

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Виклюка Ярослава Ігоровича на дисертаційну роботу Мочурад Лесі Ігорівни на тему: «Математичне моделювання систем електронної оптики з урахуванням симетрії граничних поверхонь», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

### Актуальність теми дисертації

Основними компонентами сучасних науково-дослідних комплексів, за допомогою яких вивчаються складні фізичні процеси, пов'язані з рухом заряджених частинок у відповідних потенціальних полях є електронно-оптичні системи. Наприклад, відомо, що електронні гармати є невід'ємними частинами ламп біжучої хвилі. Ці лампи є важливими електровакуумними приладами, які широко використовують у радіолокації, радіоастрономії, вимірювальній техніці тощо. Такі електронно-оптичні системи як електростатичні лінзи використовують в багатьох електронних приладах. Так, лінзи і їх системи є основними частинами сучасних потужних електронних мікроскопів та прискорювачів, які відіграють важливу роль у ядерній фізиці. На сьогодні в більшості мікрозондів, що знаходяться в експлуатації, використовують мультиплети (системи із двох, трьох або більшої кількості) електростатичних квадрупольних лінз. За допомогою системи електродів типу "квадрупольна лінза", яка дозволяє створювати просторове неоднорідне електричне поле в усьому об'ємі системи електродів, здійснюють електрофізичне очищення трансформаторного масла від забруднень різного походження.

При проектуванні сучасних електронно-оптичних систем складної структури виникає необхідність оцінити їх параметри, фізичне вимірювання яких або трудомістке, або неможливе для необхідної точності. У процесі моделювання електронно-оптичних систем базовою постає задача визначення електростатичного поля, створюваного сукупністю заряджених електродів. Для знаходження розподілу потенціалу електростатичного поля ефективним виявляється використання методу інтегральних рівнянь. Складна геометрія поля притаманна конструкціям реальних сучасних електронно-оптичних систем суттєво ускладнює традиційне застосування методу, оскільки воно пов'язане із знаходженням невідомих величин саме на граничних поверхнях, а розімкненість граничних поверхонь електродів звужує коло чисельних методів, які б адекватно враховували фізичну природу досліджуваного явища. У результаті високі вимоги до точності обчислень не дають змоги говорити про можливість застосування традиційного методу інтегральних рівнянь і вимагають вдосконалення чисельних методів. Проте помічено, що більшості електронно-оптичних систем притаманна геометрична симетрія.

Отже, наукове завдання з розроблення методів та засобів розрахунку електростатичних полів сучасних електронно-оптичних систем із врахуванням геометричної симетрії граничних поверхонь є актуальним, а дисертація здобувача Мочурад Л.І., присвячена розвитку математичних моделей класів

електронно-оптичних систем з граничними поверхнями електродів, які володіють абелевою групою симетрії скінченного порядку, є своєчасною.

### **Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, представлено загальну характеристику роботи, структуру та обсяг дисертації. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації.

**У першому розділі** проаналізовано стан проблеми та найпопулярніші на сьогоднішній день шляхи її вирішення у літературі. Описано математичну модель електростатичного поля електронно-оптичної системи у суттєво просторовій постановці, при цьому, обґрунтовано доцільність врахування геометричної симетрії у конфігурації поверхонь електродів, шляхом виділення окремих класів систем на основі апарату теорії груп. З метою спрощення сформульованої в суттєво просторовій постановці задачі розглянуто випадки, коли можна обмежитись так званим плоским її наближенням.

На основі виконаного аналізу та досліджень сформульовано мету та завдання на дослідження методів та засобів математичного моделювання сучасних електронно-оптичних систем з максимальним врахуванням наявної геометричної симетрії.

**У другому розділі** удосконалено математичні моделі та розроблено методи для розрахунку електростатичних полів класів електронно-оптичних систем з граничними поверхнями електродів, які володіють абелевою групою симетрії восьмого і шістнадцятого порядків. Розроблено апостеріорний метод оцінювання похибки та ітераційний метод уточнення розв'язків у вузлах сітки. Встановлено умови, за яких можна обмежитись дослідженням плоских перерізів просторових конструкцій електронно-оптичних систем.

Реалізовано обчислювальний метод, який створює усі передумови для розпаралелення процесу обчислення розподілу заряду в електронно-оптичних системах зі специфічними симетричними граничними поверхнями.

Переваги запропонованих методів підтверджено низкою чисельних експериментів. Для наочного представлення поля використано розподіл ліній рівного потенціалу.

**У третьому розділі** удосконалено математичні моделі, які описують так зване плоске електростатичне поле на основі апарату теорії груп. Досліджено коректність класів плоских зовнішніх граничних задач теорії потенціалу та для класів крайових задач з абелевою групою симетрії скінченних порядків знайдено аналітичне представлення адитивної сталої, присутньої в представленні розв'язку. Розглянуто дві модельні задачі розрахунку електростатичних полів як типові приклади плоских наближень.

**Четвертий розділ** удосконалено метод чисельного моделювання складних електростатичних полів плоских електронно-оптичних систем на

основі апарату функцій Гріна, методу декомпозиції областей з урахуванням наявної геометричної симетрії. На прикладі розв'язування однієї плоскої модельної задачі електростатики проведено дослідження, яке ілюструє загальний підхід до розв'язування складної задачі математичної фізики, який має на меті максимально використати усі особливості досліджуваної задачі.

**У висновках** висвітлені основні положення роботи.

**У додатках** наведені акти про впровадження.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

У роботі отримано нові наукові результати та твердження. Вважаю, що такими новими результатами, отриманими Мочурад Л.І., є:

- нові математичні моделі опису електростатичних полів класів електронно-оптичних систем з наявною геометричною симетрією;
- стійкий обчислювальний алгоритм моделювання складних сучасних електронно-оптичних систем складної структури з максимальним урахуванням симетрії граничних поверхонь електродів, що дозволило процес обчислення реалізувати паралельно.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів, висновків та рекомендацій**

Автором дисертаційної роботи виконаний аналіз визначеної проблематики, здійснене комплексне теоретичне та практичне обґрунтування шляхів її розв'язання. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, досягаються ретельним багатостороннім системним аналізом реально існуючих процесів у сфері дослідження сучасних електронно-оптичних систем та в об'єкті дослідження зокрема. Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами доведень низки сформульованих автором теорем та лем, результатами чисельних експериментів, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

Практична реалізація та впровадження теоретичних результатів дисертаційної роботи у реальних системах підтверджує достовірність отриманих автором результатів.

### **Рекомендації щодо використання результатів дисертації**

Наукові результати, отримані в дисертації, можуть бути використані для розв'язання практичних задач. Зокрема, це стосується проектування сучасних електронно-оптичних систем з наявною геометричною симетрією.

Запропонований Мочурад Л.І. підхід розширив можливості засобів і методів математичного моделювання потенціальних полів електростатичних систем на основі методу інтегральних рівнянь.

Одержані в дисертаційній роботі результати використано у дослідженнях, які проводились у відділі методів та систем дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка, що підтверджено відповідним актом впровадження. А також впроваджено у Національному університеті "Львівська політехніка" в навчальний процес у курсі «Дискретна математика» у вигляді методичних вказівок для виконання лабораторних робіт.

### **Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи**

За темою дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук, з них 4 – праці у журналах, що входять до наукометричних баз даних; 3 статті у наукових фахових виданнях з фізико-математичних наук; 9 – у матеріалах конференцій.

Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних та міжвузівських конференціях та науково-технічних семінарах.

### **Оформлення дисертації та автореферату**

Автореферат дисертації достатньо інформативний, його зміст повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. Текст дисертації написано грамотною технічною мовою. Дисертація та автореферат викладені логічно, послідовно та коректно. Оформлення автореферату та дисертації повністю відповідає вимогам, рекомендованим Міністерством освіти і науки України.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

- 1) В роботі зазначено, що час розрахунку зменшується на 50%, 75% та 96% на відповідно 2-х, 4-х та 16-ти ядерних процесорах. Це твердження виглядає сумнівним, адже процесор зайнятий не тільки розрахунками, але й іншими задачами до прикладу операційною системою, драйверами, координуванням паралельних розрахунків і т.д. Тому швидкість розрахунків не може зростати прямо-пропорційно кількості ядер.
- 2) Рисунок 2.8 зустрічається раніше його опису в тексті роботи. На графіку та в тексті використовуються різні позначення для похибки потенціалу ( $\tilde{E}$  та  $\vec{E}$ ).
- 3) Розділи 2, 3 та 4 закінчуються таблицею без жодних пояснень до неї.
- 4) У розділі 3 є недоцільним чисельний розрахунок константи, яка характеризує обмеженість розв'язку на нескінченності, оскільки у роботі знайдено аналітичне її подання.
- 5) Серед елементів матриці перетворення Фур'є (формула 3.2.11) зустрічаються уявні одиниці ( $i$ ). З чим це пов'язано?
- 6) У підрозділі 3.5.1 автор використовує термін «паралельний комп'ютер», що означає цей термін?
- 7) У назві 2 та 3 розділу фігурує неоднозначне скорочення  $R^2$ .
- 8) У роботі зустрічаються синтаксичні та стилістичні помилки.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, а одержані нові наукові результати доцільні до впровадження в проектування сучасних електронно-оптичних систем з наявною геометричною симетрією, сформульовані положення, висновки та рекомендації науково-обґрунтовані.

### **Висновки**

Дисертаційна робота Мочурад Л.І. «Математичне моделювання систем електронної оптики з урахуванням симетрії граничних поверхонь» за оформленням відповідає вимогам ДАК України, що пред'являються до дисертаційних робіт. Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою,

послідовно, логічно і грамотно. Стиль викладення матеріалу забезпечує доступність його сприйняття.

Автореферат дисертації достатньо повно розкриває її зміст.

Дисертаційна робота за змістом є закінченим науковим дослідженням, що містить нові науково-обґрунтовані результати, важливі на сучасному етапі та для перспективного розвитку математичного моделювання електронно-оптичних систем складної структури і цілком відповідає вимогам «Паспорту» спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – Мочурад Леся Ігорівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор

проректор з наукової роботи та

міжнародних зв'язків Приватного вищого  
навчального закладу "Буковинський університет"



Я.І. Виклюк