

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Приймака Олексія Вікторовича

«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 досліджень.

Випромінювання надвисокочастотних електромагнітних коливань лежить в основі роботи багатьох пристроїв зв'язку, радіолокації, безконтактного нагріву тіл та інших. В наш час існує потреба в покращенні характеристик та збільшенні потужності надвисокочастотного випромінювання. Це відкриє додаткові можливості розвитку різних важливих традиційних та нових технологій. Для збудження та випромінювання таких коливань застосовуються різні види пристроїв, засновані на різних фізичних явищах. Одними з найперспективніших з них для вирішення вказаної потреби вважаються пристрої плазмової електроніки, в основі яких лежить явище пучкової нестійкості - взаємодії пучка електронів, який рухається крізь плазму, з хвилями, які він збуджує в плазмі.

До актуальних завдань розвитку пристроїв плазмової електроніки відноситься реалізація різних режимів роботи в різних робочих діапазонах, поглиблене дослідження характеристик фізичних процесів у них, створення автоматизованих систем керування пристроями. Вирішення цих завдань супроводжується активним використанням математичного моделювання та чисельних методів.

В той же час розвиток плазмової електроніки відбувається не достатньо швидко. Одна з основних причин цього - складність створення точних математичних описів процесів у пристроях плазмової електроніки та їх комп'ютерного моделювання. Дисертація Приймака О.В. спрямована саме на вдосконалення методів математичного і чисельного моделювання для вибору умов підвищення ефективності генерації коливань і нагрівання іонів плазми в

пристроях плазмової електроніки і в установках пучкового нагрівання плазми. Тому тему дисертації можна вважати актуальною. 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).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна.

У дисертації приділено достатньо уваги обґрунтуванню наукових положень, висновків і рекомендацій.

У роботі було проаналізовано літературні джерела та встановлено, що існуючі засоби математичного і чисельного моделювання процесів пучково-плазмової взаємодії і модуляційної нестійкості плазмових коливань в пристроях плазмової електроніки мають недоліки, які не дозволяють отримати коректні результати за певних умов. Автор обґрунтував вибір гібридного методу опису плазми, завдяки якому можна більш коректно в порівнянні з іншими традиційними методами врахувати взаємодію частинок плазми з модами спектру хвильових збурень. Автор обґрунтував застосування технології паралельного програмування на графічних процесорах CUDA, завдяки якій можна значно пришвидшити чисельні експерименти в порівнянні з центральними процесорами. Завдяки такому пришвидшенню можна збільшити кількість частинок плазми, які моделюють іони, та кількість мод спектру хвильових збурень у моделях для отримання більш точних результатів моделювання, а також провести необхідну для отримання коректних результатів кількість чисельних експериментів. Також автором використано одновимірні математичні моделі замість двовимірних або тривимірних, тому

що в одновимірному описі можна досягти реальної кількості частинок плазми, при цьому зберігши основні риси фізичних процесів.

Тож, для гібридних одновимірних моделей модуляційної нестійкості для холодної та гарячої плазми автор визначив точні та раніше не наведені в літературі значення деяких початкових умов — кількість іонів та мод спектру хвиль, часових кроків чисельних методів вирішення диференціальних рівнянь. Також автор розглянув модель взаємодії пучка електронів з модуляційно нестійкими плазмовими коливаннями, у якій також знайшов достатню кількість електронів, мод спектру хвиль та часові кроки чисельних методів. За визначених початкових умов була показана коректність, існування і єдність розв'язку математичних моделей, стійкість систем рівнянь при зміні вхідних даних, чисельна збіжність послідовності рішень до точного рішення, виконання закону збереження енергії в моделях.

В дисертації уперше побудовані алгоритмічні моделі процесів модуляційної нестійкості збуджуваного поля в плазмі та взаємодії пучка електронів з плазмовими коливаннями, які на відміну від існуючих використовують переваги застосування технології CUDA. Завдяки пришвидшенню обчислень проведена велика кількість чисельних експериментів та детально проаналізована поведінка моделей у різних режимах: гарячої і холодної плазми, важких і легких іонів, високого і низького рівня відбору енергії електронного пучка, сильно- і слаборелятивістських пучків.

Також у дисертації удосконалено обчислювальний метод оцінки температури іонів за рахунок розробки методу обчислення енергії швидких іонів, завдяки якому з розподілу іонів за швидкостями вдається виділити швидкі іони, після чого вже нескладно розрахувати їх енергію.

У дисертації уперше розроблена системна модель, яка на відміну від тих, що існують, поєднує гібридну модель модуляційної нестійкості збуджуваного поля для холодної плазми та модель взаємодії електронного пучка з

плазмовими коливаннями з використанням імітації взаємного впливу моделей. На відміну від моделі взаємодії електронного пучка з плазмовими коливаннями в системній моделі можна оцінити рівень розподілу енергії на поглинання плазмою та інші втрати. При об'єднанні моделей дотримано виконання закону збереження енергії.

Практичне значення результатів роботи.

До результатів роботи відносяться розроблені та вдосконалені моделі та методи, уточнені значення параметрів моделей, а також результати чисельного моделювання в різних режимах. Вказані результати мають практичне значення, тому що вони можуть допомогти у вирішенні актуальних завдань розвитку пристроїв плазмової електроніки, зазначених раніше, таких як реалізація різних режимів роботи в різних робочих діапазонах та поглиблене дослідження характеристик фізичних процесів у пристроях. Результати дисертації використані у дослідженнях фізичних процесів в пристроях плазмової електроніки у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут», що підтверджується актом про впровадження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому.

Зміст дисертації у повній мірі розкриває сутність та об'єм дослідження, розкриває роботу автора з досягнення мети й вирішення завдань дослідження. Робота у цілому має завершений вигляд.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Автореферат не містить надмірних подробиць та не містить інформації, якої немає в дисертації. Автореферат оформлено відповідно до вимог і рекомендацій МОН України.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Положення дисертації у повній мірі викладені в 6 статтях у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 2 статтях у виданнях іноземних держав, 5 тезах у збірниках доповідей на наукових конференціях, 4 працях, що додатково відображають результати дисертації. Обсяг та кількість публікацій відповідають вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зауваження до дисертації.

1. При доказі коректності моделей, обчислювальному визначенні кроку моделювання, впливу початкових умов та кількості частинок неявно приймається, що для реальних процесів малі зміни параметрів не викликають суттєві зміни результатів. Але існують умови, де це припущення не є коректним. Наприклад, існують генератори шумових та хаотичних сигналів, які засновані за взаємодії пучка зі плазмою, для яких притаманні зміни регулярного та хаотичного режимів при малих змінах параметрів.
2. Деякі терміни, такі як “холодна плазма”, “гаряча плазма” не є термінами загального вживання, та мають специфічне значення для досліджень даного напрямку. Було б доцільно привести список термінів перед основним змістом роботи, разом зі списком умовних позначень.
3. У розділі 4 не вказано, яку практичну цінність має наближення розподілу іонів до нормального розподілу. На властивості процесів мають вплив повна енергія, доля іонів з заданим діапазоном енергії та інше. Для суттєво нерівноважних станів поняття температури не має практичного сенсу, і наближення розподілу до нормального також.
4. Подання графічного матеріалу дещо ускладнює розуміння роботи. Наприклад, рис. 5.2 зовсім не має координатної сітки, 2.2-4, 2.2-5 та 5.4 мають сітку з неочікувано нерівномірними елементами, а 5.5 (с)

демонструє неоднозначність. Про деякі результати не має відомостей, чи отримані вони у результаті чисельного моделювання, реального експерименту або мають чисто ілюстративний характер.

5. Недостатньо уваги приділено питанням перевірки адекватності розроблених моделей. Акти впровадження свідчать про успішне використання результатів, які були отримані у роботі, але конкретні порівняння не знайшли достатньо повного опису у роботі.

Вказані зауваження не мають принципового характеру, та не применшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

У дисертації Приймака Олексія Вікторовича вирішено актуальне наукове завдання, що полягає у вдосконаленні методів математичного і чисельного моделювання для вибору умов підвищення ефективності генерації надвисокочастотних коливань і нагрівання іонів плазми в пристроях плазмової електроніки і в установках пучкового нагрівання плазми. Дисертація є завершеною науковою роботою, виконана на належному науковому рівні та відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, включно з подальшими змінами до цих вимог, а автор дисертації заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри інформаційних технологій
і систем Національної металургійної
академії України МОН України

А.І. Гуда
8.11.19.

Підпис Гуди А.І. завіряю

Вчений секретар Національної металургійної
академії України, к.т.н., проф.

Відрук отримано 11.11.2019р

Вчений секретар СВР Д 64.051.04



О.Ю. Потап
8.11.19

О.Г. Толстоушко