

ВІДГУК

офіційного опонента Просвіріна Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Пазиніна Вадима Леонідовича «Моделювання і аналіз процесів пасивної та активної компресії електромагнітних імпульсів мікрохвильового і оптичного діапазонів», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

В дисертаційній роботі В.Л.Пазиніна закладено основи сучасної двовимірної електродинамічної теорії пасивних та активних компресорів електромагнітних імпульсів. Вдало обрано клас модельних об'єктів, на яких реалізується детально продумана і обґрунтована послідовність кроків, необхідних для досягнення поставлених цілей. З одного боку, геометрія цих об'єктів (двовимірні плоскі і аксіально-симетричні структури) досить проста, і це дозволяє чітко визначити основні теоретичні проблеми і так само чітко продемонструвати можливість їх вирішення з використанням досягнень прикладної математики. З іншого боку, подібні об'єкти традиційно є пробним камінням для будь-яких нових теоретичних побудов і методів в класичній електродинаміці і можуть розглядатися як моделі реальних пристроїв. У роботі представлено великий обсяг фактичного матеріалу, аналіз якого дозволяє побачити переваги запропонованих і реалізованих тут підходів. Повинен відразу зазначити, що дисертант детально розглянув досягнення попередників і досить обґрунтовано зафіксував місце своєї роботи в низці подібних досліджень, доказово продемонстрував конструктивну новизну і високу результативність своїх методів, що базуються на глибокому математичному опрацюванні фізичних проблем.

З проблемами, вирішенню яких присвячена дисертація, що рецензується, доводиться мати справу в багатьох важливих галузях науки і техніки. Коло прикладних задач, пов'язаних з цими проблемами, постійно розширюється. Сьогодні теорія компресорів електромагнітних імпульсів, незважаючи на гостру зацікавленість розробників електронної техніки в отриманні від неї достовірних і добре обґрунтованих результатів, все ще далеко не досконала, питання, які ставить перед нею практика, часто залишаються без відповідей. Перелік серйозних і нерозв'язних труднощів в рамках простих традиційних підходів в теорії компресорів постійно розростається. Особливо інтенсивно – з переходом до все більш високих частот, на яких повинні працювати пристрої, що проектуються. Тому тема дисертаційної роботи В.Л.Пазиніна, яка спрямована на подальший розвиток теорії в найбільш важких для аналізу її областях, як в сенсі розробки адекватного математичного апарату, так і в сенсі вирішення конкретних фізичних задач, безсумнівно, є актуальною. Актуальність теми досліджень обумовлена, по-перше, наявністю реальних технічних систем, покращення характеристик яких можливо за допомогою отриманих дисертантом результатів. По-друге, тим, що створення загальної конструктивної теорії, заснованої на глибокому і строгому дослідженні її модельних задач, дозволяє з єдиних позицій оцінити численні попередні

досягнення і досить впевнено просуватися далі, отримувати нові знання, що представляють інтерес як для фундаментальної, так і для прикладної науки. Актуальність теми дисертації підтверджується і тим, що дослідження по ній здійснювалися відповідно до плану науково-дослідних робіт Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України в рамках фундаментальних держбюджетних НДР, по розробці і впровадженню нових методів обчислювальної радіофізики, теоретичному і експериментальному дослідженню трансформацій електромагнітних полів гіга-, терагерцового і оптичного діапазонів в об'єктах і середовищах антропогенного і природного походження, аналізу і синтезу нових вузлів і пристроїв резонансної квазіоптики, твердотільної електроніки, імпульсної та антенної техніки.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох основних розділів і висновків. Загальна її структура добре узгоджена з метою роботи. В основі методів аналізу і синтезу компресорів електромагнітних імпульсів, що розробляються, лежать дві плідні ідеї, результативність яких апробована на великій кількості різноманітних радіофізичних задач, розв'язаних в останні роки в ІРЕ НАН України. Це ідея ефективного і коректного обмеження простору розрахунку модельних початково-крайових задач електродинаміки з використанням так званих «точних поглинаючих умов», та ідея обернення напрямку течії часу (обернення хвильового фронту) при визначенні характеристик імпульсу, що стискається при пасивній компресії, за характеристиками стисненого імпульсу, що отримується на виході з дисперсійного елемента. Для теоретичного розвитку і практичної реалізації цих ідей особисто автором дисертації зроблено дуже багато. В список основних результатів відповідного напрямку досліджень його внесок можна назвати визначальним.

Названі ідеї досить загальні і універсальні, але їх реалізація в кожній конкретній задачі вимагає значних аналітичних зусиль. Відповідна цим зусиллям і вагомість отриманих результатів. Так, наприклад, тільки оптимізовані відповідним чином оригінальні точні поглинаючі умови дозволяють довести час аналізу активних компресорів на відрізках регулярних хвильоводів до величин, що відповідають найбільш цікавим для практики режимам накопичення енергії. Без вивчення таких режимів важко зробити що-небудь для радикального збільшення коефіцієнта корисної дії відповідних пристроїв. А моделі, в яких зазвичай використовують наближені і евристичні поглинаючі умови, зокрема і такі, які «защиті» в дорогих комерційних програмних пакетах, в аналогічних умовах просто «розвалюються» під час обчислювальних експериментів, проведених автором роботи. До речі, аналіз експлуатаційних характеристик різного типу поглинаючих умов, який проведено в багатьох статтях автора, власне в тексті дисертації відсутній. Я б зарахував це до недоліків роботи – втрачено можливість яскраво проілюструвати надійність алгоритмів, що було розроблено і використано дисертантом.

Новизна і ефективність розвинених дисертантом аналітичних підходів дозволила отримати і ряд нових наукових результатів. З їх переліком і характеристиками, наведеними у висновках роботи і в авторефераті, я повністю

згоден. Окремо хочу відзначити тільки два фундаментальних результати для загальної теорії компресорів електромагнітних імпульсів. Перший з них пов'язаний з розробкою схеми модельного синтезу прямоточних активних компресорів з інтерференційними резонансними перемикачами з режиму накопичення енергії в режим її скидання, що реалізується практично. Явні труднощі тут були пов'язані зі сполученням кількох резонансних елементів, які необхідно налаштувати на синхронну роботу підбором їх спектральних характеристик, які повинні задовольняти цілком певним вимогам. Порухення цих вимог, навіть не дуже значне, призводить не тільки до спотворення очікуваних параметрів роботи пристрою, а й до повної втрати таким пристроєм здатності формувати потужні короткі радіоімпульси. Другий результат пов'язаний з розробкою і включенням в схему модельного синтезу пасивних компресорів «компенсаторів» втрат різного типу (омічних, втрат на випромінювання). Це дозволяє уникати помітних деформацій цільових імпульсів (імпульсів, які очікуються на виході з дисперсійного елемента), що обумовлені такими втратами, за рахунок їх точної попередньої «компенсації» в початкових імпульсах, що піддаються стисненню в дисперсійному елементі. В цілому ж, зазначу, що розвинені автором оригінальні підходи дозволили отримати розв'язання актуальних завдань, які, мабуть, іншими способами так само повно і ефективно вирішити на даний час не можна.

Оцінюючи наукову і практичну значимість роботи, зазначу, перш за все, що її результати важливі для внутрішнього розвитку теоретичної радіофізики. Їх сукупність є основою для побудови сучасної теорії компресії електромагнітних імпульсів і вирішує важливу і важку наукову проблему обчислювальної фізики, що пов'язана з адекватним математичним моделюванням, достовірним і надійним аналітичним і чисельним дослідженням процесів резонансного і дисперсійного стиснення імпульсів в діапазонах довжин хвиль від сантиметрового до оптичного. Компресори, аналізу яких присвячена дисертація, є важливими функціональними елементами багатьох сучасних радіоелектронних пристроїв (радіолокатори, прискорювачі, системи функціонального ураження радіоелектроніки). Їх достовірне теоретичне вивчення – головна умова досягнення необхідної якості відповідної продукції (в першу чергу потужності сформованих компресорами імпульсів). Якісні та кількісні результати дисертаційної роботи В.Л. Пазініна, виявлені і вивчені ним закономірності і особливості в процесах формування потужних коротких радіоімпульсів різних діапазонів, строга оцінка похибок і сфери можливого застосування евристичних підходів, що використовувалися раніше, дають відповідь на низку питань, що давно стоять перед практиками і, безсумнівно, будуть використані в таких центрах передових радіотехнічних технологій як ІРЕ і РІ НАН України, ХНУ, ХНУРЕ та ін.

Достовірність і обґрунтованість результатів та висновків роботи обумовлені:

1. застосуванням надійних математичних методів аналізу модельних початково-крайових задач і строгим контролем за коректністю та еквівалентністю перетворень, що виконуються;

2. можливістю аналітичної оцінки похибок, що виникають при алгоритмізації і чисельному розв'язанні модельних задач;
3. можливістю правильних переходів до відомих і окремих результатів;
4. прозорим і несуперечливим фізичним трактуванням аналітичних і чисельних результатів;
5. порівнянням власних результатів з результатами інших авторів;
6. традиційною для відповідної школи широкою апробацією всіх нових результатів в публічних дискусіях за участю відомих фахівців, які добре знають проблему і мають великий досвід для того, щоб не погодитися з невірним або недостатньо обґрунтованим висновком.

Апробація в дискусіях на внутрішніх семінарах ІРЕ і на ряді престижних конференцій підкріплена публікаціями в авторитетних спеціалізованих журналах і в монографії видавництва Springer, в якій дисертант є співавтором одного з розділів. Всі нові досягнення В.Л. Пазиніна досить повно представлені у відповідних виданнях. Автореферат вірно відображає зміст, основні результати та висновки дисертаційної роботи.

Дисертація оригінальна, а, отже, як і кожна оригінальна робота, дає достатньо підстав для критики. Я зазначу тут тільки той, усунення якого в майбутньому, сприяло б, на мій погляд, міцному становленню розвинутих підходів і методів. Аналізу і синтезу піддаються моделі, що базуються на розв'язанні двовимірних скалярних початково-крайових задач обчислювальної електродинаміки. Про перехід до розгляду тривимірних векторних задач, що більш точно описують просторово-часові і просторово-частотні процеси трансформацій електромагнітних хвиль, які реалізуються в реальних радіoeлектронних пристроях, згадується лише в переліку можливих для подальшого розвитку напрямків. Разом з тим, в роботі, як мені здається, можна було б дати цілком чіткі орієнтири для просування в цьому напрямку. Я маю на увазі коротке, без подробиць «подання» векторних аналогів тих точних поглинаючих умов і схеми методу обернення хвильового фронту, на яких автор будує розгляд скалярних задач, і оцінку обчислювальних ресурсів, необхідних для їх реалізації в задачах, що представляють інтерес, як для теорії, так і для практики. Я б рекомендував дисертанту зайнятися проблемою «3-D» в своїх майбутніх дослідженнях.

Певні зауваження необхідно зробити з приводу оформлення дисертації, її стилю і мови. Перше, на що відразу звертаєш увагу при ознайомленні з роботою, – це зайва деталізація суто технічних питань, що стосуються, наприклад, вибору форми імпульсів збудження (п. 2.8.1), розрахунків спектральних характеристик за допомогою ШПФ (п. 2.8.2), а також потоків вектора Пойнтінга (п. 2.8.3). Ймовірно ці підрозділи слід було б перенести до окремих додатків.

Зазначені недоліки не заважають оцінити дисертаційну роботу в цілому як завершене, ґрунтовне і глибоке дослідження, виконане в галузі фізики, що стрімко розвивається, яка визначає сучасний стан ряду суміжних наукових і технічних областей. Нові результати отримані із застосуванням надійних математичних методів. Їх аналіз і фізичне трактування не дають підстав для

сумнівів в їх достовірності, науковій та практичній значимості. У повному обсязі продемонстровано можливості нового математичного апарату, адекватного фізиці процесів, що реалізуються в розглянутих електродинамічних структурах, – закладено фундамент сучасної строгої теорії компресорів електромагнітних імпульсів. Фактично, В.Л. Пазинін є першим з дослідників, хто працює в даному напрямку і реалізує в досить повній мірі можливості сучасної методології отримання нових знань – методології, основу якої складає серйозне математичне моделювання та проблемно-орієнтований обчислювальний експеримент. Все вище перераховане дозволяє стверджувати, що в дисертації вирішена важлива наукова проблема, пов'язана з надійним і ефективним аналізом і синтезом моделей пристроїв, здатних формувати короткі потужні радіоімпульси в діапазонах довжин хвиль, що інтенсивно опановуються сучасною радіоелектронікою.

Вважаю, що робота, яка рецензується, задовольняє всім вимогам ВАК України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика. В.Л. Пазинін безсумнівно заслуговує присвоєння йому зазначеного наукового ступеня.

Офіційний опонент:

завідувач відділу теоретичної радіофізики

Радіоастрономічного інституту НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор



С.Л. Просвірнін

Підпис зав. від., д. ф.-м. н., проф. С.Л. Просвірніна засвідчую.

Учений секретар РІ НАН України,

кандидат фізико-математичних наук

«4» листопада 2019 р.

