

ВІДГУК

офіційного опонента на автореферат дисертаційної роботи

Кручиніна Дмитра Сергійовича

«Оптимальне фокусування пучка заряджених частинок в лінійних прискорюючих системах з трубками дрейфу в формі еліптичних циліндрів», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Кручиніна Дмитра Сергійовича присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі математичного моделювання, чисельного аналізу та оптимізації процесів прискорення і фокусування пучків заряджених частинок у лінійних прискорюючих системах.

Актуальність роботи визначається необхідністю підвищення ефективності керування пучками заряджених частинок, забезпечення стійкості їх руху та мінімізації втрат під час транспортування у прискорювальних системах. Особливий інтерес у цьому напрямі становлять конструкції з неосесиметричною геометрією електродів, зокрема з трубками дрейфу у формі еліптичних циліндрів. Використання такої геометрії створює додаткові можливості для формування та керування електромагнітним полем і, відповідно, для вдосконалення процесів фокусування пучка.

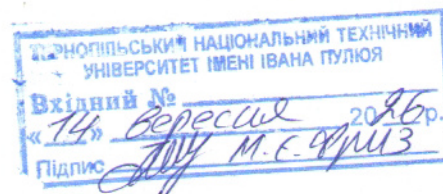
Важливим є те, що автор розглядає поставлену задачу не лише з позицій безпосереднього чисельного моделювання руху частинок, а й розвиває відповідний математичний апарат для дослідження складних динамічних систем, стійкості їх руху та оптимізації параметрів. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку математичного моделювання складних технічних та електрофізичних систем.

За змістом, методами дослідження та отриманими результатами дисертаційна робота відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їхня достовірність

В авторефераті достатньо чітко сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено використані математичні та чисельні методи.

Для розв'язання поставлених задач автором використано апарат теорії диференціальних рівнянь, математичної фізики, теорії стійкості, варіаційних принципів механіки та чисельного аналізу. Для опису динаміки заряджених частинок застосовано рівняння класичної електродинаміки та рівняння руху Лоренца. Чисельна реалізація здійснюється із використанням методів чисельного інтегрування та комп'ютерного моделювання.



Позитивної оцінки заслуговує комплексний характер досліджень. Автором розглянуто як моделі руху окремих заряджених частинок, так і задачі колективної динаміки, фокусування та визначення областей практичної стійкості. Це дозволяє розглядати результати роботи як певну цілісну систему математичного та комп'ютерного забезпечення дослідження прискорювальних процесів.

Обґрунтованість основних положень роботи підтверджується результатами математичного та комп'ютерного моделювання, аналізом траєкторій частинок, дослідженням областей стійкості та проведеною апробацією результатів.

Наукова новизна

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає, насамперед, у розвитку математичних моделей процесів фокусування пучків заряджених частинок у прискорювальних системах із трубками дрейфу еліптичної форми.

Заслуговує уваги запропонована математична модель фокусування, яка враховує анізотропію електромагнітного поля, зумовлену нециліндричною геометрією прискорювального каналу. Такий підхід розширює можливості математичного опису процесів транспортування та фокусування пучка порівняно з моделями, орієнтованими переважно на осесиметричні системи.

До науково значущих результатів також належить дослідження впливу еліптичності поперечного перерізу трубок дрейфу на стійкість руху та параметри фокусування заряджених частинок.

Окремий інтерес становить розвиток методів аналізу практичної стійкості із застосуванням функцій Ляпунова та відповідних чисельних алгоритмів. Це має принципове значення для дослідження прискорювальних систем, оскільки безпосереднє чисельне інтегрування нестійких траєкторій може супроводжуватися істотним накопиченням похибки.

Певну наукову цінність мають також результати, пов'язані з математичним моделюванням процесів перенесення електронів у фрактальних середовищах, моделюванням фрактального ефекту Джозефсона та побудовою узагальненого закону Ома із використанням операторів Джексона. Ці результати розширюють область застосування розробленого автором математичного апарату до електрофізичних систем зі складною структурою та властивостями пам'яті.

Огляд змісту роботи

Дисертаційна робота має логічну структуру та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Зміст роботи відповідає поставленій меті та сформульованим завданням дослідження, а послідовність викладення матеріалу загалом забезпечує перехід від побудови математичних моделей складних систем до їх застосування для моделювання динаміки заряджених частинок у прискорювальних та фокуруючих системах.

У першому розділі розглянуто математичне моделювання систем частинок із внутрішньою структурою зв'язків та відповідні варіаційні принципи механіки.

Значну увагу приділено фрактальним моделям внутрішніх зв'язків складних систем, масштабним властивостям фрактальних кластерів, їх енергетичним характеристикам, а також питанням термодинаміки й кінетики когерентно корельованих станів. Розглянуто узагальнення принципу Гауса–Герца та побудову функціоналу, що дає змогу описувати динаміку систем частинок з урахуванням їх внутрішньої структури.

У **другому** розділі розвинуто математичний апарат для опису систем частинок зі змінною структурою зв'язків. Запропоновано підходи до моделювання варіацій зв'язків, сформульовано узагальнені варіаційні принципи та отримано рівняння еволюції таких систем. Важливим результатом цього розділу є формування математичної основи для подальшого перенесення розроблених підходів на задачі електрофізики.

Третій розділ присвячено моделюванню динаміки та еволюції систем заряджених частинок у прискорювальних та електрофізичних системах. У ньому встановлено відповідні аналогії між механічними та електрофізичними системами, розглянуто математичні моделі електрофізичних систем із внутрішньою фрактальною структурою, зокрема фрактального Джозефсонівського контакту. Досліджено коливальні процеси, властивості нелінійної провідності та пам'яті фрактальних середовищ. Окремо розглянуто застосування операторів Джексона для регуляризації рівнянь динаміки та побудови узагальнення закону Ома для фрактальних структур.

У **четвертому** розділі наведено результати комп'ютерного моделювання процесів прискорення, фазового захоплення та фокусування заряджених частинок. Основну увагу приділено задачам чисельного аналізу нестійких траєкторій та визначення областей практичної стійкості. Розглянуто математичні моделі руху пучка в лінійних резонансних прискорювально-фокусуючих системах із трубками дрейфу, зокрема еліптичної форми. Наведено результати чисельного моделювання зміни енергії та поперечних координат частинок уздовж прискорювального каналу. Показано можливість використання методів практичної стійкості, функцій Ляпунова та нелінійних чисельних алгоритмів для підвищення надійності аналізу нестійких режимів руху частинок.

Таким чином, зміст дисертаційної роботи охоплює як фундаментальні питання математичного моделювання складних систем із фрактальною структурою, так і прикладні задачі чисельного дослідження процесів прискорення та фокусування заряджених частинок. Послідовність розгляду матеріалу дає змогу простежити розвиток запропонованого математичного апарату від загальних моделей складних систем до конкретних алгоритмів і результатів комп'ютерного моделювання прискорювальних систем. Зміст автореферату достатньо повно відображає основні положення та результати дисертаційної роботи.

Практична цінність і значення дисертаційної роботи

Практичне значення дисертації полягає у створенні математичних і комп'ютерних моделей, алгоритмів та програмних засобів, придатних для дослідження процесів прискорення, фокусування та транспортування заряджених частинок.

Особливо слід відзначити розроблення алгоритмів чисельного визначення областей практичної стійкості та їх застосування до задач фокусування пучків у прискорювальних системах з різними формами електромагнітних полів.

Практична спрямованість роботи підтверджується також використанням отриманих результатів у ПАТ «Квантор» під час розроблення програмно-розрахункових моделей, алгоритмів чисельного аналізу та засобів комп'ютерного моделювання електрофізичних процесів. Результати роботи також використано в навчальному процесі Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Наявність відповідних актів впровадження свідчить про доведення результатів дослідження до практичного використання.

Повнота викладення результатів у опублікованих роботах

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у **12 наукових працях**, з яких 7 статей у наукових виданнях та 5 публікацій у матеріалах наукових конференцій.

Чотири статті опубліковано у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, у тому числі у виданнях відповідних квартилів. Три роботи опубліковано у фахових наукових періодичних виданнях.

Результати дисертаційного дослідження також були представлені на міжнародних науково-практичних конференціях та наукових семінарах. Особистий внесок здобувача у роботах, виконаних у співавторстві, у авторефераті наведено достатньо повно.

Таким чином, можна вважати, що основні результати дисертації знайшли належне відображення в опублікованих працях.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота та автореферат оформлені відповідно до загальних вимог, що ставляться до наукових праць відповідного рівня. Матеріал викладено переважно в науковому стилі, із використанням відповідної математичної та фізичної термінології. Структура роботи є зрозумілою, математичні залежності, рисунки та інші ілюстративні матеріали використовуються для пояснення основних положень і результатів дослідження.

Автореферат містить усі основні структурні елементи, необхідні для ознайомлення з дисертаційною роботою: обґрунтування актуальності теми, мету та завдання, об'єкт і предмет дослідження, методи, наукову новизну, практичне значення, відомості про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації, структуру роботи, основний зміст розділів і висновки.

Зауваження.

1) У тексті дисертації та автореферату трапляються окремі редакційні, стилістичні та технічні неточності, зокрема поодинокі описки, пропуски окремих слів, повтори, неузгодженості у відмінках та окремі випадки неоднозначного формулювання речень. Подекуди потребують додаткового редакційного опрацювання: підписи до рисунків, позначення фізичних величин та узгодження термінології. В англomовній частині автореферату також наявні окремі мовні конструкції, які доцільно було б відредагувати відповідно до норм академічної англійської мови.

2) У підпунктах, пов'язаних з обчислювальними методами для розв'язання інтегро-диференціальних рівнянь з дробовими похідними (див., напр., ст. 138, 156 тощо) бажано чіткіше і більш конструктивніше відобразити «ефекти пам'яті» відповідних систем.

3) У четвертому розділі наведено деякий варіант системи рівнянь Максвелла без належного її опису (складається враження, що має місце описка). Пропоную при захисті дисертації глибше прокоментувати відповідний випадок використання цієї системи.

4) Підрозділ «розвиток методів аналізу практичної стійкості» на наш погляд є надто «широким». Зокрема, бажано уточнити чи тут мова йде про розвиток декількох методів, чи про їх адаптацію.

Зазначені недоліки мають переважно редакційно-технічний характер, не перешкоджають розумінню основного змісту роботи та не впливають на оцінку отриманих наукових результатів. Загалом мова, стиль і оформлення дисертації та автореферату відповідають характеру проведеного дослідження та забезпечують можливість ознайомлення з його основними положеннями і результатами.

Загальна оцінка роботи і висновки

Автореферат дисертації Кручиніна Дмитра Сергійовича достатньо повно відображає основний зміст дисертаційної роботи, її мету, завдання, наукову новизну, практичне значення та основні результати.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальну задачу розвитку математичних моделей, чисельних методів та алгоритмічного забезпечення процесів прискорення і фокусування пучків заряджених частинок.

Отримані результати мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Розроблені математичні моделі та чисельні алгоритми можуть бути використані для дослідження динаміки заряджених частинок, аналізу стійкості та оптимізації параметрів прискорювальних і фокусуючих систем.

За напрямом наукових досліджень відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи та за формою, змістом та обсягом відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема пунктам 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013

р. № 567), а її автор Кручинін Дмитро Сергійович за розвинення методів математичного моделювання заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
Національний університет водного господарства
та природокористування Міністерства освіти і науки України, професор
кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики, м. Рівне

 **Бомба Андрій Ярославович,**

