

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Масаликіна Станіслава Сергійовича «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця»**, що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика

**Актуальність теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами.** Тема дисертації Масаликіна С.С. є актуальною як в науковому, так і в прикладному аспектах. Наукова актуальність дисертації визначається необхідністю розробки і удосконалення моделей і методів дослідження процесів випромінювання в системах концентрації енергії Сонця. Розв'язання подібних задач дозволить підвищити рівень як фундаментальних, так і прикладних досліджень у галузі прикладної математики за відповідним напрямком.

У прикладному аспекті актуальність полягає в тому, що у роботі створено програмне забезпечення для розрахунку щільності теплового потоку, що поступає від концентратора відповідної геометрії. Розрахунок значення щільності концентрованого теплового потоку дозволяє обґрунтовано обрати нові технічні рішення щодо сучасних систем концентрації енергії Сонця, які відповідають умовам енергоефективності, зменшення вартості, можливості практичної реалізації.

Дисертація виконана в рамках тематики ініціативної науково-дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 рр., науковий керівник проф. Книш Л.І.), яка виконується на кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності до тематичних планів науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота Масаликіна С. С. складається зі вступу, основного тексту, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 131 сторінок. Робота має 4 розділи основного тексту, містить 28 рисунків та список використаних джерел із 112 найменувань.

Обсяг та структура дисертації відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика

У **вступі** автором обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета та задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, викладені наукова новизна та практична значимість результатів досліджень, визначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** розглядається система «концентратор – теплоприймач» як складовий елемент систем перетворення енергії Сонця. Проаналізовані типи систем перетворення сонячної енергії, визначені основні



переваги та недоліки фотоелектричних та термодинамічних сонячних енергетичних систем. Обрана фізична модель для подальших досліджень, надана характеристика геометричних та енергетичних параметрів параболоїдного концентратора.

Автор приводить приклади класичних та оригінальних проектних рішень систем перетворення сонячної енергії із використанням параболоїдних концентраторів, аналізує сучасні наукові дослідження, які свідчать про перспективність такого типу перетворення.

В розділі значну увагу приділено огляду найбільш популярних методів дослідження процесів радіаційного переносу в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач». Доведено, що серед таких методів найбільші перспективи має метод статистичних випробувань Монте-Карло, який автор обрав в якості основного в даному дослідженні.

**Другий розділ** присвячено створенню узагальненої математичної моделі процесу концентрації енергії Сонця. Автор на основі огляду літературних джерел обрав фотометричний підхід в якості основного при складанні узагальненої математичної моделі. Створення такої моделі проводилась в два етапи. На першому етапі розглядався радіаційний перенос в системі «Сонце – концентратор», на другому – в системі «концентратор – теплоприймач». Узагальнений баланс енергії в системі був формалізований за допомогою відповідного співвідношення.

Важливим елементом роботи є систематизація можливих методів спрощення узагальненої математичної моделі. Автор пропонує проводити цю систематизацію, базуючись на значенні функції індикатриси випромінювання та методі врахування неточності поверхні концентратора. Для визначеності при подальшому моделюванні було обрано один з чотирьох запропонованих варіантів спрощення, а саме, передбачався рівномірний розподіл сонячних промінів в пучці, а величина цього пучка дорівнювала куту розкриття Сонця. Саме з такими спрощеннями побудована математичну модель переносу випромінювання в концентраторі параболоїдної геометрії.

**В третьому розділі** проведено опис етапів розробки комп'ютерного алгоритму Монте-Карло для числового дослідження переносу випромінювання в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач». Важливим елементом при проведенні такого дослідження є вибір методу врахування неточності поверхні концентратора. Автор пропонує враховувати неточності поверхні за допомогою ймовірнісних розподілів та доводить, що серед таких розподілів найбільш адекватним для даної задачі є нормальний закон розподілу.

На основі розробленого статистичного алгоритму Монте-Карло та створеного C++ програмного додатку проведено комп'ютерне моделювання щільності теплового потоку в фокальній площині параболоїдного концентратора. В результаті моделювання визначено вплив на енергетику системи неточності поверхні концентратора та ефекту розфокусування концентратора.



Вплив цього ефекту пропонується враховувати за допомогою спеціально введених в модель і алгоритм додаткових кутів.

Автор провів детальний аналіз отриманих числових даних на основі їх графічної візуалізації. Отримані важливі результати, які мають ознаки наукової новизни.

Окремо було розглянуто питання вибору кількості статистичних випробувань під час розробки алгоритму. Для визначення цієї кількості в базовому алгоритмі застосовувався спеціальний ітераційний процес, в якому використовувались класичні співвідношення теорії ймовірностей.

**Четвертий розділ** присвячено верифікації математичної моделі та результатів комп'ютерного моделювання в системі перетворення сонячного випромінювання із параболоїдним концентратором.

Автор запропонував оригінальний наближений аналітичний розв'язок відповідної задачі концентрації. Аналітичний розв'язок будувався на основі припущень, які були використані при побудові числового алгоритму. Крім того, особливістю цього розв'язку є можливість врахування в ньому неточності поверхні концентратора на основі нормального ймовірнісного закону розподілу. Такий підхід дозволяє застосувати знайдений наближений аналітичний розв'язок для верифікації числових результатів, які отримані методом Монте-Карло. Порівняння аналітичних та числових результатів показало їх задовільний збіг, що свідчить про адекватність запропонованої математичної моделі.

У **висновках** сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.** Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, є цілком обґрунтованими і достовірними. Це забезпечується:

- послідовним дотриманням принципів системного підходу, завдяки якому у роботі шляхом попереднього аналізу проблеми, сформульовано основні задачі дисертаційної роботи, спрямовані на розвиток і розробку моделей та методів дослідження процесів сонячного випромінювання в системах його концентрації;
- кваліфікованим застосуванням автором дисертації наукового інструментарію, а саме, математичного та комп'ютерного моделювання на основі сучасних числових методів, комплексного підходу до аналізу відповідних процесів, що мають місце в системах концентрації енергії Сонця.

Наведені в дисертації результати роботи теоретично обґрунтовані та виконані на високому науковому рівні. Висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі, містять нові наукові положення щодо протікання процесів переносу випромінювання в системах «Сонце – концентратор – теплоприймач». Запропоновані моделі, методи та програмні застосунки можуть бути покладені в



основу проектування реальних систем перетворення енергії Сонця, використовуватись в інших галузях науки, техніки, освіти.

### **Наукова новизна результатів дисертації.**

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 із урахуванням неточності поверхні концентратора та ефекту його розфокусування.
2. **Вперше визначено** вплив сумарної неточності поверхні реального концентратора на щільність теплового потоку в його фокальній площині при фіксації неточності 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.

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

1. На основі розробленого числового алгоритм 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 математики в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.
4. Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативної науково-дослідну роботу «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи»



(2022-2024, науковий керівник проф. Книш Л.І., державний реєстраційний номер 0122U001467), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

**Рекомендації щодо подальшого використання результатів дисертаційної роботи.** Всебічний аналіз результатів дисертації продемонстрував їх важливість при виконанні фундаментальних науково-дослідних робіт та при проведенні досліджень відповідних систем. Тому результати дисертації корисні для наукових, академічних і галузевих організацій, які досліджують закономірності перетворювання відновлювальних джерел енергії. Використання їх в освітніх закладах підвищить рівень підготовки студентів, буде корисним при написанні курсових та дипломних робіт.

**Відповідність змісту дисертації встановленим вимогам.** Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика. За структурою, обсягом і оформленням дисертація відповідає всім вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Обсяг, кількість і джерела публікацій відповідають діючим вимогам.

**Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях.** Основні результати дисертації з достатньою повнотою викладено у 8 публікаціях, з яких 2 статті опубліковані у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 стаття опублікована у фаховому виданні України категорії Б. Результати дисертаційних досліджень Масаликіна С.С. пройшли апробацію на 5 міжнародних науково-практичних конференціях.

#### **Зауваження по дисертації та автореферату.**

1. Для оцінки адекватності було б доцільно використати експериментальні дані.
2. При порівнянні результатів, отриманих за допомогою розробленої математичної моделі та результатами наближеного аналітичного розв'язку використовуються лише якісні твердження про задовільну кореляцію між ними. Було б доцільно використати кількісні критерії для оцінки адекватності.

Слід зазначити, що зроблені зауваження не впливають на науковий рівень дисертації, новизну та достовірність її результатів.

#### **Висновок по дисертації.**

Дисертаційна робота **Масаликіна Станіслава Сергійовича** «Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії Сонця» є завершеним викладом відповідного дослідження, в якому отримані нові результати щодо вирішення однієї з важливих задач в галузі прикладної математики – розробки та удосконаленню моделей і методів дослідження процесів радіаційного переносу в системах концентрації сонячного випромінювання.

Дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність. Сформульовані наукові



положення дисертації, висновки і рекомендації є достовірними та відповідають об'єктивній дійсності.

Здобувачем дотримані вимоги академічної доброчесності, дисертація відповідає вимогам чинного законодавства про авторське право, містить повну і достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використані методики досліджень.

За напрямом обраних і вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 113 Прикладна математика, галузі знань 11 Математика та статистика.

За науковим рівнем, науковою новизною отриманих результатів, їх теоретичною та практичною значимістю та обсягом виконаних досліджень, дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам відповідно наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами від 21.03.2022), а її автор Масаликін Станіслав Сергійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

### Офіційний опонент

Доктор технічних наук, завідувач  
кафедри аерокосмічної теплотехніки  
Національного аерокосмічного уні-  
верситету ім. М. Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут"

Павло ГАКАЛ

Особистий підпис Гакал П. Г.  
засвідчую

### Учений секретар

Національного аерокосмічного уні-  
верситету ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»,  
канд. техн. наук, доцент



Тетяна БОНДАРЄВА