

Вченому секретарю  
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
д.ф. - м.н., с.н.с. Одаренку Є.М.  
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

**ВІДГУК**  
офіційного опонента  
доктора фізико-математичних наук, професора  
**Сльотова Михайла Михайловича**  
про дисертацію Гнатенко Олександра Сергійовича  
«Синхронізація мод волоконного лазера за допомогою  
рідкокристалічних комірок»,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.01 - фізики приладів, елементів і систем

### **1. Актуальність дисертаційного дослідження**

Створення сучасних приладів електронної техніки та оптоелектроніки потребує ґрунтовного вивчення фізичних процесів по формуванню випромінювання. Особливого значення набуває розуміння послідовності процесів у волоконних лазерах. На даний час вони відіграють важливу роль у різного типу системах сучасної інтегральної та волоконної оптики, різноманітних метрологічних пристроях, інформаційно-керуючих системах, пристроях медико-біологічного призначення і далекометрії тощо. Зазначені напрямки потребують створення компактних лазерів, що генерують ультракороткі світлові імпульси з різною потужністю.

Одним з них на даний час можуть бути волоконні лазери з відповідними параметрами і характеристиками. Для них важливою проблемою залишається синхронізація мод у волокні. Попередні результати



відповідних досліджень виявили високу складність реалізації фізико-технічних режимів по узгодженню параметрів світлової хвилі при її поширенні у волокні. Зазначимо, що розповсюдження у ньому оптичного випромінювання має важливе значення, внаслідок чого сформувався самостійний напрямок – волоконно-оптичні системи. Для волоконних лазерів існуючи методи синхронізації мод у волокні мають принципові обмеження. Вони особливо проявляють себе при генерації фемтосекундних імпульсів, амплітуда і фронт хвилі яких змінюються внаслідок розбіжності поперечних розмірів волокна, впливу механічної дії, температурного розігріву тощо. Амплітуда може змінюватися відповідно до тривалості імпульсу. Тому важливим постає вивчення міжмодової дисперсії та пошуку методу стабілізації нелінійної еволюції поляризації. До того ж, вирішення вказаних проблем є особливо важливим для збільшення (на 3-4 порядки) інформації, що передається в системах комунікації оптичними волокнами та істотного зменшення втрат (до десятих часток децибел на кілометр) у матеріалі світловода, що дозволяє проводити зв'язок на сотні кілометрів без регенерації (ретрансляції).

Тому на особливу увагу у приладах лазерної фізики заслуговує вивчення процесів та їх складної динаміки, що спричиняють хаотизацію лазерного випромінювання. Зазначимо, що стабілізація параметрів випромінювання особливо важлива для інформаційних систем та спеціальних систем медичної діагностики.

Дисертація Гнатенко О. С. спрямована на розробку методу синхронізації мод у волоконному лазері за допомогою рідкокристалічних комірок, що керуються електричним сигналом напругою до 10 В. Вирішення даної проблеми сприяє розв'язуванню комплексної задачі розробки та експлуатації складних фізичних систем, а особливо хаотичних лазерів та лазерів із хаотичним зворотнім зв'язком.

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

- розробленні принципів комплексного аналізу еволюції стану поляризаційних мод у нелінійних волоконних лазерах, яка враховує особливості обертання площини поляризації;
- кореляція результатів, одержаних незалежними методами теоретичного опису моделі синхронізації мод лазерів на основі оптичного волокна, легованого ербієм, і результатами експериментів на кільцевому волоконному лазері з нелінійною еволюцією стану поляризації (НЕСП);
- узгодженості експериментальних результатів з теоретичною моделлю синхронізації мод;
- використання рідкокристалічних комірок, які випускаються промисловістю, для розроблення конструкції кільцевого волоконного лазера.

## **3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом**

Всі положення і результати, висвітлені автором в пункті "наукова новизна" є новими і отримані вперше. Дисертантом особисто досліджено можливості практичного застосування фемтосекундних лазерів, розраховано дисперсійні характеристики оптичних волокон та встановлено умови стабільності поляризації при використанні рідкокристалічних комірок. Розроблено конструкцію кільцевого волоконного лазера з РК-комірками та досліджено особливості процесів формування і поширення фемтосекундних імпульсів, проведені експериментальні дослідження і проаналізовані отримані результати залежності кута обертання площини поляризації РК коміркою від прикладеної напруги. До найважливіших результатів дисертаційної роботи можна віднести наступні:

- у співавторстві запропоновано фізичні принципи, що визначають особливості процесів генерації і поширення випромінювання у фемтосекундному лазері;

- обґрунтована послідовність вимірювань стабільності поляризації у кільцевому волоконному лазері при застосуванні РК комірок;
- визначені основні особливості процесів дисперсії у резонаторі лазера, показана необхідність її врахування для отримання стабільного імпульсу відповідної форми та тривалості.

#### **4. Повнота опублікування основних результатів дисертації**

Новизна та актуальність роботи підтверджується 34 публікаціями, з них 1 монографія у співавторстві, 10 статей, 1 патент на винахід і 22 публікації у матеріалах міжнародних конференцій, форумах та симпозіумах.

Результати досліджень опубліковані у наступних виданнях: "Telecommunication and Radio Engineering", "Радиотехника", "Прикладная радиоэлектроника", "Метрология и приборостроение", " Applied Radio Electronics", "Journal of Nano- and Electronic Physics", "Вісник ХНУ". Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел. Дисертація викладена на 145 сторінках друкованого тексту, з яких на 111 викладена основна робота, містить 67 рисунків, 1 таблицю, 1 додаток (власні публікації), 131 бібліографічне найменування

#### **5. Цінність отриманих результатів для науки і практики**

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

1. Отримала подальший розвиток теоретична модель синхронізації мод волоконного лазера. Проведено за рівнянням Гінзбурга-Ландау моделювання процесів при формуванні світлових імпульсів лазера. Показано, що амплітуда імпульсів зменшується після кожного проходу резонатора лазера до певної величини, значення якої визначається умовою повної синхронізації мод, що забезпечує їх подальшу стабільність при проходженні через резонатор. Визначено можливі процеси та механізми забезпечення синхронізації мод рідкокристалічною коміркою при нелінійному обертанні поляризації.

2. Експериментально досліджено умови стабільності поляризації поздовжніх мод в кільцевому волоконному лазері з використанням

рідкокристалічних комірок. Результати досліджень підтверджують коректність побудованої теоретичної моделі і ефективного використання рідкокристалічних комірок в якості контролерів поляризації.

3. Розроблена конструкція та виготовлено експериментальний макет кільцевого фемтосекундного лазера на оптичному волокні. Досліджено властивості виготовленого макету лазера та показано, що характеристики і параметри виготовленої системи та режими її експлуатації істотно покращені внаслідок підвищення ефективності регулювання кута обертання поляризації через використання рідкокристалічних комірок. Встановлена можливість керування поляризацією випромінювання РК-поляризатором та виявлено особливості і основні передумови утворення процесу стійкої генерації ультракоротких оптичних імпульсів при реалізації нелінійної еволюції стану поляризації (НЕСП) у кільцевих волоконних лазерах.

4. Відповідно до запропонованої теоретичної моделі вимірювань параметрів лазерного випромінювання розроблено методику і проведені комплексні дослідження значення енергії в імпульсі, його тривалості і частоти проходження, а також стабільності їх значень. Отримана модель може бути використана як для забезпечення стабільності параметрів випромінювання лазера, так і при дослідженні процесів формування хаотичності.

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

**Практична цінність** дисертаційної роботи має декілька аспектів і полягає в тому, що:

- розроблено методику і сформульовані принципи математичного розрахунку для визначення дисперсії у волокнах при проектуванні резонаторів волоконних лазерів без проведення складних і високовартісних експериментальних досліджень, проведено перевірку розробленої методики;

–за встановленими принципами і на основі проведених досліджень у оптичному волокні розроблено конструкція та вперше виготовлено макет лазера з відповідними системами керування накачуванням світлодіоду, терmostабілізації лазера і керування рідкокристалічними комірками;

– визначені режими роботи рідкокристалічних комірок, що дозволило збільшити ефективність обертання кута обертання площини поляризації і покращити експлуатаційні характеристики кільцевого волоконного лазера добором відповідних режимів їх живлення;

– виготовлено електрооптичну установку для дослідження характеристик і властивостей рідкокристалічних комірок в якості контролерів поляризації при синхронізації мод лазера, вдосконалено методику контролю поляризації світла у кільцевих волоконних лазерах.

Результати роботи складають підґрунтя для подальшого розвитку немеханічних методів синхронізації мод та оптимізації механізмів формування ультракоротких імпульсів випромінювання в лазерних системах.

Отримані теоретичні і експериментальні результати проведених досліджень використовуються в навчальному процесі ХНУРЕ при вивченні принципів роботи нових конструкцій волоконних лазерів.

Заслуговує на увагу практичний напрямок роботи, у якому органічно поєднані розроблені методи і методики експериментальних досліджень властивостей систем з теоретичним і модельним представленням процесів формування випромінювання у кільцевих волоконних лазерах. Тому отримані результати можуть цілеспрямовано використовуватися як при побудові теоретичних моделей, так і проведенні вимірювань основних параметрів і характеристик. Важливим є можливість їх практичного використання при діагностуванні стану і якості існуючих систем та інформаційних пристройів, а також при проектуванні і розробці принципово нових пристройів, установок і комплексів у електронних системах.

## **6. Зауваження до роботи**

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

1. Окремі результати досліджень впливу напруги, прикладеної до РК комірки, на кут обертання поляризації можливо було б конкретизувати відповідними її значеннями замість терміну “насичується”, а також вказати значення кутів (соті, десяті чи одиниці градуса), а не констатувати ”змінюється дуже слабо”.

2. Відповідно до розробленої схеми кільцевого волоконного лазера було б доцільним навести відомі за літературою дані про спектри оптичного пропускання волокна і випромінювання використованого лазера як технічні характеристики до паспорту розробленого експериментального макету.

3. В роботі показана важливість при визначенні хроматичної дисперсії оптичного волокна лазера врахування його легування домішкою ербію порівняно з класичним одномодовим волокном SMF-28. Виграшним було б наведення для порівняння оптичних характеристик волокон, а також вплив легування іншими відомими лантаноїдами, зокрема іттербієм, тулієм.

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

5. У дисертаційній роботі є також орфографічні та стилістичні огріхи. Наприклад, підпис під рисунком 3.1 містить абревіатуру НЕП, а не НЕСП (слово з пропущеною літерою). На сторінці 46 помилка правопису у слові «односпрямований». Присутні деякі зауваження до термінів. Наприклад, термін «кут повороту поляризації» більш коректно подати як “кут обертання поляризації“.

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 вирішенню проблеми синхронізації мод у кільцевому волоконному лазері внаслідок використання рідкокристалічних комірок. Розроблена конструкція, виготовлено експериментальний макет фемтосекундного лазера та визначені можливості його практичного використання для діагностики різноманітних процесів самоорганізації. Досліджено його властивості і визначені умови стабільноті випромінювання через виправдане і перевірене керування синхронізацією поляризації повздовжніх мод у лазерах з ультракороткими імпульсами за допомогою РК комірки. Зміст автoreферату 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 Гнатенко Олександра Сергійовича «Синхронізація мод волоконного лазера за допомогою рідкокристалічних комірок», 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 Гнатенко Олександр Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізики приладів, елементів і систем

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

Підпис проф. Сльотова М.М. засвідчує:

