

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ламтюгової Світлани Миколаївни

«Математичне моделювання та чисельний аналіз методом R -функцій

задач обтікання тіл в'язкою нестисливою рідиною»,

що представлена на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

1. Актуальність теми

Вивчення законів руху рідини завжди відіграло важливу роль у розвитку техніки і природознавства. Дослідження в цій області стимулюються потребами авіації, кораблебудування, теплоенергетики, атомної енергетики, геофізики тощо. У багатьох практичних випадках в'язкі течії можна моделювати за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, особливістю яких є нелінійність і наявність малого параметра біля старшої похідної (величина обернена до числа Рейнольдса). Задачі для рівнянь Нав'є-Стокса часто доводиться розв'язувати в областях зі складною геометрією, а також в необмежених областях.

Основна частина відомих алгоритмів для розв'язання задач гідродинаміки використовує метод скінченних різниць і класичний метод скінченних елементів, недоліком яких є необхідність генерувати нову сітку при переході до нової області, замінювати складні ділянки межі геометрично простими, розв'язувати системи рівнянь, кількість рівнянь в яких сягає десятків тисяч. До того ж при розв'язанні задач обтікання ще й треба зносити умови на нескінченності на контур, розташований на деякій скінченній відстані від тіла.

З точки зору форми подання наближеного розв'язку цікавим є використання для розв'язання цього класу задач проєкційних методів, оскільки вони дають наближений розв'язок в аналітичному вигляді, що полегшує його подальше використання. При цьому точно врахувати геометричну і аналітичну інформацію, що входить до постановки задачі, дозволяє використання конструктивного апарату теорії R -функцій.

Отже, актуальною є задача розробки методів математичного моделювання стаціонарних задач обтікання тіл в'язкою нестисливою рідиною на основі методу R -функцій.

Дисертаційна робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки в рамках держбюджетної теми «Розробка моделей, методів та інструментальних засобів структурної і параметричної оптимізації інженерних мереж з витоками» (ДР № 0111U002624, 2011 – 2013 рр.), в розробці якої автор брав участь як виконавець.



2. Вірогідність і наукова новизна отриманих результатів

Автором дисертаційної роботи отримано ряд важливих результатів, **наукова новизна** яких полягає в наступному:

– на основі використання структурного методу R -функцій і проекційного методу Бубнова-Гальоркіна розроблено метод розрахунку лінеаризованих задач обтікання циліндричних тіл і тіл обертання в'язкою нестисливою рідиною (наближення Озеєна і Стокса), який точно враховує як крайові умови на межі тіл, що обтікаються, так і умови на нескінченності;

– подальшого розвитку набув ітераційний чисельний метод розрахунку задач обтікання тіл в'язкою нестисливою рідиною: вихідна нелінійна задача замінюється послідовністю лінійних крайових задач, які на кожному кроці ітераційного процесу розв'язуються за допомогою методів R -функцій і Бубнова-Гальоркіна;

– на основі методів R -функцій і Бубнова-Гальоркіна вперше запропоновано чисельний метод розрахунку масообміну циліндричних тіл і тіл обертання з рівномірним поступальним потоком, який точно враховує як крайові умови на межі тіла, що обтікається і з поверхні якого відбувається масообмін, так і умови на нескінченності.

При цьому алгоритми запропонованих методів не змінюються при зміні геометрії області (змінюється лише функція, яка описує геометрію області), а наближені розв'язки мають аналітичний вигляд, що спрощує їх подальше використання для визначення характеристик течії.

Вірогідність отриманих результатів забезпечується строгістю математичних постановок задач із використанням основних положень математичної фізики та доведеними в роботі теоремами. Всі результати підтвержені відповідними обчислювальними експериментами, результати яких порівняно з відомими із літератури точними розв'язками, результатами фізичних експериментів та чисельними розв'язками.

3. Практична цінність результатів роботи

В дисертаційній роботі розроблено методи розв'язання стаціонарних задач обтікання тіл в'язкою нестисливою рідиною, які дозволяють здійснювати чисельне моделювання зовнішніх течій в'язкої нестисливої рідини з урахуванням масообміну. Результати досліджень впроваджені в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки в дисциплінах “Вибрані глави математичної фізики”, “Конструктивні засоби математики”, “Теорія R -функцій та її застосування” і “Чисельні методи” при проведенні лабораторних робіт, практичних занять, у курсовому і дипломному проектуванні. Також розроблені методи можна використати як складові при реалізації напівдискретних та проекційних методів розв'язання нестаціонарних задач.

4. Повнота викладення основних результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в публікаціях здобувача. За темою дисертаційної роботи опубліковано 30 наукових праць, в тому числі 6 статей в наукових фахових виданнях згідно з переліком фізико-математичних наук (1 з яких входить до наукометричної бази Scopus), 2 статті у закордонних наукових виданнях (одна з яких входить до наукометричної бази Scopus, а друга – до наукометричної бази BazTech), 1 стаття у інших виданнях, 21 тези доповідей, опублікованих у матеріалах наукових конференцій, 16 з яких є міжнародними. Публікації розкривають основний зміст дисертації та відповідають її основним положенням і висновкам.

5. Оцінка змісту дисертації та автореферату

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел і шести додатків.

У першому розділі розглянуто основні відомі математичні моделі стаціонарних течій в'язкої рідини та обтікання тіл з урахуванням масопереносу, а також огляд існуючих методів їх чисельного аналізу; наведено основні відомості про R -функції та огляд робіт, у яких розглядалися задачі гідродинаміки із застосуванням методу R -функцій.

У другому та четвертому розділах розроблено метод розрахунку задач повільного обтікання циліндричних тіл (наближення Озесна) та тіл обертання (наближення Стокса) в'язкою нестисливою рідиною. Цей метод засновано на сумісному використанні методу R -функцій і проєкційного методу Бубнова-Гальоркіна. Для кожної задачі побудовано структуру розв'язку, яка точно задовольняє крайові умови на межі тіла, що обтікається, і умову на нескінченності. Доведено теореми про збіжність гальоркінських наближень в енергетичній нормі до єдиних узагальнених розв'язків відповідних задач, які розглядаються в обмежених областях, отримано оцінки розв'язків в енергетичній нормі; проведено обчислювальні експерименти для кругового й еліптичного циліндрів і циліндричного тіла, перерізом якого є крива Ламе, та для еліпсоїда обертання і двох з'єднаних еліпсоїдів.

У третьому та п'ятому розділах побудовано ітераційний чисельний метод розрахунку нелінійних задач обтікання циліндричних тіл та тіл обертання в'язкою нестисливою рідиною; доведено збіжність побудованого ітераційного процесу при малих числах Рейнольдса, отримано оцінки швидкості збіжності в енергетичній нормі; проведено обчислювальні експерименти для кругового, еліптичного циліндрів, циліндричного тіла, перерізом якого є крива Ламе, та для сфери, еліпсоїдів обертання з різним співвідношенням півосей і двох з'єднаних еліпсоїдів; на основі аналізу результатів обчислювальних експериментів для кожного тіла визначено числа Рейнольдса, починаючи з яких за

тілом виникають вторинні вихори.

Шостий розділ присвячено розробці чисельного методу розв'язання стаціонарних задач обтікання циліндричних тіл і тіл обертання в'язкою нестисливою рідиною з урахуванням масопереносу. Запропонований чисельний метод заснований на апроксимації невизначених компонент у структурі розв'язку крайових задач методом Бубнова-Гальоркіна. Також побудовано структуру розв'язку розглянутих задач у відповідності з методом R -функцій; доведено збіжність гальоркінських наближень в енергетичній нормі до єдиних узагальнених розв'язків задач, що розглядаються в обмежених областях, отримано оцінки розв'язків в енергетичній нормі; проведено обчислювальні експерименти для кругового й еліптичного циліндрів і циліндричного тіла, перерізом якого є крива Ламе, та для сфери і еліпсоїдів обертання з різним співвідношенням півосей та двох з'єднаних еліпсоїдів.

За структурою та оформленням дисертація та автореферат відповідають установленим вимогам. Автореферат повністю висвітлює основні положення та результати дисертації.

На мій погляд заслуговує на увагу в майбутній роботі дисертантки також метод розв'язання поставлених в цій роботі крайових задач з використанням інтерлінації функцій, яка теж дозволяє точно задовольнити граничні умови із збереженням потрібного класу диференційовності.

6. Зауваження до змісту дисертації та автореферату

1. Без сумніву, результати, отримані в роботі, можуть знайти численні застосування. Бажано було б детальніше зупинитись на прикладних задачах, для розв'язання яких можуть бути використані запропоновані у роботі методи.

2. У роботі на основі наближеного розв'язку задачі для функції течії побудовано лише поле швидкостей. Бажано було б також будувати і поле тиску.

3. Доцільно було б порівняти отримані в роботі результати досліджень, з тими, які отримуються при використанні відомих пакетів прикладних програм для розв'язування аналогічних задач.

4. В шостому розділі проаналізовано тільки задачі з крайовими умовами першого роду для концентрації, хоча було б також корисним розглянути і інші типи крайових умов.

5. В авторефераті не наведено в якому сенсі розуміється поняття узагальненого розв'язку рівнянь для концентрації.

Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи.

7. Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота «Математичне моделювання та чисельний аналіз методом R -функцій задач обтікання тіл в'язкою нестисливою

рідиною» є завершеною актуальною науковою працею, в якій одержано нові науково обґрунтовані результати, що представляють вагомий внесок в методи математичного моделювання обтікання тіл в'язкою нестисливою рідиною з урахуванням масообміну.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності та всім вимогам до кандидатських дисертацій згідно з "Порядком присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Ламтюгова Світлана Миколаївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри вищої і прикладної математики
Української інженерно-педагогічної академії,

д.ф.-м.н. проф.



O. M. Litvin



О.М. Литвин

Світлана Ламтюгова

Завіряю
Інспектор ВК УІПА
<i>08.08.2016р.</i>
дата