимальне значення щільності концентрованого потоку в фокусі ідеального та реального параболоїдного концентратора та розподіл щільності в фокусній площині.
9. Вперше проведено верифікацію отриманих методом Монте-Карло числових даних для щільності теплового потоку шляхом порівняння із даними знайденого аналітичного розв'язку, в якому неточність поверхні враховується на основі значення інтегральної ймовірності.

Після закінчення доповіді до Масаликіна С.С. присутніми були поставлені запитання.

ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ

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

Які саме методи лінійного програмування Ви використовували під час дослідження?

Масаликін С.С.:

Методи лінійного програмування, як і деякі інші методи із перелічених, іноді використовуються під час розв'язання задач переносу концентрованого сонячного випромінювання. Тому такі методи були описані в огляді та згадані у виступі. Але в роботі такі методи не використовувались.

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

Який науковий фундамент має обрана тема дослідження?

Масаликін С.С.:

Обрана тема має потужний науковий фундамент, який ґрунтується на попередніх дослідженнях в галузі космічній та наземній енергетики, що

проводились в провідних наукових центрах світу. Протягом останніх тридцяти років із різною інтенсивністю дослідження термодинамічного циклу перетворення сонячної енергії проводились в декількох науково-дослідних підрозділах ДНУ.

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

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

Масаликін С.С.:

Для верифікації отриманих результатів був обраний метод, який базується на порівнянні числових та аналітичних даних. В ході дослідження отримано наближений аналітичний розв'язок аналогічної задачі, з яким були зіставлені результати комп'ютерного моделювання. В огляді літератури проаналізовано багато подібних досліджень, але всі вони проводились при інших припущеннях, що ускладнює пряме порівняння результатів.

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

Як обиралась при створенні числового алгоритму оптимальна кількість випробувань? Що вважалось критерієм оптимальності?

Масаликін С.С.:

В розробленому алгоритмі передбачалась процедура визначення необхідної кількості випробувань. Це пов'язано з тим, що під час розв'язання задачі методом Монте-Карло реалізується штучний випадковий процес і тому оцінка результату \tilde{I}_E завжди є величиною випадковою, а його точність носить ймовірнісний характер. Іншими словами це значить, що похибка при заміні інтеграла I_E його оцінкою \tilde{I}_E з ймовірністю α не повинна перевищувати наперед заданої точності ε . Точність і достовірність (ймовірність) оцінки залежать від дисперсії підінтегральної функції та числа проведених випробувань.

Для визначення необхідної кількості випробувань у розробленому алгоритму Монте-Карло було організовано ітераційний процес. Спочатку розрахунок проводився із заданим довільним числом випробувань. При цьому задавались необхідні значення точності та ймовірності. Після проведення заданої кількості випробувань розраховувалась дисперсія і обернена функція Лапласа для обраного значення ймовірності. Далі, на основі цих значень, розраховувалось

нова кількість випробувань. Якщо відносна похибка між заданим та новим значення кількості випробувань не перевищувало обрану точність, то саме знайдена кількість випробувань вважалась оптимальною. Термін «оптимальність» в даному випадку вважався синонімом «необхідної кількості» випробувань.

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

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

Масаликін С.С.:

Так, безумовно були. В світовій космічній та наземній сонячній енергетиці термодинамічний цикл перетворення з використанням концентраторів різної геометрії є дуже розповсюдженим. Сонячні енергетичні системи із параболоциліндричними концентраторами будуються в багатьох країнах світу. В Україні цей напрям більш активно розвивався в космічній сонячній енергетиці. В ДНУ існує реальний параболоїдний концентратор діаметр якого перебільшує 3м. В подальшому передбачається продовжувати дослідження в цьому напрямку з використанням даних натурних експериментів.

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

Чому для врахування розподілу помилок був обраний саме нормальний закон розподілу?

Масаликін С.С.:

Вибір нормального розподілу пов'язаний із необхідністю врахування багатьох факторів, які впливають на величину кутових відхилень поверхні концентратора. До цих факторів відноситься шорсткість поверхні, вплив умов навколишнього середовища – дощу, пили, піску та ін., вплив коливання температур, дефектів системи стеження та ін. Кожен з цих факторів майже неможливо врахувати окремо. Тому під час моделювання був обраний нормальний закон розподілу, який прийнято використовувати в подібній ситуації.

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

Як тоді враховувався окремо ефект розфокусування?

Масаликін С.С.:

Врахування ефекту розфокусування проводилось шляхом дослідження значень двох додатково введених кутів, які характеризують відхилення концентратора від точного напрямку на Сонце. Ці кути враховувались в загальному векторному аналізі, який базувався на законі дзеркального відбиття, і вводились в розроблену математичному модель та числовий алгоритм.

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

Розроблений Вами алгоритм Монте-Карло може бути застосований лише для цієї конкретної задачі чи для будь-яких інших?

Масаликін С.С.:

Розроблений в роботі алгоритм Монте-Карло можна застосувати для розрахунку будь-якого поверхневого інтегралу. При цьому поверхня інтегрування буде визначатись в залежності від її геометрії. В даній роботі в якості поверхні інтегрування було обрано параболоїд і всі числові результати отримані саме для такої геометрії. Що стосується підінтегрального виразу, то в ньому описано хід променів в системі концентрації із обраним типом припущень. Тобто, якщо тип припущення змінити, то це змінить і значення підінтегрального виразу, але загальна структура алгоритму при цьому не зміниться.

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

Чи можна іншими методами провести інтегрування запропонованої математичної моделі?

Масаликін С.С.:

Інтегрування запропонованої математичної моделі можна провести класичними кубатурними формулами. Але на основі такого підходу можна розрахувати енергетичні потоки лише в системах з математично ідеальними концентраторами. Врахувати неточності поверхні та інші впливи на основі класичних методів числового інтегрування майже неможливо, бо для реальних концентраторів границі інтегрування є невизначеними. Тому метод Монте-Карло в цьому випадку вважається найбільш доречним.

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

Чи можна верифікацію розглядати в рамках наукової новизни?

Масаликін С.С.:

В даному випадку наукової новизною вважається розробка наближеного аналітичного методу і проведення на основі нього верифікації числових результатів.

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

Тоді не зрозуміло навіщо проводити числові дослідження, якщо Ви отримали зручний аналітичний розв'язок?

Масаликін С.С.:

Отриманий аналітичний розв'язок є наближений. А ньому, на відміну від числового, неможливо врахувати всі ефекти (зокрема, розфокусування), які впливають на енергетику системи. Це наглядно продемонстровано на слайді, де показано порівняння числових та аналітичних даних.

Хочу відміти, що існують класичні аналітичні розв'язки для верифікації числових даних. Але вони побудовані на основі інших припущень. Особливістю наближеного аналітичного розв'язку, який запропонований в даній роботі, є те, що цей розв'язок побудований із використанням припущень розробленого числового алгоритму. Тому побудову такого розв'язку і його порівняння (верифікація) із числовим розв'язком можна вважати елементом наукової новизни в даній роботі.

Кандидат фізико-математичних наук, доц. Кузенков О.О., доцент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Що було спочатку отримано – аналітичний або числовий розв'язок?

Масаликін С.С.:

Спочатку було отримано числовий розв'язок Монте-Карло. Але в процесі розробки числового алгоритму та аналізу отриманих числових результатів виникла думка про можливість створення на основі тих же припущень наближеного аналітичного розв'язку. Такий розв'язок може бути корисним на початкових етапах проектування систем концентрації, для проведення оціночних та порівняльних розрахунків. Крім того, отриманий розв'язок було використано для верифікації розробленого числового алгоритму та отриманих результатів комп'ютерного моделювання.

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

Чи розглядали Ви під час дослідження системи концентрації на основі двох дзеркал – типу Кассегрена?

Масаликін С.С.:

Такі типи концентраторів описані в дисертації в огляді літератури. Але дослідження подібних концентраторів в роботі не проводилось.

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

Що Ви маєте на увазі під терміном розфокусування поверхні концентратора?

Масаликін С.С.:

Розфокусування поверхні – це відхилення оптичної осі концентратора від точного напрямку на Сонце та на теплоприймач.

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

Чи враховувалось в Вашій моделі нагрівання поверхні концентратора?

Масаликін С.С.:

Модель будувалась в рамках фотометричного підходу на основі закону дзеркального відбиття. Передбачалось, що вся енергія, по поступає від Сонця, відбивається і перенаправляється. Втрати енергії на підвищення температури поверхні концентратора не враховувались.

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

Представлена узагальнена математична модель процесу концентрації розроблена Вами вперше?

Масаликін С.С.:

Наведена узагальнена математична модель не виноситься в якості наукової новизни роботи. Існує багато підходів до розробки такої моделі. В роботі був обраний та детально проаналізований один з них.

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

Яку мову програмування Ви обрали для створення програмного коду і чому?

Масаликін С.С.:

Розроблений алгоритм Монте-Карло було реалізовано на мови C++. Вибір цієї мови пов'язаний з тим, що алгоритм Монте-Карло містить велику кількість однотипних операцій, які для прискорення роботи програми бажано виконувати на мові низького рівня типу C. Але для візуалізації результатів використовувались деякі графічні бібліотеки мови Python.

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

Чи можна запропонований підхід використовувати для концентраторів іншої геометрії.

Масаликін С.С.:

Запропонований підхід можна використовувати для концентраторів будь-якої геометрії, але для цього необхідно провести відповідні перетворення, в яких будуть враховані рівняння поверхні концентратора та теплоприймача.

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 Масаликіна Станіслава Сергійовича присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі, яка полягає у розробці математичної моделі, побудові комп'ютерного алгоритму, власного програмного коду та проведенні числових експериментів по дослідженню особливостей переносу сонячної радіації в системах концентрації сонячного випромінювання. Розв'язок зазначеної прикладної математичної задачі дозволить визначати енергетичні показники в системі концентрації «Сонце – концентратор – теплоприймач», базуючись виключно на результатах комп'ютерного моделювання, без проведення складних натурних експериментів, без використання коштовних комерційних програмних засобів.

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

Масаликін Станіслав Сергійович у 2020 році закінчив факультет прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за спеціальністю «Прикладна математика», отже має фундаментальну

математичну й ІТ-підготовку. Після закінчення магістратури він виявив бажання вступити до аспірантури на кафедру комп'ютерних технологій, де й навчається до теперішнього часу.

Протягом навчання в аспірантурі Станіслав Сергійович повністю і своєчасно виконав освітню складову індивідуального навчального плану та індивідуальний план наукової роботи. У процесі виконання індивідуального плану наукової роботи та підготовки дисертації Станіслав Сергійович працював систематично, сумлінно і творчо. Основні результати дисертації отримано ним самостійно.

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

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

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на підсумкових наукових конференціях в ДНУ та на п'ятьох 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 Станіслава Сергійовича, його пунктуальність, відповідальність, надзвичайну працездатність. Вважаю, що за роки навчання в аспірантурі С.С. Масаликін 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 Станіслав Сергійович не полишав наукову діяльність і, за умови позитивного рішення нашого семінару та подальшого позитивного рішення разової спеціалізованої вченої ради щодо його дисертації, мав можливість продовжувати співпрацю з кафедрою комп'ютерних технологій та факультетом прикладної математики як викладач або як стейкхолдер.

Підсумовуючи, хочу сказати, що мені особисто було надзвичайно приємно працювати зі Станіславом Сергійовичем. Сподіваюся на вашу підтримку його

дисертаційної роботи, яку я, як науковий керівник, рекомендую до захисту на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика.

Дякую за увагу.

В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ МАСАЛИКІНА С.С. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

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

Отримані в дисертації Масаликіна С.С. 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 Станіслав Сергійович добре володіє сучасним апаратом наукових досліджень, здатен самостійно ставити і вирішувати задачі в галузі прикладної математики, проводити критичний аналіз отриманих результатів.

У дисертаційній роботі Масаликіна С.С. 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, зокрема у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus. 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 технічних наук, проф. Байбуз О.Г., зав. кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

В дисертаційній роботі Масаликіна С.С. зроблено значний внесок у розробку методів та алгоритмів Монте-Карло для моделювання енергетичних потоків в системах концентрації. Ця тема є новою, в ній поєднуються детерміновані та статистичні підходи до моделювання, що прикрашає роботу. 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

Масаликіна С.С. повністю відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика, і рекомендую цю роботу до захисту на спеціалізованій разовій раді.

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

Дисертаційна робота і доповідь Масаликіна С.С. склали добре враження. В роботі розглянуті нові задачі, які розв'язані як числовими, так і аналітичними методами. Важливим є представлення узагальненої математичної моделі, в якій враховані в рамках фотометричного підходу всі ефекти, що впливають на енергетику в системах концентрації. Автор обрав в якості фізичної моделі для дослідження параболоїдний концентратор, але представлена узагальнена математична модель підходить для будь-якої геометрії концентратора, що 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 в системах концентрації сонячного випромінювання на основі обраних автором припущень проводиться вперше, що надає особливу цінність роботі Станіслава Сергійовича.

Також хотілось звернути увагу, що здобувачем на основі тих же припущень розроблений наближений аналітичний метод та отриманий відповідний розв'язок, який зводиться до досить простих аналітичних формул. Знаходження такого розв'язку достатньо кропітка, але важлива для практики робота.

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

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

Я приєднуюсь до слів Павла Григоровича щодо високої оцінки роботи, її актуальності та новизни. Робота є оригінальною, в ній використовуються підходи, які не є широко відомими та популярними в практиці комп'ютерного моделювання. При розробці числового алгоритму було розв'язано фактично дві ймовірнісні задачі – розрахунок подвійного інтегралу із невизначеною підінтегральною функцією та розрахунок кутових відхилень поверхні, які підпорядковуються ймовірнісним законам розподілу. Для реалізації такого числового алгоритму Станіславом Сергійовичем було розроблено власний програмний додаток, який можна вважати окремим здобутком. Застосування такого додатку дозволить уникнути коштовних натурних експериментів під час

дослідження систем концентрації, що суттєво зменшить час та вартість таких досліджень

Вважаю, що робота Масаликіна С.С. 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, с.н.с. Накашидзе Л.В., провідний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Тема роботи Масаликіна С.С. є, безумовно, актуальною. 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 Станіслава Сергійовича для подальшої співпраці за даною тематикою до нашого науково-дослідного інституту енергоефективних технологій в матеріалознавстві.

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

Доктор 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 в системах концентрації сонячного випромінювання. Важливим є те, що запропоновані підходи можна застосовувати для систем з концентраторами будь-якої геометрії.

Робота Масаликіна С.С. 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.

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 Станіслав Сергійович проявив себе повністю сформованим дослідником, який здатен

самостійно ставити та розв'язувати складні наукові задачі в галузі прикладної математики.

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

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

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

Вважаю, що всі етапи дисертаційної роботи Масаликіна С.С. висвітлені в його доповіді достатньо повно та ґрунтовно. Станіслав Сергійович навів розширений огляд наукової бази та сучасних наукових досліджень, які покладені в основу дисертаційної роботи. Робота Масаликіна С.С. багатогранна, в ній представлені як числові, так і аналітичні методи, що зайвий раз підтверджує кваліфікацію автору. Вважаю, що аналітичні розв'язки завжди викликають особливу повагу, оскільки вони мають як самостійне значення, так і можуть бути тестовими для числових розв'язків.

Тема роботи актуальна, бо присвячена розвитку сучасних методів дослідження систем концентрації сонячного випромінювання, 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 Масаликіна С.С. виконані в повному обсязі. Кількість публікацій достатня. Вважаю, що у нас є всі підстави проголосувати за те, щоб подати дисертацію Масаликіна С.С. до захисту і побажати йому подальших успіхів.

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

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації

Енергетичні системи на основі енергії Сонця набувають все більшої популярності в світі завдяки невичерпному характеру первинного джерела енергії, екологічній чистоті перетворення та достатньо апробованим технологіям. Серед таких сонячних технологій термодинамічна має суттєві переваги за енергетичними, економічними та екологічними показниками. Для термодинамічних систем перетворення енергії Сонця характерним є те, що в їх склад в якості обов'язкового елемента входять концентратори сонячного випромінювання. Сонячні концентратори – це спеціальні пристрої, які служать для збирання енергії Сонця та перерозподілу її на теплоприймач.

Система прийому сонячного випромінювання, яка складається із концентратора та теплоприймача, є найбільш складним та коштовним елементом системи перетворення. Від якості та досконалості системи прийому залежить енергетична ефективність всього термодинамічного циклу. Тому дослідження процесів переносу випромінювання в системах прийому сонячних термодинамічних станцій є актуальною науковою задачею, яка розв'язувалась в даній роботі.

Завдяки тому, що системи концентрації дуже складно досліджувати експериментальними методами і майже неможливо досліджувати аналітичними методами, то актуальним напрямком є розробка таких математичних моделей процесу концентрації, на основі яких можливо створювати гнучкий та прозорий комп'ютерний алгоритм для подальшого числового дослідження.

В контексті сучасних наукових досліджень актуальною є розробка та подальша програмна реалізація алгоритму Монте-Карло для розрахунку енергетичних потоків в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач». Для визначеності та подальшого аналізу побудова алгоритму Монте-Карло проводиться для обраної геометрії концентратора, а саме, для системи з параболоїдним концентратором.

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 «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця».

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

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

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

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

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

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

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. На основі узагальненої математичної моделі розроблений числовий алгоритм Монте-Карло та створений **власний програмний продукт** для визначення основних енергетичних характеристик в системах концентрації сонячного випромінювання з урахуванням неточностей поверхні концентратора та ефекту його розфокусування.
2. **Вперше** визначено вплив сумарних неточностей поверхні реального концентратора на щільність теплового потоку в його фокальній площині при фіксації неточностей в частках кута розкриття Сонця. Порівняно значення щільності теплового потоку від реального концентратора при рівномірному та нормального законах розподілу неточностей поверхні.
3. **Вперше** встановлений факт взаємної компенсації неточності поверхні концентратора та ефекту його розфокусування. Знайдено, що реальні концентратори із незначними неточностями та розфокусуванням можуть

бути більш енергетично ефективні, ніж математично ідеальні з розфокусуванням.

4. **Вперше** проведено верифікацію отриманих методом Монте-Карло числових даних для щільності теплового потоку шляхом порівняння із даними знайденого аналітичного розв'язку, в якому неточність поверхні враховується на основі значення інтегральної ймовірності.

Наукове та практичне значення роботи.

У дисертаційній роботі розробляються та створюються моделі, методи та алгоритми, які використовуються для опису та дослідження процесів енергопереносу в системах концентрації сонячного випромінювання. Розроблені моделі та проведені на їх основі комп'ютерне моделювання дозволяє визначити основні енергетичні параметри систем концентрації відповідної геометрії уникаючи складних і коштовних натурних експериментальних досліджень.

В роботі, на основі розробленого числового алгоритм Монте-Карло, був створений власний програмний C++код, який має узагальнений характер. Структура коду прозора та гнучка, що дозволяє легко трансформувати її для розрахунку математично ідеальних і реальних концентраторів будь-якої геометрії.

Отримані під час дослідження результати можна використовувати під час проектування та функціонування сонячних термодинамічних систем різного типу та призначення з концентраторами відповідної геометрії.

Окремі теоретичні та практичні результати роботи включені до обов'язкової навчальної дисципліни «Моделі і методи прикладної математики» та вибіркової дисципліни «Методи ідентифікації параметрів математичних моделей», які викладаються для здобувачів вищої освіти рівня PhD спеціальності 113 Прикладна 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-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.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Стаття у науковому фаховому виданні України категорії Б:

1. Масаликін С.С., Книш Л.І. Алгоритм Монте-Карло для розрахунку переносу випромінювання в системі “Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач”, *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*. 2021. Т.33. №1. С.114 – 125.

Режим доступу до ресурсу:

<https://pommk.dp.ua/index.php/journal/article/view/535>

DOI: <https://doi.org/10.15421/4221010>

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

2. Stanislav Masalykin, Lyudmila Knysh, Construction of a mathematical model and approximate analytical solution to the problem of energy exchange in the “Sun – Paraboloid concentrator – heat receiver” system, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. №3/8 (123). P. 37 – 45.

Режим доступу до ресурсу: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/282206>

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282206>

3. Масаликін С.С., Книш Л.І. Моделювання енергетичних втрат при розфокуванні сонячних параболоїдних концентраторів. *Відновлювана енергетика*. 2022. №2(69). С.26 – 31.

Режим доступу до ресурсу: <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/346/266>

DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2\(69\).26-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).26-31)

Додаткові праці апробаційного характеру

4. Книш Л.І., Масаликін С.С. Метод статистичного моделювання для розрахунку задач концентрації сонячного випромінювання. *Збірник тез XXIII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос»*, м. Дніпро, 14–16 квітня 2021р. С.75.

Режим доступу до ресурсу: https://spacehuman.org/_files/doc/sbornik2021.pdf

5. Масаликін С.С., Книш Л.І. Алгоритм розрахунку променевого переносу в системах концентрації сонячного випромінювання. *Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем»*, м. Дніпро, 17–19 листопада 2021р. С. 134.

Режим доступу до ресурсу:

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

6. 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://nmetau.edu.ua/file/itmm_2022_ua.pdf

7. Масаликін С.С., Книш Л.І. Моделювання ефекту розфокусування в системах концентрації сонячного випромінювання, *Тези доповідей XX Міжнародної*

науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», м. Дніпро, 23 –25 листопада 2022. С. 137.

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

8. Масаликін С.С., Книш Л.І. Розробка узагальненого підходу до моделювання переносу сонячного випромінювання в системі “Сонце – концентратор – теплоприймач”, *Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”*, м. Дніпро, 22 –24 листопада 2023р. С. 204 – 205.

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

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

УХВАЛИЛИ:

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Масаликіна Станіслава Сергійовича на тему «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця» 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 Масаликіна Станіслава Сергійовича на тему «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця» 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 Масаликіна Станіслава Сергійовича у такому складі:

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

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

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

1	2	3	4	5	6
		дисциплін, секція вищої математики і математичного моделювання			<p>16n1/38336</p> <p>Moiseienko S., Tuchyna U., Redchyts D, Zaika V., Vygodner I., Comparative Analysis of Numerical Methods for Solving Linear Equation Systems for Poisson's Equation, <i>Lecture Notes in Mechanical Engineering</i>, 2023, P. 169 – 177. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_17 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18487-1_17</p> <p>Redchyts D.O., Moiseienko S.V., Numerical simulation of unsteady flows of cold plasma during plasma actuator operation, <i>Space Science and Technology</i>, 2021, Vol. 27, Is. 1, P. 85 – 96. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.15407/knit2021.01.085 URL: http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2021/1/03</p>
4.	Габрінець Володимир Олексійович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерство освіти і науки України, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки 1995 р., Україна	Професор за кафедрою інформаційних технологій та інформаційних систем, 2002р., Україна	<p>Nakashydz, L., Gabrinets, V., Mitikov, Y., Alekseyenko, S., & Liashenko, I., Determination of features of formation of energy supply systems with the use of renewable energy sources in the transition period. <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, 2021, Vol.5, no.8 (113), P.23 – 29. (Scopus) DOI: https://journals.uran.ua/eejet/article/view/243112 URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112</p> <p>Gabrinets, V., Nakashidze L., Influence of the physical and technical characteristics of the construction layers of solar radiation converters on the efficiency of functioning, <i>Vidnovluyama Energetika</i>, 2022, no.2 (69), P. 5 – 12. (Scopus)</p>

1	2	3	4	5	6
					<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 колектора. <i>Вісник Дніпровського університету, Серія ракетно-космічна -техніка</i>, 2023, випуск 26, №4, Т.31, С. 167 –173. (фахове видання, категорія Б).</p> <p>DOI: https://doi.org/10.15421/452321</p> <p>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)</p> <p>DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280740</p> <p>URL: https://journals.uran.ua/ejet/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)</p> <p>DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-69-76</p> <p>URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=15458</p> <p>Hilorme T., Nakashidze L., Liashenko I. The model for</p>

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

Результати голосування:

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

**Голова
 наукового семінару**

Секретар



Олена КІСЕЛЬОВА

Олександр КУЗЕНКОВ