

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Приймака Олексія Вікторовича** на тему «Математичні моделі та методи обчислення процесів збудження та стійкості інтенсивних хвиль в приладах плазмової електроніки», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Актуальність обраної теми дисертаційної роботи. Створення пристроїв плазмової електроніки та їх використання для генерації НВЧ випромінювання є актуальним напрямом розвитку НВЧ техніки. В даний час математичне та чисельне моделювання є основним засобом дослідження таких пристроїв, після чого результати перевіряються на реальних установках. Процеси пучково-плазмової взаємодії в зазначених пристроях вже достатньо сформульовані теоретично. Проте при проектуванні пристроїв плазмової електроніки залишаються невирішеними різні проблеми, пов'язані зі складністю керування процесами пучково-плазмової взаємодії. Це свідчить про те, що існує потреба в покращенні математичних моделей і обчислювальних методів, у використанні сучасних засобів чисельного моделювання для отримання більш точного якісного й кількісного опису фізичних процесів. Зростаючі можливості обчислювальної техніки можуть допомогти у цьому.

В дисертаційній роботі Приймака О. В. використано перспективний гібридний метод моделювання плазми та сучасну програмно-апаратну технологію паралельних обчислень на графічних процесорах (CUDA). З їх допомогою автору вдалося вдосконалити окремі методи математичного і чисельного моделювання процесів пучково-плазмової взаємодії в пристроях плазмової електроніки - пучково-плазмових генераторах та підсилювачах. Це дозволило уточнити результати деяких досліджень, проведених раніше, зокрема, у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Харківському фізико-технічному інституті. Таким чином, тема дисертації має наукову та практичну цінність.

Також слід зазначити, що дисертація виконана відповідно до завдань держбюджетної НДР МОН України «Моделі інформаційних процесів та методи їх обробки» (№ ДР: 0116U003141) та держбюджетної НДР МОН України «Формування мультимасштабних мікро- та наноструктур у твердих тілах при градієнтному термічному, плазмовому та лазерному впливі» (№ ДР: 0115U000469).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується:

- використанням апробованих методів моделювання плазми, пучково-плазмової взаємодії, модуляційної нестійкості при розв'язанні сформульованих завдань дослідження;
- обґрунтуванням вибору початкових умов математичних моделей, дотриманням умов безперервності функцій та їх похідних, чисельною збіжністю послідовності рішень до точного рішення, виконанням законів збереження енергії в розглянутих моделях;
- апробацією положень дисертації на 7 наукових конференціях, публікацією за темою дисертації 10 наукових статей, у т.ч. в такому відомому журналі як "Physics of Plasmas".

Наукова новизна отриманих результатів. Автором були вдосконалені окремі методи математичного і чисельного моделювання для вибору умов підвищення ефективності генерації НВЧ коливань і нагрівання іонів плазми в пристроях плазмової електроніки (в пучково-плазмових НВЧ генераторах і підсилювачах) і в установках пучкового нагрівання плазми. Наукове значення роботи полягає у наступному:

- уперше побудована системна модель процесу взаємодії пучка електронів та модуляційної нестійкості збуджуваного поля в плазмі, що поєднує гібридну модель модуляційної нестійкості збуджуваного поля для холодної плазми та модель взаємодії електронного пучка з плазмовими коливаннями з використанням імітації взаємного впливу моделей, що дозволяє в подальшому будувати нові розвинуті моделі подібних процесів. Завдяки системній моделі автором визначено, як рівень поглинання енергії пучка

електронів залежить від його релятивістського фактора, що важливо для покращення технічних характеристик пучково-плазмового генератора;

- уперше побудовані алгоритмічні моделі процесів модуляційної нестійкості збуджуваного поля в плазмі та взаємодії пучка електронів з плазовими коливаннями, які на відміну від існуючих використовують переваги застосування технології CUDA. Ці переваги дають можливість прискорити чисельні експерименти та використовувати у моделях більшу кількість частинок плазми та кількість хвильових збурень для отримання більш точних результатів моделювання;

- удосконалено обчислювальний метод неперервної оцінки температури іонів за рахунок розробки методу обчислення енергії швидких іонів та використання методу пошуку максимально близького нормального розподілу до розподілу іонів за швидкостями, що важливо для прогнозування впливу плазми на стінки приладів.

Практичне значення та реалізація результатів роботи. Практичне значення полягає у підборі узгодження режиму роботи пучково-плазмового генератора і системи відбору ВЧ енергії. Результати дисертації були впроваджені у ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» в дослідженнях нелінійних хвильових процесів пристроїв плазової електроніки і НВЧ-техніки.

Автором знайдені деякі кількісні параметри досліджених у дисертації фізичних процесів та математичних моделей, що їх описують. Результати дисертації будуть корисними в подальшому при проведенні математичного і чисельного моделювання фізичних процесів, що протікають у пучково-плазовому генераторі.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях. Основні положення дисертації висвітлені в повній мірі у 17 наукових працях. Серед опублікованих праць 6 статей у наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових виданнях іноземних держав, 5 тез у збірниках доповідей на наукових конференціях та 4 праці, що додатково відображають результати

дисертації. Дві статті належать до видань, що входять до міжнародної наукометричної бази «Scopus».

Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 138 сторінок, з яких основного тексту 100 сторінок. Робота ілюстрована 53 рисунками та 6 таблицями. Таблиці та рисунки на окремих сторінках відсутні. Список використаних джерел налічує 103 найменування на 12 сторінках.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дисертації, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мету й завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення роботи, інформацію про особистий внесок здобувача, публікації й апробацію дисертації.

У першому розділі наведено аналіз літературних джерел з теми досліджень. Розглянуті математичні описи процесів, які становлять предмет дослідження роботи, а саме процесів збудження електронними пучками коливань інтенсивних хвиль й процесів модуляційних нестійкостей інтенсивних хвиль в приладах плазмової електроніки.

У другому розділі розглянуті математичні моделі модуляційної нестійкості збуджуваного поля в гарячій і холодній плазмі та математична модель взаємодії електронного пучка з модуляційно нестійкими плазмовими коливаннями. Визначені раніше не наведені в літературі значення деяких параметрів моделей, достатні для точного опису фізичних процесів в одновимірному випадку гібридним методом моделювання плазми.

У третьому розділі з використанням технології паралельних обчислень на графічних процесорах розроблені алгоритмічні моделі для прискорення обчислення розглянутих раніше систем диференціальних рівнянь.

У четвертому розділі удосконалено обчислювальний метод оцінки температури іонів. За допомогою цього методу виконано аналіз розподілу іонів за швидкостями. Була розрахована доля енергії швидких іонів для випадків гарячої та холодної плазми.

У п'ятому розділі були об'єднані у системну модель розглянуті раніше гібридна модель модуляційної нестійкості для холодної плазми та модель взаємодії електронного пучка з модуляційно нестійкими плазовими коливаннями. Підібрані параметри моделей, за яких закони збереження енергії виконуються одночасно у обох моделях. Визначено, як рівень поглинання енергії пучка електронів залежить від його релятивістського фактора.

Зміст дисертації відповідає обраній спеціальності та встановленим до кандидатських дисертацій вимогам оформлення. Окрім того, автореферат дисертації у повній мірі відображає зміст дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження щодо роботи.

1. Неясно, наскільки зменшення розмірності математичних моделей в дисертації впливає на результати моделювання. Тому доцільно було б порівняти одновимірний випадок, розглянутий в дисертації, з двовимірним випадком.

2. У вступі написано, що обчислення енергії швидких іонів та аналіз розподілу іонів за швидкостями є важливими для прогнозування впливу плазми на стінки приладів. Але не зазначено, як саме це впливає на стінки приладів. Також корисно було б прив'язати такі розрахунки до параметрів конструкції пучково-плазового генератора.

3. Не пояснено, чому у моделі взаємодії електронного пучка з модуляційно нестійкими плазовими коливаннями в деяких рівняннях, а саме (2.20), (2.21), (2.24), спектр коливань обмежений модами тільки в межах його півширини.

4. У розділі 5 написано, що створення повноцінної самоузгодженої моделі взаємодії електронного пучка з частинками плазми та модуляційно нестійкими коливаннями в плазмі є досить складним завданням, але не пояснено чому. Також слід було розглянути, які успіхи в цьому досягнуті іншими авторами та чи можуть їхні моделі бути використані у складі розробленої у дисертації системної моделі.

5. Для окремих розрахованих результатів роботи, таких як частка енергії швидких частинок (таблиця 4.3) або відповідність рівня поглинання енергії

пучка електронів значенню релятивістського фактора (рисунок 5.4), слід було розглянути, як на ці результати вплине зміна випадкової складової в початкових значеннях амплітуди та фази мод спектру.

6. У тексті дисертації інколи зустрічаються неточності. Зокрема, у розділі 5 зустрічаються два різних позначення одного й того ж параметра поглинання енергії (Θ та θ).

Зауваження до дисертації суттєво не впливають на її позитивну оцінку.

Висновок

Дисертаційна робота «Математичні моделі та методи обчислення процесів збудження та стійкості інтенсивних хвиль в приладах плазмової електроніки» є актуальною роботою, що має наукову та практичну цінність, відповідає спеціальності 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи», відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567).

Вважаю, що автор дисертації, Приймак Олексій Вікторович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

Офіційний опонент:

начальник відділу математичного моделювання
та дослідження ядерно-фізичних процесів і систем
Національного наукового центру "Харківський
фізико-технічний інститут" НАН України,
доктор технічних наук, професор,

Хажмурадов М. А.

Підпис професора Хажмурадова М. А. збігається з:



Відрук отримано 8.11.2019р.

Вчений секретар СВР Д 64.051.09

генерального
секретаря ХФТІ
7.11.19р.
Росіна І.В.
7.11.19р.
Люд - Толстоушка О.Т.