

Голові спеціалізованої вченої ради Д. 26.255.01
по захисту дисертацій
при Інституті телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
030186, м. Київ, Чоколівський бул., 13,

**ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

старшого наукового співробітника відділу фізичного і математичного
моделювання Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України

кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника

Каяна Володимира Павловича

на дисертаційну роботу Остапенка Артема Олексійовича

«Моделювання в'язких течій методом ґраткових рівнянь Больцмана при
помірних та великих числах Рейнольдса»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні
методи

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Вивчення законів руху рідини відіграє важливу роль у розвитку техніки та природознавства. Дослідження у цій галузі стимулює потреби авіації, кораблебудування, теплотехніки, біомедичної інженерії та інші області. Ці сфери досліджень постійно розширюються і охоплюють провідні напрямки: нафто і газорозробку, металургію, біологію, фізику атмосфери й океану. При цьому в більшості випадків рідину можна вважати в'язкою нестисливою ньютонівською рідиною і її динаміку можна описати рівняннями Нав'є-Стокса. Дослідження динаміки в'язких нестисливих течій представляє науковий інтерес здебільшого через фізичні явища і задачі, пов'язані із обтіканням тіл і течією рідини в областях з довільною формою границь.

Оскільки застосування теоретичних досліджень чи проведення натурних експериментів часто буває або трудомістким або неможливим, все частіше використовують чисельні експерименти. Існує багато різних чисельних методів та підходів у моделюванні динаміки в'язкої течії. Найчастіше це скінченно-різницеві методи, що не є універсальними при переході до вирішенні задач у більш складної, з точки зору геометрії, області.

Метод ґраткових рівнянь Больцмана – це відносно новий метод обчислювальної гідродинаміки, що має низку переваг у порівнянні з скінченно-різницевиими методами. Проте ці переваги діють лише в областях малих чисел Рейнольдса. Саме тому, розповсюдження можливостей методу на область більших чисел Рейнольдса зі збереженням його переваг є актуальною темою.

вх. №161/04.03.20-1

вхід 04.03.2020р.

2. Загальна оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури, що складається з 162 найменувань та шести додатків. Загальний обсяг дисертації становить 183 аркуша, з яких основний зміст роботи розкрито на 127 аркушах.

Структура дисертації побудована логічно і сприяє розкриттю теми дослідження та виконанню поставлених завдань. У вступі дисертантом обгрунтовано актуальність теми дисертації, чітко сформульовано мету, задачі та методи дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано наукову новизну роботи, її наукове та практичне значення.

Кожен з п'яти розділів кандидатської дисертації послідовно розкриває важливі аспекти обраної теми, відповідно до поставлених науково-дослідницьких задач і є змістовно наповненим. Усі розділи мають внутрішню логіку викладу матеріалу та висновки.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач досліджень є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її зміст відповідає поставленій меті та завданням дослідження, а також паспорту спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи».

3. Ступінь обгрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, забезпечені логічною схемою дослідження та викладу матеріалу дисертації, кожен розділ чи підрозділ якої органічно пов'язаний з попереднім і доповнює його. В роботі використані відомі та перевірені математичні моделі, широка база літературних джерел, у тому числі для порівняння результатів моделювання із відомими натурними та чисельними експериментами. Проведена широка за географією апробація отриманих результатів на науково-технічних конференціях, міжнародних симпозіумах та семінарах.

4. Достовірність та наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечується коректністю постановок математичних задач, використанням відомих та перевірених математичних моделей, детальним тестуванням розроблених чисельних схем та алгоритмів, а також порівнянням результатів моделювання з існуючими даними натурних та чисельних експериментів.

До основних нових наукових результатів, які отримані в дисертаційній роботі відносяться:

1. Вдосконалено алгоритм методу ґраткових рівнянь Больцмана, в якому в'язкість рідини задається через змінну ґраткову швидкість частинок та параметр релаксації;

2. Оптимізовано алгоритм методу за рахунок використання нової структури даних на етапі переміщення частинок у ґратковому просторі;

3. Вдосконалено чисельну модель, що описує взаємодію рідини із твердими тілами;

4. Вперше розроблено метод регуляризації чисельного розв'язку рівняння Больцмана при моделюванні в'язких течій із великими числами Рейнольдса;

5. Створено програмно-моделюючу систему для моделювання в'язких течій методом ґраткових рівнянь Больцмана із можливістю завантаження границь довільної форми.

5. Практична та теоретична значимість результатів дослідження

Практична та теоретична значимість результатів дослідження, що містяться в дисертації, визначається можливістю використовувати розроблені автором чисельні моделі, схеми та алгоритми для дослідження широкого класу задач з моделювання течій в'язкої ізотермічної нестисливої рідини. Про це свідчать довідки про впровадження результатів дослідження у навчальні курси «Аналітичні та чисельні методи гідродинаміки» та «Моделювання складних систем» для студентів спеціальності 113 – «Прикладна математика» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» та спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки» Донецького державного університету управління відповідно. Крім того, розроблені інструменти дослідження були використані при розв'язку задач внутрішньої та зовнішньої аеродинаміки за замовленням ТОВ «Архат» із отриманням відповідного акту впровадження.

6. Повнота викладу результатів дисертаційного дослідження в опублікованих працях

Результати дисертаційного дослідження: чисельні моделі, модифіковані схеми та алгоритми, узагальнення, висновки, результати моделювання різних задач гідродинаміки належним чином відображені у 6 статтях, що опубліковані у фахових виданнях України (з них 1 індексується наукометричною базою Scopus) та 13 тезах доповідей міжнародних та університетських конференцій.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи та автореферату

1) У другому розділі дисертаційної роботи не роз'яснено навіщо параметр релаксації робиться змінним (адже чим більшим є цей параметр, тим більше часу потрібно часткам щоб повернутися у рівновагу після їх чергового зіткнення) і в чому є перевага того, що в'язкість стала залежати від параметра релаксації.

2) При розв'язку задач обтікання різних тіл доцільно було б побудувати графіки залежності числа Струхала від числа Рейнольдса та співставити їх з

відомими теоретичними та експериментальними даними. Без таких графіків важко вирішити, наскільки цей метод може бути використаний для гідродинамічних задач обтікання тіл в'язкою рідиною.

3) Картина течії при обтіканні профіля NACA0012 (немає профілей Nasa 0012, треба бути уважнішим) на рис.5.21 та 5.23 показує що профіль знаходиться у каналі (добре видно вплив стінок на лінії течій), але у тексті розділу 5.3 про це немає жодної згадки.

4) При моделюванні обтікання профілю NACA0012 потрібно було б навести порівняння із іншими чисельними експериментами та продемонструвати результати моделювання із іншими числами Рейнольдса. Для закритичних чисел Рейнольдса метод ґраткових рівнянь Больцмана, адаптований дисертантом для більш високих чисел Рейнольдса, може бути використаний тільки як "інженерне наближення" для отримання інтегральних характеристик тіл, що обтікаються, оскільки після того, як була застосована процедура згладжування пульсацій швидкості течії для регуляризації чисельного розв'язку, він не дає можливості моделювати реальні турбулентні сліди за тілами

Висловлені зауваження і побажання не применшують загальної високої оцінки рівню виконання дисертаційної роботи, не зменшують її наукової та практичної значимості.


8. Загальний висновок

З огляду на актуальність теми дослідження, наукову новизну отриманих результатів, їх обґрунтованість та достовірність, а також теоретичну та практичну цінність вважаю, що дисертаційна робота Остапенка Артема Олексійовича за темою «Моделювання в'язких течій методом ґраткових рівнянь Больцмана при помірних та великих числах Рейнольдса» є самостійною, завершеною та оригінальною кваліфікаційною науковою працею. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи» та вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
відділу фізичного та математичного моделювання
Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України


В. П. Каян


В. І. Кузнецов
с. т. н., с. н. с.

03.03.2020р.

