

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доц. Разумову-Фризюку Є.А.
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, професора

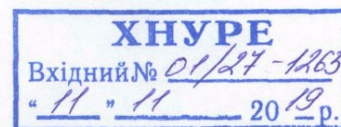
Сльотова Михайла Михайловича

про дисертацію та автореферат Курського Юрія Сергійовича
«Теоретична модель вимірювань в нелінійних динамічних системах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

1. Актуальність дисертаційного дослідження

Створення нових приладів електроніки, пристроїв та інформаційно-керуючих систем потребує глибокого дослідження фізичних процесів, що зумовлюють принципи їх дії. Це дозволяє визначити властивості і особливості відповідних явищ та можливі способи керування ними і прогнозування нових можливостей застосування. Попередні результати таких досліджень вказують на нелінійність процесів і наявність ефектів хаотизації та самоорганізації в ієрархічних фізичних системах. Їх вивчення залишається актуальним завданням прикладної фізики, радіофізики, оптоелектроніки, інформатики, телекомунікацій тощо.

На особливу увагу заслуговують прилади лазерної фізики, в яких складна динаміка явищ обумовлює необхідність вивчення механізмів та процесів, що спричиняють в них хаотизацію лазерного випромінювання. Тому для нього особливо важливим постає розробка і реалізація методів



Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доц. Разумову-Фризюку Є.А.
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, професора

Сльотова Михайла Михайловича

про дисертацію та автореферат Курського Юрія Сергійовича
«Теоретична модель вимірювань в нелінійних динамічних системах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

1. Актуальність дисертаційного дослідження

Створення нових приладів електроніки, пристроїв та інформаційно-керуючих систем потребує глибокого дослідження фізичних процесів, що зумовлюють принципи їх дії. Це дозволяє визначити властивості і особливості відповідних явищ та можливі способи керування ними і прогнозування нових можливостей застосування. Попередні результати таких досліджень вказують на нелінійність процесів і наявність ефектів хаотизації та самоорганізації в ієрархічних фізичних системах. Їх вивчення залишається актуальним завданням прикладної фізики, радіофізики, оптоелектроніки, інформатики, телекомунікацій тощо.

На особливу увагу заслуговують прилади лазерної фізики, в яких складна динаміка явищ обумовлює необхідність вивчення механізмів та процесів, що спричиняють в них хаотизацію лазерного випромінювання. Тому для нього особливо важливим постає розробка і реалізація методів

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доц. Разумову-Фризьоку Є.А.
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, професора

Сльотова Михайла Михайловича

про дисертацію та автореферат Курського Юрія Сергійовича

«Теоретична модель вимірювань в нелінійних динамічних системах»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

1. Актуальність дисертаційного дослідження

Створення нових приладів електроніки, пристроїв та інформаційно-керуючих систем потребує глибокого дослідження фізичних процесів, що зумовлюють принципи їх дії. Це дозволяє визначити властивості і особливості відповідних явищ та можливі способи керування ними і прогнозування нових можливостей застосування. Попередні результати таких досліджень вказують на нелінійність процесів і наявність ефектів хаотизації та самоорганізації в ієрархічних фізичних системах. Їх вивчення залишається актуальним завданням прикладної фізики, радіофізики, оптоелектроніки, інформатики, телекомунікацій тощо.

На особливу увагу заслуговують прилади лазерної фізики, в яких складна динаміка явищ обумовлює необхідність вивчення механізмів та процесів, що спричиняють в них хаотизацію лазерного випромінювання. Тому для нього особливо важливим постає розробка і реалізація методів

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доц. Разумову-Фризюку Є.А.
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, професора

Сльотова Михайла Михайловича

про дисертацію Курського Юрія Сергійовича

«Теоретична модель вимірювань в нелінійних динамічних системах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

1. Актуальність дисертаційного дослідження

Створення нових приладів електроніки, пристроїв та інформаційно-керуючих систем потребує глибокого дослідження фізичних процесів, що зумовлюють принципи їх дії. Це дозволяє визначити властивості і особливості відповідних явищ та можливі способи керування ними і прогнозування нових можливостей застосування. Попередні результати таких досліджень вказують на нелінійність процесів і наявність ефектів хаотизації та самоорганізації в ієрархічних фізичних системах. Їх вивчення залишається актуальним завданням прикладної фізики, радіофізики, оптоелектроніки, інформатики, телекомунікацій тощо.

На особливу увагу заслуговують прилади лазерної фізики, в яких складна динаміка явищ обумовлює необхідність вивчення механізмів та процесів, що спричиняють в них хаотизацію лазерного випромінювання. Тому для нього особливо важливим постає розробка і реалізація методів

генерації та управління. Зазначимо, що стабілізація параметрів випромінювання особливо важлива для інформаційних систем. Також зменшення хаотичності режимів дозволяє істотно впливати на стабільність випромінювання, що важливо при різних дослідженнях, проведенні вимірювальних, виробничих та медико-біологічних робіт. Останні вивчають біофізичні процеси в живих організмах, яким властиві самоорганізація та хаотизація. Тому їх глибоке розуміння буде сприяти створенню нового типу апаратури та спеціальних систем діагностики.

Об'єктами практичних та теоретичних досліджень низки природничо-наукових напрямків є відкриті, дисипативні, нелінійні динамічні системи (НДС), до яких відносяться вказані вище приклади. Вдала реалізація завдань досліджень, їх просторово-часове моделювання, прогнозування та управління НДС залежить від коректності теорій і методів досліджень. Ключовим етапом експериментальних досліджень є вимірювання. Незважаючи на інтерес до НДС, теорія та практика вимірювань в таких системах тривалий час мало розвивалися. Дисертація Курського Ю. С. спрямована на розробку принципів положень теорії дослідження нелінійних динамічних систем на основі моделей вимірювань в нелінійних динамічних системах. Розвиток цього питання має велике значення для вирішення комплексної задачі розробки та експлуатації складних ієрархічних фізичних систем, а особливо хаотичних лазерів та лазерів із хаотичним зворотнім зв'язком, створення інформаційно-керуючих систем, розробки апаратури та пристроїв медико-біологічного призначення.

2. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі, базується на:

– розробленні принципів комплексного аналізу змінних у нелінійних динамічних системах і визначено принципи побудови моделі вимірювань, яка враховує особливості хаотичного стану для випадкових процесів;

– кореляція результатів, одержаних різними незалежними методами теоретичного опису динамічних систем і можливими результатами при

проведенні експериментів по встановленню їх характерних параметрів, характеристик і властивостей.

– узгодженості використовуваних принципів теорії інформації і фрактального аналізу із методами математичного моделювання процесів у нелінійних динамічних системах;

– проведенні комп'ютерного моделювання процесів, які визначають властивості складних оптичних систем і лазерів та їх зіставлення з результатами розрахунків на основі розробленої теоретичної моделі процесів у нелінійних динамічних системах.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом

Всі положення і результати, висвітленні автором в пункті "наукова новизна" є новими і отримані вперше. Дисертантом особисто проведено формування принципів і важливих положень теорії вимірювань, обробку результатів експериментальних досліджень та вимірювань в складних оптичних системах, а також вивчення властивостей і особливостей біофізичних нелінійних динамічних систем. Дисертантом проаналізована можливість досліджень і запропоновано методику оцінки параметрів процесу лазерного охолодження часток, здійснено вимірювання характеристик випромінювання волоконних та нанорозмірних лазерів, параметрів випромінювання імпульсних лазерів з метою отримання стабільності його роботи.

До найважливіших результатів дисертаційної роботи можна віднести наступні:

– проаналізовані особливості процесів у нелінійних динамічних системах і логічно обґрунтована послідовність побудови теоретичної моделі вимірювань, починаючи з класифікації процесів у досліджуваній системі і подальшого залучення відповідного математичного апарату обробки і представлення результатів.

– визначені основні властивості, параметри та процеси, які необхідні для розробки теоретичної моделі вимірювань в нелінійних динамічних

системах, показана необхідність використання розподілу фази хвилі, її фрактальної розмірності, часової узгодженості і ентропії для отримання достовірного і стабільного відображення інформації при хаотичності процесів.

– розроблена теоретична модель, яка передбачає аналіз інтервалу характерних величин при вимірюваннях та можливості отримання достовірних результатів при визначенні властивостей відповідних нелінійних процесів.

4. Повнота опублікування основних результатів дисертації

Новизна та актуальність роботи підтверджується 56 публікаціями, з них 1 монографія, 37 статей і 17 публікацій у матеріалах конференцій.

Результати досліджень опубліковані у наступних виданнях: "Радиофизика и радиоастрономия", "Метрологія та прилади", "Measuring technique", "Системы обработки информации", "Приборы и методы измерений", "Радиофізика і електроніка", "Telecommunication and Radio Engineering ", "Journal of Nano- and Electronic Physics", "Вісник ХНУ", "Бионика интеллекта".

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел. Дисертація викладена на 299 сторінках друкованого тексту, містить 29 рисунків, 2 таблиці, 1 додаток (власні публікації), 277 бібліографічних найменувань.

5. Цінність отриманих результатів для науки і практики

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

1. Показано, що класична теорія вимірювань утруднює достовірне визначення параметрів процесів у нелінійних динамічних системах. Виявлено основні передумови побудови моделі вимірювань у таких системах, які повинні враховувати хаотичність процесів, існування інтервалу значень вимірюваних величин, а не одного конкретного, залежність процесів від початкових умов і шумів, істотний вплив на них самоорганізації і

еволюції. Відповідно до вказаних особливостей вперше запропоновано проводити аналіз результатів вимірювань використовуючи фазовий портрет і портрет вимірювань, фрактальну розмірність, ентропію Шеннона та час передбачення.

2. Систематизовано властивості і процеси у нелінійних динамічних системах і показано їх дисипативний характер, що зумовлює складний характер функціонування, з утворенням нестійких станів під впливом зовнішніх факторів. Певні із динамічних змінних є керуючими параметрами і за відповідних умов їх зміна зумовлює обернені фазові переходи системи. Проведено аналіз і визначені методи та способи дослідження нелінійних динамічних систем. Показано доцільність використання для цього наступних параметрів: фазовий портрет, фрактальна розмірність, ентропія Шеннона, час передбачення.

3. Розроблено і апробовано принципи аналізу і побудови теоретичної моделі проведення вимірювань. Показано важливість визначення ключових параметрів моделі, як то результат і оцінка вимірювання з урахуванням його невизначеності, що обумовлює необхідність розробки принципу побудови моделі аналітичного виразу для опису і перевірки результатів вимірювань з метою подальшого прогнозу поведінки динамічних змінних. Показано обов'язковість на даному етапі стійкості нелінійної динамічної системи для можливого прогнозу її поведінки, а також опису нестійкості за Ляпуновим і Лагранжем.

4. Запропоновані спеціальні методи досліджень нелінійних фізичних систем різного типу, які складаються з експериментальних вимірювань і відповідної методики обробки результатів визначення параметрів і властивостей нелінійних динамічних систем у стаціонарному і хаотичному режимах. Розроблені відповідні методики досліджень параметрів випромінювання різного типу лазерів, процесу лазерного охолодження часток і стану біофізичної системи.

5. Відповідно до розробленої теоретичної моделі вимірювань параметрів лазерного випромінювання розроблено методику і виготовлено експериментальну установку по комплексному дослідженню енергії в імпульсі, тривалості і частоти проходження імпульсів, стабільності їх значень і спектральних характеристик. Запропоновано методику планування експерименту і оцінювання результатів вимірювань, набір яких утворює геометричне представлення траєкторій динамічної змінної. Розроблена модель може бути використана як для забезпечення стабільності параметрів випромінювання лазера, так і для формування хаотичності.

6. Досліджено фізичні процеси самоорганізації у кільцевих нанолазерах з метою створення оптоволоконних систем передачі інформації. Розглянуто можливості отримання сталості головних параметрів – довжини хвилі, тривалості імпульсу та потужності випромінювання, що забезпечує стійку динаміку поширення оптичного сигналу. Запропоновано методику стабілізації частоти і мінімальної потужності імпульсу оптичного сигналу, які забезпечують необхідну відстань його проходження $L \approx 750$ м при коефіцієнті втрат одномодового волокна 0,5 дБ/км.

7. На основі теоретичної моделі вимірювання параметрів нелінійних динамічних систем запропоновано методику дослідження процесу охолодження часток до зверхницьких температур лазерним випромінюванням. Імпульсний режим роботи лазера забезпечує обернений позитивний зв'язок його тривалості з часом взаємодії з частками. Врахування їх середньої швидкості руху, температури і ентропії дозволяє змінювати енергію, а відповідно і температуру, при зміні частоти опромінення лазера. Запропоновано відповідні аналітичні розрахунки, що робить можливим контроль процесу охолодження та контролю температур.

8. Запропонована топологічна модель ідентифікації оптичних приладів спостереження (ОПС). Вона ґрунтується на отриманні інформації при скануванні ОПС лазерним променем. Аналіз відбитого променя виконується за допомогою ПЗЗ-камери. Наявність на поверхні сканованих ОПС захисних

чи просвітлюючих покриттів обумовлює формування фрактальної структури відбитого оптичного сигналу та особливий розподіл інтенсивності відбитого лазерного імпульсу. Відповідні системи контролю дозволяють встановити тип дисипативної нелінійної динамічної системи. Запропонована методика експериментальних досліджень дозволяє визначити параметри лазерного випромінювання, функцію розподілу інтенсивності, а за нею провести фрактальний аналіз. Його результати є характеристикою спостережуваної оптичної системи. При необхідності така лазерна оптоелектронна система за проведеною ідентифікацією може сприяти забезпеченню інформаційної безпеки.

9. Досліджено особливості розробленої теоретичної моделі вимірювань процесів у випадку біофізичних систем. Визначені умови та методики визначення параметрів і властивостей їх динамічних змінних. Показана важливість застосування фрактальної розмірності, ентропії Шеннона, часу передбачення і використання змінних у певному інтервалі їх величин для визначення властивостей системи та прогнозування у ній подальшої динаміки процесів. За таких умов постає можливим розробка і створення відповідних приладів і систем діагностики стану біофізичної нелінійної динамічної системи. Поєднання теоретичних досліджень з практичними розробками за індивідуальними показниками дозволить проводити цілеспрямоване лікування пацієнтів чи здійснювати інтенсивну підготовку спортсменів.

Дисертаційна робота Курського Ю.С. має практичну спрямованість. Усі теоретичні, модельні та експериментальні дослідження орієнтовані на фізичні процеси генерації випромінювання в приладах, установках, інформаційно-керуючих системах.

Практична цінність:

1. Отримані результати сприяють створенню нових інформаційних і керуючих систем, а також методів і методик досліджень фізики процесів самоорганізації у нестабільних динамічних системах.

2. Вперше для нелінійних динамічних систем проведені комплексні дослідження властивостей, визначені необхідні умови формування процесів самоорганізації і особливості динаміки у різноманітних фізичних і біофізичних об'єктах.

3. Розроблено методики досліджень параметрів випромінювання імпульсного лазера. За результатами вимірів вивчені можливості і умови переходу в режим динамічного хаосу. Визначено діапазон зміни величини інжекції і можливість отримання стійкої динаміки переходу процесів формування випромінювання в хаотичний режим і їх відновлювання у початковому стаціонарному стані.

4. Розглянуто за розробленою методикою досліджень можливості використання нанолазерів. Вивчено можливість досліджень особливостей процесу поглинання фотонів домішкою йоду, розташованого у дефектах кристалу, і визначена можливість його використання для стабілізації частоти випромінювання.

5. Пропонується експериментальний метод визначення низької температури часток при їх опроміненні лазером. Проведено аналіз і розгляд стану та параметрів системи лазер – атом. Показано, що вимірювання частоти випромінювання і визначення зміни його ентропії за Шенноном дозволяє вимірювати температуру при малій її зміні ΔT і встановлювати можливі стани системи у процесів охолодження.

6. Досліджено складні процеси самоорганізації та динаміки у біофізичних системах. Визначено можливість прогнозування їх стану у цілому, покращення характеристик і збільшення ефективності процесу вивчення властивостей. Визначено можливості створення приладів і систем по контролю стану біофізичних систем та їх комплексному використанні при діагностиці і лікуванні.

7. За встановленими принципами і методами досліджень фізичних процесів у нелінійних системах з хаотичною динамікою проведено аналіз процесів створення приладів і показано необхідність пошуку нових

матеріалів для лазерів, вдосконалення їх конструкцій, що дозволяє, на основі розроблених принципів теорії досліджень, покращити характеристики і збільшити ефективність застосування лазерної техніки в оптоелектронному приладобудуванні і при створенні сучасних інформаційних систем зв'язку.

Таким чином, цінність одержаних результатів для науки і практики полягає у встановленні принципово важливих обмежень можливостей використання класичної теорії вимірювань у випадку нелінійних динамічних систем. Вони визначаються об'єктивними особливостями процесів. Тому проведено систематизацію властивостей та процесів, обрані математичні інструменти комплексного аналізу динаміки НДС, а саме: фрактальна розмірність, значення якої дозволяє класифікувати динаміку процесу; ентропія Шеннона, значення якої дозволяє оцінити невизначеність вимірювання та розкид значень динамічних змінних (ДЗ): фазовий портрет НДС, що дозволяє визначити показники Ляпунова та час передбачуваності динаміки системи. Вперше отримано вирази зв'язку ентропії Шеннона та фрактальної розмірності, а також вирази, що дозволяють використовувати ентропію для оцінювання невизначеності результатів вимірювання ДЗ НДС. Важливим є відповідність розробленої системи математичних і фізичних принципів складним процесам у різних системах. Особлива увага приділена лазерам різного типу, топологічним дослідженням оптичних систем, вимірюванням і стабілізації низьких температур за допомогою лазерів, діагностиці біофізичних систем. Заслуговує на увагу практичний напрямок роботи, у якому органічно поєднані розроблені методи і методики експериментальних досліджень властивостей систем з теоретичним і модельним представленням процесів самоорганізації та динаміки у нелінійних системах. Тому отримані результати можуть цілеспрямовано використовуватися при побудові теоретичних моделей вимірювань. В свою чергу, розроблені моделі підтверджують правомірність експериментальних досліджень. Важливим є можливість їх практичного використання при діагностуванні стану і якості існуючих систем та інформаційних пристроїв, а

також при проектуванні і розробці принципово нових приладів, установок і комплексів у електронних системах та медично-біологічних комплексах.

6. Зауваження до роботи

Як і кожна наукова робота, розглянута дисертація не позбавлена певних недоліків. Серед них основними, на мій погляд, є наступні:

1. В якості прикладів систем із хаотичною динамікою здобувачем розглядаються три типи лазерів: із хаотичними параметрами випромінювання, із хаотичним зворотнім зв'язком та на солітонах. Проте у відповідних розділах, де розглядаються розроблені експериментальні моделі досліджень лазерів, аналіз та результати вивчення особливостей та властивостей солітонів та лазерів із хаотичним зворотнім зв'язком проводиться не достатньо аргументовано внаслідок скороченого викладання матеріалу. Зважаючи на велику увагу світової науки до цих систем такий розгляд було б доцільним зробити більш широким.

2. Одним із параметрів, який пропонується використовувати у моделі вимірювань є час прогнозування. У роботі вказана характеристика оцінюється недостатньо зважаючи на об'єм проведених вимірювань.

3. Зустрічаються символи, які у різних розділах означають різні величини. Так « λ » означає показник Ляпунова у Розділах 1 та 3, а у Розділі 4 « λ » – це довжина хвилі. У Розділі 4 « T » означає температура, а у Розділі 5 – час повернення системи до стійкого стану.

4. Практичну цінність було б бажано проілюструвати більш повним порівнянням з існуючими аналогами.

5. Присутні деякі відхилення від стандарту ДСТУ 3008-95.

6. У дисертаційній роботі є також орфографічні та стилістичні огріхи. Наприклад, підпис під рисунком 2.4 містить слово з розірваним правописом, рисунок недостатньо чіткий. На сторінці 157 помилка правопису у слові «об'єктом». Присутні деякі зауваження до перекладу термінів. Наприклад, поруч із терміном «вимірювання», зустрічається «вимір».

Проте зроблені зауваження і побажання не впливають на загальний високий науковий рівень дисертації, не піддають сумніву основні наукові результати, отримані автором, та їх практичне значення.

7. Загальний висновок

В дисертації отримані нові наукові результати по дослідженню процесів самоорганізації та динаміки, їх моделюванню та адаптивної теоретичної моделі за проведеними вимірюваннями у нелінійних динамічних системах. Розглянуто особливості фізичних процесів у лазерах, оптичних і біологічних системах. Визначені можливості практичного використання результатів вимірювань та виготовлення на їх основі приладів і систем для проведення діагностики процесів самоорганізації у ієрархічних системах. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації. В наукових публікаціях повністю викладені основні результати дисертації.

Вважаю, що за актуальністю теми, ступеню обґрунтованості і достовірності результатів, наукової новизни і практичному значенню дисертаційна робота Курського Юрія Сергійовича «Теоретична модель вимірювань в нелінійних динамічних системах» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015), а її автор Курський Юрій Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

д.ф.-м.н., професор Сльотов М.М.
старший науковий співробітник
науково-дослідної частини
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

