

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Бердника Михайла Геннадійовича

***“Математичні моделі та методи розв'язання узагальнених задач
теплообміну тіл, що обертаються”***,

яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі
спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дослідження високоінтенсивних процесів нагріву тіл, що призводить до необхідності враховувати релаксацію теплового потоку при отриманні відповідних математичних моделей для розрахунку температурного поля, визначає практичну значимість рішення задач для гіперболічного рівняння теплопровідності. Систематичні публікації по гіперболічним моделям переносу можна віднести до кінця 60-х років минулого століття, зокрема А.В. Ликов дав обґрунтування фізичного сенсу кінцевої швидкості поширення теплоти, що представляє собою похідну в часі від глибини проникнення теплоти. Але узагальнені задачі переносу значно відрізняються від класичних, будучи більш складними. Для областей канонічного типу (нескінченна пластина, суцільний або порожнистий циліндр, суцільна або порожниста куля і т.д.) аналітичні рішення гіперболічних моделей переносу досі невідомі і дана проблема по суті залишається відкритою, включаючи питання коректної постановки крайових задач для рівнянь гіперболічного типу. Все це визначає актуальність теми дисертаційної роботи М.Г. Бердника, що присвячена науково-технічній проблемі підвищення точності моделювання явища теплопровідності в тілах, що обертаються, з урахуванням релаксації теплового потоку, що дає змогу точніше описати явище теплопровідності, підвищити точність розрахунку температурних полів у цих тілах. На підставі результатів аналізу проблеми моделювання температурного розподілу в тілах, що обертаються, в роботі обґрунтовано необхідність створення нових математичних моделей процесу теплопровідності у цих тілах у вигляді узагальнених (із урахуванням релаксації теплового потоку) крайових задач для гіперболічного рівняння теплопровідності і розроблення нових методів розв'язування відповідних крайових задач.

теплопровідності та розв'язання отриманих крайових задач, розв'язки яких використовуються під час керування температурними полями.

У другому розділі, що слугує теоретичною базою подальших досліджень, автором розглянуто основні властивості перетворення Лапласа, основна теорема застосування кінцевих інтегральних перетворень для відрізка, основні означення і формули застосування кінцевих інтегральних перетворень Фур'є, Ханкеля, а також наведено основні означення і формули застосування кінцевих інтегральних перетворень для кусково-однорідних середовищ. Наводяться формули для поліпшення збіжності рядів, одержуваних при застосуванні кінцевих інтегральних перетворень Фур'є і Ханкеля, кінцевих інтегральних перетворень в кусково-однорідних середовищах для поліпшення збіжності рядів.

Основні результати третього розділу пов'язані з застосуванням здобувачем методів скінченних елементів і Гальоркіна для побудови нових кінцевих інтегральних перетворень, що використовуються при математичному моделюванні температурних полів в тілах обертання з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла. Особливо слід відзначити підрозділ 3.8 «Дослідження працездатності нових інтегральних перетворень на тестових завданнях», в якому зокрема проведено оцінку точності знайдених ВЧ і ВФ для двовимірних областей, які утворюють тіла обертання.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений математичному моделюванню температурних полів в циліндрах, що обертаються. Дисертантом побудовано математичні моделі розрахунку полів температури в суцільному і порожньому циліндрі, а також у суцільному і порожньому двоскладовому циліндрі кінцевої довжини, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді узагальнених крайових задач для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Діріхле і Неймана. За допомогою кінцевих інтегральних перетворень для кусочно-однорідних середовищ, а також Ханкеля, Фур'є, Лапласа автором знайдено температурні поля у циліндрах у вигляді збіжних ортогональних рядів за функціями Бесселя і Фур'є. Розглядаючи циліндр як спрощену модель прокатного валка, який знаходиться під впливом теплового потоку, М.Г. Бердником було проведено порівняння розрахованих температурних полів за отриманою формулою і за відомими теоретичними і експериментальними дослідженнями. Порівняння значень температурних полів у прокатних валках, розрахованих за знайденою формулою з одержаними в результаті моделювання на інтеграторі ЕГДА 9160 і натурними замірами температури валка на металургійному заводі підтвердило адекватність запропонованої математичної моделі.

Прикладний аспект теоретичних результатів роботи відображено у **п'ятому розділі**, у якому наведено розв'язання прикладних задач. Автором побудовано математичні моделі розрахунку полів температури у ізотропному і порожньому ізотропному тілі, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді крайових задач для гіперболічних рівнянь теплопровідності з граничними умовами Діріхле і Неймана і змішаних умов для порожнього ізотропного тіла. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для двовимірного кінцевого простору здобувачем знайдені температурні поля у ізотропному і порожньому ізотропному тілі обертання у вигляді збіжних рядів за функціями Фур'є в залежності від граничних умов. Вперше побудовано математичні моделі розрахунку полів температури в параболоїді, півсферичному тілі, тонкостінному однопорожнинному гіперболоїді, прямому круговому конусі, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді узагальнених крайових задач для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Діріхле. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для двовимірного кінцевого простору знайдено температурні поля в цих тілах у вигляді збіжних рядів за функціями Фур'є. Вперше побудовано математичну модель розрахунку полів температури в довільних областях при електронно-променевому зварюванні у вигляді крайової задачі математичної фізики з граничними умовами Діріхле. Тепловий потік у тілі при зварюванні автор моделює точковим джерелом тепла, що рухається по контуру тіла зі сталою швидкістю і відомою інтенсивністю за допомогою функції Дірака. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для рівняння Лапласа, а також методу скінченних елементів у формі Гальоркіна Бердником М.Г. знайдено температурне поле у вигляді збіжного ряду.

У висновках сформульовано основні наукові та практичні результати отримані в дисертаційній роботі.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, довідки про впровадження результатів наукових досліджень, та фрагменти програмної реалізації запропонованих моделей і методів.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

На основі аналізу результатів дисертаційного дослідження М.Г. Бердника доцільно відзначити наступні наукові результати, що мають наукову новизну:

– в роботі вперше отримано диференційне узагальнене рівняння переносу енергії для рушійного елемента суцільного середовища з

урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла в криволінійній системі координат, що дозволяє одержувати узагальнені рівняння переносу енергії, які використовуються при моделюванні процесів теплообміну в різних системах координат;

– в роботі вперше побудовано нове кінцеве інтегральне перетворення для рівняння Лапласа в довільній області $D \subset R^2$, обмеженій декількома замкненими кусково-гладкими контурами, і нове кінцеве інтегральне перетворення для рівняння Лапласа в циліндричній системі координат для області $\Xi = \{(x, y) \mid y \in (0, h), x \in (\zeta_1(y), \zeta_2(y))\}$.

– вперше побудовано математичні моделі розрахунку полів температури в суцільному і порожньому циліндрі, а також у суцільному і порожньому двоскладовому циліндрі кінцевої довжини, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді узагальнених крайових задач для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Діріхле і Неймана. За допомогою кінцевих інтегральних перетворень для кусочно-однорідних середовищ, а також Ханкеля, Фур'є, Лапласа знайдено температурні поля у циліндрах у вигляді збіжних ортогональних рядів за функціями Бесселя і Фур'є;

– вперше побудовано математичні моделі розрахунку полів температури у ізотропному і порожньому ізотропному тілі, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді крайових задач для гіперболічних рівнянь теплопровідності з граничними умовами Діріхле і Неймана і змішаних умов для порожнього ізотропного тіла. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для двовимірного кінцевого простору знайдені температурні поля у ізотропному і порожньому ізотропному тілі обертання у вигляді збіжних рядів за функціями Фур'є в залежності від граничних умов, що дає змогу при модулюванні температурних полів у дисках складної форми, які є найважливішим елементом багатьох машин, підвищити точність розрахунку температурних полів;

– вперше побудовано математичні моделі розрахунку полів температури в параболоїді, півсферичному тілі, тонкостінному однопорожнинному гіперболоїді, прямому круговому конусі, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді узагальнених крайових задач для гіперболічного рівняння теплопровідності з граничними умовами Діріхле. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для двовимірного кінцевого простору знайдено температурні поля в цих тілах у вигляді збіжних рядів за функціями Фур'є, що дає змогу при модулюванні

температурних полів у цих тілах підвищити точність розрахунку температурних полів;

– вперше побудовано математичну модель розрахунку полів температури в довільних областях при електронно-променевому зварюванні у вигляді крайової задачі математичної фізики з граничними умовами Діріхле. Тепловий потік у тілі при зварюванні моделювався точковим джерелом тепла, що рухається по контуру тіла зі сталою швидкістю і відомою інтенсивністю за допомогою функції Дірака. За допомогою розробленого нового інтегрального перетворення для рівняння Лапласа, а також методу скінченних елементів у формі Гальоркіна знайдено температурне поле у вигляді збіжного ряду, що дозволяє отримати більш ефективні і обґрунтовані рішення про напружено-деформований стан при зварюванні з урахуванням відповідних термомеханічних процесів.

Достовірність наукових результатів.

Постановка задачі досліджень, наукові положення, що захищаються автором роботи, висновки за результатами досліджень і рекомендації щодо використання запропонованих методів та засобів математичного моделювання температурних полів в тілах, що обертаються, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла достатньо обґрунтовані і доведені на відповідному науковому і методичному рівнях. У дисертаційній роботі коректно використовується математичний апарат методів теплообміну, математичної фізики, інтегральних перетворень, скінченних елементів і Гальоркіна. Достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю постановки задач, математичних методів і основних наукових висновків, несуперечливістю результатів. Викладені в роботі результати не протирічають відомим, отриманим за допомогою інших методів.

Результати проведених обчислювальних експериментів підтверджують достовірність отриманих результатів моделювання. У роботі подано приклади розв'язування модельних та прикладних задач, а також наявні акти впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничому процесі.

Практична цінність одержаних результатів.

- Побудовані в роботі математичні моделі і методи розрахунку полів температури в циліндрах і двоскладових циліндрах, що обертаються з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, кінцевої довжини були використані ТОВ «ФАЙЄРФЛАЙ АЕРОСПЕЙС Україна» в розрахунках теплообміну при

проектуванні елементів ракети-носія, про що свідчить акт щодо впровадження матеріалів дисертації.

- Побудовані в роботі математична модель і метод розрахунку полів температури в довільних областях при електронно-променевому зварюванні були використані ТОВ «Зірковий 1» для розрахунку температурних полів зварних виробів тіл обертання, що дозволило отримати більш ефективні і обґрунтовані рішення про напружено-деформований стан при зварюванні з урахуванням термомеханічних процесів, про що свідчить акт щодо впровадження матеріалів дисертації.
- Побудовані в роботі математичні моделі і методи розрахунку полів температури в ізотропному тілі, що обертається з постійною кутовою швидкістю, були використані ТОВ «АРМА ГРУПП» для визначення показників міцності теплонапружених футерувальних плит барабана барабанно-кульових млинів із урахуванням розподілу температур в умовах експлуатації. Отримані розрахунки показників міцності дозволили вибрати оптимальні конструктивні геометричні розміри футерувальних плит барабана, що забезпечує більш повільний знос плит, зниження питомої витрати металу і електроенергії, підвищення продуктивності млина, про що свідчить акт щодо впровадження матеріалів дисертації.
- Результати дисертаційної роботи також впроваджено у навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в курсі «Моделювання систем», про що свідчить акт впровадження матеріалів дисертації.

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.

Коло практичних застосувань результатів роботи, на наш погляд, не обмежується розглянутими в ній упровадженнями. Результати, які були одержані автором роботи, можуть бути використані також при проектуванні, наприклад, багатоконтурних теплообмінних апаратів, елементів систем опалення та гарячого водопостачання та ін.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та опублікованих в роботах автора

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження повною мірою відображені в опублікованих роботах. За темою дисертаційної роботи опубліковано 59 наукових праць, у тому числі 26 одноосібних наукових статей, серед яких 25 статей у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 у закордонному профільному журналі, 20 статей індексується у міжнародних науково-метричних базах,

зокрема 1 включена до бази Web of Science, 5 статей – до бази SCOPUS, 27 робіт опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах конференцій.

Оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота та автореферат написані на достатньо високому науково-технічному рівні. Стиль викладення досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Результати досліджень у достатній мірі проілюстровані графічним матеріалом. За кожним розділом і роботою в цілому зроблені чіткі висновки.

Автореферат з достатньою повнотою розкриває зміст дисертації.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень за якими була захищена кандидатська дисертація

Докторська робота М.Г. Бердника не містить наукових положень, за якими була захищена його кандидатська дисертація.

Зауваження щодо змісту дисертації

Слід зазначити такі зауваження до дисертації:

1. На жаль зроблений автором у першому розділі аналітичний огляд сучасного стану моделювання високоінтенсивних процесів нагріву тіл не містить обґрунтованого порівняння як якісних, так і кількісних показників існуючих підходів.
2. Автору бажано б було більш чітко окреслити коло технічних та/або технологічних задач, на вирішення яких направлені його дисертаційні дослідження.
3. При доведенні автором теореми 3.1 стверджується, що якщо область обмежена декількома замкненими кусково-гладкими контурами, то інтеграл (4) перетворюється на суму інтегралів за відповідними контурами, але саму формулу не приведено.
4. Здобувачу бажано було б конкретизувати швидкість збіжності методів по знаходженню власних значень і власних функцій з відповідної системи алгебраїчних рівнянь.
5. У роботі не вказується метод триангуляції, що використовується при комп'ютерних розрахунках.
6. У тексті дисертації зустрічаються деякі термінологічні некоректності та стилістичні огріхи.

Наведені зауваження та побажання мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок про відповідність дисертації паспорту спеціальності і встановленим вимогам.

Зазначені зауваження не знижують наукової цінності роботи. Дисертація Бердника Михайла Геннадійовича є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлено та вирішено важливу науково-технічну проблему підвищення точності моделювання явища теплопровідності в тілах, що обертаються, з урахуванням релаксації теплового потоку. Наукові результати одержані автором самостійно і мають наукову новизну та практичне значення. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи.

Вважаю, що дисертаційна робота Бердника Михайла Геннадійовича «Математичні моделі та методи розв'язання узагальнених задач теплообміну тіл, що обертаються» відповідає існуючим вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 до докторських дисертацій, а її автор Бердник Михайло Геннадійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри вищої та прикладної математики
Миколаївського національного аграрного університету
доктор технічних наук, професор

І.П. Атаманюк

Підпис проф. Атаманюка І.П. засвідчую
Начальник відділу кадрів
Миколаївського національного
аграрного університету



Л.В. Машкіна

