

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Борисенка Андрія Геннадійовича
«Математичне та комп'ютерне моделювання теплообміну в
нанорідинному теплоносії сонячних термодинамічних станцій»,
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 139 сторінки основного тексту, що містить 3 таблиці та 23 рисунка. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків за результатами досліджень і переліку використаних літературних джерел з 129 найменувань.

Дисертацію виконано в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Актуальність теми

Останнім часом в світі спостерігається стала тенденція до розвитку та удосконаленню промислових та автономних сонячних термодинамічних станцій. Викликом в цьому напрямку є удосконалення систем прийому сонячного випромінювання в таких станціях.

В цьому сенсі робота А. Борисенка спрямована на розв'язання важливої науково-технічної задачі, яка пов'язана саме з таким удосконаленням, а саме інтенсифікацією конвективного теплообміну в трубчатому теплоприймачі сонячної термодинамічної станції. Борисенко А.Г. пропонує для цього використовувати в якості теплоносія спеціальні суспензії – нанорідини, які готуються шляхом додавання в базовий теплоносій наночастинок різних матеріалів. Таке додавання змінює теплофізичні властивості базового теплоносія, підвищуючи його спроможність передавати тепло. Отже, обрана тема та напрямок наукових досліджень, пов'язаний із використанням нанотехнологій в сонячній енергетиці, повністю відповідають сучасним викликам розвитку суспільства та мають перспективи подальшого впровадження як у галузі відновлюваної енергетики, так і в інших енергетичних та промислових галузях України та світу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження здійснювалось 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 рр., науковий керівник проф. Книш Л.І.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків та їх достовірність

Наукові положення і висновки, що наведені в дисертації, отримані автором шляхом математичного та комп'ютерного моделювання процесів конвективного теплообміну в теплоприймачі сонячної термодинамічної станції з нанорідинним теплоносієм.

Достовірність результатів роботи забезпечено коректністю математичних постановок задач, використанням в роботі фундаментальних положень теорії тепломасообміну та гідродинаміки, загальноприйнятих сучасних методів математичного моделювання 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 шляхом інтенсифікацію конвективного теплообміну в теплоприймачі завдяки використанню нанорідинного теплоносія.

Нові наукові результати, що отримані автором, полягають в наступному:

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

Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

1. На основі розробленого числового алгоритму, що базується на методі контрольних об'ємів, був створений власний програмний код, який має узагальнений характер і, в разі незначної корекції, може застосовуватися для розрахунку течії в круглих каналах з нанорідиною, які є елементом будь-якого технологічного обладнання. Крім того, створений програмний код має гнучку та прозору структуру, що дозволяє підлаштовувати його без змін структури під будь-який тип теплоносія та будь-які умови функціонування системи.
2. Результати проведеного дослідження можуть бути використані під час проектування та функціонування сучасних сонячних термодинамічних установок різного температурного рівня та призначення, в яких в якості теплоносія використовується нанорідина різного типу.
3. Теоретичні та практичні положення роботи стали складовою частиною навчальних дисциплін «Моделі і методи прикладної математики», «Методи ідентифікації параметрів математичних моделей», які викладаються для здобувачів вищої освіти рівня PhD спеціальності 113 Прикладна математика в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.
4. Проведені дослідження та їх результати складають відповідний розділ ініціативної науково-дослідної роботи «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 рр., науковий керівник проф. Книш Л.І.), яка проводиться на кафедрі комп'ютерних технологій факультету прикладної математики ДНУ.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичної моделі, числового алгоритму та програмного застосунку для моделювання конвективного теплообміну в теплоприймачі сонячної термодинамічної станції з нанорідинним теплоносієм, а також проведенні розрахунково-теоретичних досліджень на їх основі.

Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих роботах

Основні матеріали дисертації викладені у 9-ти друкованих працях, в тому числі в 3-х статтях, з яких 1 стаття входить до наукометричної бази Scopus (Q3), а 2 статті опубліковані в фахових виданнях України категорії Б. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на 6-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 сучасні методи інтенсифікації конвективного теплообміну в сонячних параболоциліндричних станціях, наводить критерії вибору нанорідин для використання в якості теплоносіїв, детально описує методи дослідження таких теплоносіїв.

У другому розділі розроблена математична модель конвективного теплообміну в теплоприймачі сонячної параболоциліндричної станції з нанорідинним теплоносієм. В моделі врахована залежність теплофізичних властивостей нанорідинного теплоносія від температури. Побудова комп'ютерного алгоритму для розробленої моделі проводилась із граничними умовами першого та другого роду. Такий спрощений підхід дозволив автору провести верифікацію отриманих числових даних шляхом порівняння із тестовими аналітичними результатами.

Третій розділ присвячено комп'ютерному моделюванню конвективного теплообміну в теплоприймачі з нанорідиною при реальних умовах функціонування параболоциліндричної станції. Вважаю вдалим рішенням використання побудованої функції апроксимації замість дискретного статистичного розподілу для щільності концентрованого сонячного потоку на поверхні теплоприймача. В розділі представлені результати проведеного комп'ютерного моделювання та зроблено висновок про перспективи та обмеження щодо використання нанорідин в якості теплоносіїв сонячних термодинамічних станцій.

У четвертому розділі наведені етапи термодинамічної оптимізації нанорідинного теплоносія сонячної параболоциліндричної станції. Автор провів гідродинамічний аналіз течії обраного нанорідинного теплоносія і довів необхідність такої оптимізації. В розділі наведені теоретичні відомості, які покладені в основу ентропійного аналізу. В ході такого аналізу визначено найбільш енергетично ефективний діапазон чисел Рейнольдса для обраного нанорідинного теплоносія.

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

Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі

1. В роботі розроблена 3D нелінійна математична модель, що описує конвективний теплообмін у теплоприймачі з нанорідиною. Така модель будувалась на основі класичної системи рівнянь Нав'є-Стокса для нестисливої ньютонівської рідини. В той же час виникає питання, чи залишається виготовлена суспензія саме ньютонівської рідиною? Можливо такий нанорідинний теплоносій має іншу реологічну природу?

2. Автор пропонує для інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоприймачі сонячної параболоциліндричної станції використовувати спеціально підготовлену суспензію – нанорідину. В той же час виготовлення та застосування такої суспензії має технологічні особливості, пов'язані зі швидкістю осідання частинок. Вважаю, що ці особливості треба було б враховувати під час проведення досліджень.

3. Створена математична модель є стаціонарною. В той же час сонячні термодинамічні станції функціонують при змінних в часі значеннях щільності сонячного потоку, швидкості вітру та температурі навколишнього середовища. Як ці фактори враховувались при моделюванні?

4. Вважаю, що кількість даних при порівнянні числових та експериментальних результатів треба збільшити.

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

ВИСНОВОК ОПОНЕНТА

Надана на рецензію дисертація Борисенка А.Г. є завершеною науково-дослідною роботою, у якій на основі математичного та комп'ютерного моделювання розв'язано важливу наукову задачу підвищення теплової ефективності сонячних термодинамічних станцій шляхом використання нанорідинних теплоносіїв для інтенсифікації конвективного теплообміну в системах прийому.

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 в 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 Борисенка А.Г. 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 Борисенко Андрій Геннадійович 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