

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Масаликіна Станіслава Сергійовича
«Статистичне моделювання енергетичних потоків в системах концентрації енергії
Сонця», що подана на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та
статистика

Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота є рукописом загальним обсягом 131 сторінка основного тексту, що містить 28 рисунків. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків за результатами досліджень і переліку використаних літературних джерел з 112 найменувань.

Дисертацію виконано в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Актуальність теми

В теперішній час в світі спостерігається стала тенденція до розвитку та удосконаленню промислових та автономних сонячних енергетичних систем з концентраторами різних типів. Викликом в цьому напрямку є удосконалення систем прийому сонячного випромінювання «Сонце – концентратор – теплоприймач».

В цьому сенсі робота С.С. Масаликіна спрямована на розв'язання важливої науково-технічної задачі, яка пов'язана із таким удосконаленням, а саме визначенням щільності сонячного потоку від концентратора на теплоприймач, що дозволить знайти їх найбільш енергоефективні геометричні параметри. Масаликін С.С. пропонує для цього враховувати неточності поверхні концентратора та ефект його розфокусування. Дослідження проводились на основі математичного та комп'ютерного моделювання енергетичних потоків в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач», а саме методом Монте-Карло з використанням власного розробленого програмного коду.

Отже, обрана тема та напрямки наукових досліджень, пов'язаний із моделюванням процесів в сонячних енергетичних системах, повністю відповідають сучасним викликам розвитку суспільства та мають перспективи подальшого впровадження як в галузі відновлюваної енергетики, так і в інших енергетичних та промислових галузях України та світу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження проводилось у відповідності до планів наукових досліджень кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках ініціативної наукової теми «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та

процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 р.р., науковий керівник проф. Книш Л.І.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків та їх достовірність

Наукові положення і висновки, наведені у дисертації, отримані автором шляхом математичного та комп'ютерного моделювання процесів радіаційного теплообміну в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач».

Достовірність результатів роботи забезпечена коректністю математичних постановок задач, використанням в роботі фундаментальних положень геометричної оптики та теорії теплообміну випромінюванням, загальноприйнятих сучасних методів математичного моделювання, теорії ймовірностей, методів обчислень та перевіркою адекватності математичних моделей.

Наукова новизна роботи та важливість одержаних результатів для науки і практики

Дисертація спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі, яка пов'язана із підвищенням теплової ефективності систем прийому сонячних термодинамічних станцій, визначення найбільш енергоефективних геометричних параметрів концентратора та теплоприймача.

Нові наукові результати, які отримані автором, полягають в 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 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 з даними знайденого аналітичного розв'язку, в якому неточність поверхні враховується на основі значення інтегральної ймовірності.

Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

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 без суттєвих змін.
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.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичної моделі, числового алгоритму Монте-Карло та програмного застосунку для моделювання енергетичних потоків в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач», а також проведенні розрахунково-теоретичних досліджень на їх основі.

Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих роботах

Основні матеріали дисертації викладені у 8-ти друкованих працях, в тому числі: 3-х статтях, з яких 2 статті входять до наукометричної бази Scopus, а 1 стаття опублікована в фаховому журналі України категорії Б. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на 5-ти міжнародних наукових конференціях. Всі публікації містять результати безпосередньої роботи автора на окремих етапах досліджень та відображають основні положення та висновки дисертаційної роботи.

Аналіз змісту дисертації

У вступі висвітлена актуальність дослідження, його мета та основні задачі. Автор визначив об'єкт та предмет дослідження, перелічив методи, які використовувались в роботі, сформулював її наукову новизну та практичну цінність.

Перший розділ присвячено аналізу сучасних наукових публікацій за обраною темою. Для проведення такого аналізу і визначення траєкторії дослідження автор описує типи термодинамічних систем перетворення енергії Сонця, характеризує геометричні та енергетичні параметри сонячних концентраторів, обирає фізичну модель для подальшого дослідження. Багато уваги в розділі приділяється опису прикладних задач та типів концентраторів, які використовуються для розв'язання відповідних задач. Наведено огляд методів дослідження процесів переносу в системах концентрації енергії Сонця.

У другому розділі представлені етапи розроблення узагальненої математичної моделі процесу концентрації сонячного випромінювання. Автор обрав для створення узагальненої математичної моделі фотометричний підхід, який є цілком виправданий для систем концентрації великої та середньої потужності. Важливим елементом дослідження є систематизація можливих методів спрощення узагальненої математичної моделі, які дозволяють її розв'язати числовими методами. Крім того, в розділі проводиться аналіз підходів до врахування неточності поверхні концентратора та пропонується це врахування здійснювати на основі ймовірнісних розподілів. Обрані припущення дозволили сформулювати математичну модель для параболоїдного концентратора.

В третьому розділі показані етапи створення числового алгоритму Монте-Карло для визначення енергетичних потоків в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач». Автор детально викладає всі етапи цього алгоритму, наводить його блок-схему. На основі створеного алгоритму Монте-Карло розроблена комп'ютерна програма та проведені числові дослідження для визначення щільності теплового потоку в фокусі математично ідеального та реального параболоїдного концентраторів, а також параболоїдних концентраторів із розфокусуванням. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання дозволяє визначити вплив рівня неточності поверхні та фактору її розфокусування на падіння щільності концентрованого сонячного потоку в фокусі та на розмір фокусної плями. Крім того, знайдені нові взаємні впливи між рівнем неточності поверхні та ступенем її розфокусування.

В четвертому розділі наведений наближений аналітичний розв'язок для розробленої математичної моделі. Цей розв'язок отримано на основі тих же базових припущень, що і числовий. Такий підхід дозволяє верифікувати отримані числові дані. Крім того, наближений аналітичний розв'язок може бути корисний на початкових етапах проектування систем концентрації.

У висновках перелічені основні етапи проведеного дослідження та його наукові та практичні результати.

Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі

1. В огляді літератури наведено багато публікацій, які присвячені сонячним концентратором різної геометрії, зокрема, параболоїдної. Всі описані системи концентрації функціонують або проектуються для наземного використання. В той же час прообразом наземних сонячних енергетичних систем з концентраторами є космічні сонячні енергетичні установки. Вважаю, що огляд космічних систем концентрації та методів їх дослідження був би доречним в даній роботі.
2. Автор в дисертації вказує на те, що до задач радіаційного переносу в системах концентрації, які розв'язуються на основі фотометричного підходу, практично неможливо застосувати класичну теорію подібності та розмірності. Цей висновок є цілком виправданий. В той же час отримані результати можливо узагальнити, якщо представити їх в безрозмірних змінних. В якості щільності теплового потоку розглядати безрозмірну щільність (відношення абсолютної щільності концентрованого сонячного потоку до щільності сонячного потоку в місці локації станції), а в якості радіуса теплоприймача – безрозмірний радіус (відношення радіуса фокусної плями до радіуса концентратора).
3. Автор проводить верифікацію отриманих числових результатів шляхом порівняння з наближеними аналітичними результатами. В той же час існують класичні аналітичні розв'язки задачі концентрації для ідеального параболоїдного концентратора. Вважаю, що порівняння числових і класичних аналітичних результатів для ідеального концентратора було б доречним.
4. В розробленій математичній моделі вважається, що вся відбита від концентратора енергія поступає на теплоприймач. Але частина енергії йде на нагрів концентратора. Як враховується цей нагрів?

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

ВИСНОВОК ОПОНЕНТА

Представлена на рецензію дисертація Масаликіна С.С. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі математичного та комп'ютерного моделювання вирішено важливу наукову задачу підвищення теплової ефективності систем прийому сонячних енергетичних систем з концентраторами шляхом визначення найбільш енергоефективних геометричних параметрів концентратора та теплоприймача.

Сформульовані наукові положення дисертації, висновки і рекомендації є достовірними та відповідають об'єктивній дійсності. Основні досягнення

висвітлені в фахових джерелах, визнаних МОН України. Матеріали дисертації у достатній мірі були представлені на міжнародних конференціях. Мова та стиль дисертації відповідають вимогам до науково-технічних текстів та публікацій.

Здобувачем дотримані вимоги академічної доброчесності – дисертація не містить елементів плагіату та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Робота 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.

Рецензент

професор кафедри ракетно-космічних
та інноваційних технологій

Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
д.-р. техн. наук, професор



Володимир ГАБРИНЕЦЬ

Підпис професора Володимира
Габрінця засвідчую

Вчений секретар вченої ради

Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
канд. фіз.-мат. наук, доцент



Тетяна ХОДАНЕН