

**КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

На правах рукопису

**САВЕНКОВ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І  
КЛАСИФІКАЦІЯ СЕРЕДОВИЩ НА ОСНОВІ  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З  
ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

01.04.03. - Радіофізика

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата  
фізико-математичних наук

КИЇВ - 1995

537.86  
Дисертацією є рукопис.Робота виконана на кафедрі  
факультету Київського університету іНауковий керівник: канд. фізико-математичних наук,  
доцент Мар'єнко Валерій ВасильовичОфіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,  
професор Тронько Володимир Дмитрович,доктор фізико-математичних наук,  
провідний науковий співробітник  
Сердега Борис КириловичПровідна  
організація: НДІ "КВАНТ"Захист відбудеться "19" лютого 1996 р. в ауд. <sup>1500</sup> 46 на засіданні  
Спеціалізованої Ради Д.01.01.07. при Київському університеті імені Тараса  
Шевченка (за адресою: 252127, Київ-127, вул. С.Ковалевської 1, **радіофі-**  
**зичний факультет**)З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського  
університету ім.Тараса Шевченка (252017, Київ-17, вул. Володимірська 62).Автореферат розісланий "12" січня 1996 р.Вчений секретар  
Спеціалізованої Ради

Шкавро А.Г.

**Актуальність теми**

Питання, пов'язані з дослідженням розсіяння електромагнітного випромінювання анізотропними деполаризуючими об'єктами, представляють інтерес у зв'язку з тим, що такі об'єкти є найбільш типовими природними об'єктами, а також тому, що розсіяне електромагнітне випромінювання у багатьох випадках є чи не єдиним джерелом інформації про ці об'єкти.

На сьогодні, в більшості випадків, радіофізичні методи використовують для подібних досліджень як джерело інформації про об'єкт таку характеристику випромінювання як інтенсивність. Однак, як відомо, взаємодія електромагнітного випромінювання з об'єктом супроводжується, поряд зі зміною його інтенсивності, також зміною поляризації. Отож, опис взаємодії електромагнітного випромінювання з об'єктом буде далеко неповним, якщо при цьому не враховані поляризаційні ефекти. Найбільш повно взаємодія електромагнітного випромінювання з об'єктом описується за допомогою матриці розсіяння випромінювання - матриці Мюллера [1].

При вивченні бібліографії стосовно цього кола питань спостерігаються наступні особливості. Перше, достатньо повно розроблені питання, які пов'язані з вимірюванням та дослідженням амплітудних змін, що виникають при взаємодії електромагнітного випромінювання з об'єктом. Друге, публікацій, де б у тому чи іншому вигляді досліджувались поляризаційні ефекти, досить обмежена кількість. Третє, серед цих публікацій переважна більшість присвячена питанням вимірювання та аналізу векторів Стокса, публікацій, де йде мова про матриці Мюллера, - одиниці. Четверте, у існуючій літературі матриці Мюллера розглядаються та використовуються лише як оператори перетворення випромінювання, у той час, як розгляд матриць Мюллера як суто інформаційного об'єкту знаходиться у початковому стані.

Основні існуючі на сьогодні підходи, щодо інформаційного аналізу матриць Мюллера, базуються або на представленні кутових залежностей величин елементів матриці [2], або на знаходженні власних значень та власних поляризацій матриці Джонса, яка відповідає недеполаризуючій частині даної матриці Мюллера [3], що, як зазначається у [1], не є вичерпним аналізом анізотропних властивостей об'єкту.

Водночас, експериментальне вимірювання матриць Мюллера - діло надто складне і трудомістке. Досить зауважити, що воно виявилось можливе тільки при досягненні певного рівня розвитку методів та пристроїв введення інформації у ЕОМ, тобто порівняно недавно. Крім того, вимірювачам, відомим на сьогодні, властива низка суттєвих недоліків, значно обмежуючих їх практичне використання. Головні з них: багатокомпонентність трактів, невеликі швидкості вимірювань і відносно великі похибки вимірювань елементів матриці.

Таким чином, актуальність теми даної дисертаційної роботи обумовлена тим, що розв'язок питань, пов'язаних з використанням поляризації електромагнітного випромінювання як джерела додаткової інформації про досліджуваний об'єкт, пов'язаних з розробкою методів обробки отримуваних при цьому експериментальних даних та з розробкою інформаційно-вимірювальних систем, реалізуючих ці методи, є надзвичайно важливим і перспективним.

Розв'язок цих питань надасть можливість отримувати додаткову інформацію про анізотропію фізичних властивостей об'єкту, що буде сприяти більш глибокому розумінню природи механізмів, які обумовлюють появу анізотропії. Крім того, виникає можливість пошуку закономірностей у характері анізотропії об'єктів різної

природи, ефективного розв'язку проблеми оптимального синтезу поляризаційних систем та об'єктів, що мають попередньо задані анізотропні властивості.

Разом з цим, створені на цій основі сучасні швидкодіючі, високоточні вимірювачі векторів Стокса та матриць Мюллера можуть бути використані у інформаційно-вимірвальних системах мікрохвильового та оптичного діапазонів різноманітного призначення. Такі системи мають незаперечні переваги внаслідок того, що дозволяють отримувати інформацію, яка є недоступною для інших відомих методів, робота яких ґрунтується на зондуванні досліджуваного об'єкту електромагнітним випромінюванням.

**Виходячи з цього, в роботі взято за мету :**

- розробка загального підходу до аналізу інформації про анізотропні властивості досліджуваного об'єкту, яка міститься у його матриці Мюллера, дослідження основних наслідків та шляхів практичного застосування цього підходу.
- розробка автоматизованого інформаційно-вимірвального комплексу, який вирішує питання як вимірювання векторів Стокса та матриць Мюллера у реальному масштабі часу (який визначається властивостями досліджуваного об'єкту і характером розв'язуваної задачі) з мінімальними похибками і в природних умовах, так і їх аналізу.

**Наукова новизна роботи** полягає у наступному :

В роботі вперше:

- розроблена концепція обробки інформації про об'єкт, яка може бути отриманою на основі такої характеристики електромагнітного випромінювання як поляризація. Ця інформація міститься у матриці Мюллера об'єкту. Результатом застосування цієї концепції для аналізу матриці Мюллера є встановлення видів анізотропії, характеризуючих досліджуваний об'єкт. По суті справи розроблена нова концепція інформаційного аналізу матриць Мюллера, яка дозволяє отримувати додаткову інформацію про об'єкт, що є недоступною для існуючих методів, основаних на вимірюванні амплітуди, частоти і фази електромагнітного випромінювання.
- проведений аналіз інформаційних можливостей розробленої концепції інформаційного аналізу матриць Мюллера. На її основі побудована загальна система класифікації об'єктів за анізотропними властивостями, що ним притаманні. Крім того, розроблена методика оптимального синтезу поляризаційних систем та об'єктів з заданими анізотропними властивостями.
- розроблена методика та апаратура, які дозволяють проводити вимірювання як поляризаційних характеристик випромінювання так і зв'язаних з цим анізотропних властивостей об'єктів. Особливо відзначимо частини роботи, які пов'язані з розв'язком задач запобігання зовнішнім неполяризованим та частково поляризованим перешкодам, а також підвищення точності та швидкості вимірювань.

**Практична цінність роботи :**

Практичне значення цієї дисертаційної роботи полягає у тому, що у ній розроблені питання стосовно нових методів отримання та обробки додаткової інформації про анізотропні властивості об'єктів, що мають складну структуру, використовуючи для цього поляризаційні властивості електромагнітного випромінювання, а також апаратури, що їх реалізує, яка може бути використана при побудові інформаційно-вимірвальних систем мікрохвильового та оптичного діапазонів.

**Достовірність результатів роботи** визначається використанням стандартної вимірвальної апаратури, використанням сучасних обчислювальних методів, а також узгодженням результатів експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків.

## **Основні положення, що виносяться на захист :**

1. теорема розкладення, згідно якої довільна матриця Джонса завжди може бути розкладеною у базисі матриць амплітудної та фазової анізотропії;
2. загальна система класифікації об'єктів за їх анізотропними властивостями: кожен об'єкт може бути віднесений, за цією ознакою, до одного з 32 класів;
3. методика оптимального синтезу поляризаційних систем та об'єктів з анізотропними властивостями, що попередньо задані;
4. виключення впливу фонові компоненти випромінювання, яка діє на вході приймального каналу вимірювача, на результати вимірювань може бути досягнуто шляхом здійснення додаткової модуляції інтенсивності зонduючого випромінювання - метод подвійної модуляції.

## **Апробація роботи.**

Основні положення роботи доповідались та були представлені на:

- VII Всесоюзній науково-технічній конференції "Фотометрия и ее методологическое обеспечение" - Москва, 1988;
- XIV Міжнародній конференції "К и НО'91" - Ленинград, 1991;
- III Міжнародній конференції "Физические проблемы оптической связи и обработки информации" - Севастополь, 1992;
- IV Міжнародній конференції "Физические проблемы оптический измерений, связи и обработки информации" - Севастополь, 1993;
- I Міжреспубліканському симпозіумі "Оптика атмосферы и океана" - Томск, 1994;
- Міжнародній науково-технічній конференції "Современная радиолокация" - Київ, 1994.

Biomedical Optics Europe II - Lille, France, 1994.

AeroSense/Optical Pattern Recognition VI - Orlando, FL, 1995.

## **Публікації.**

За матеріалами роботи опубліковано 15 друкованих праць, список яких наведений у кінці реферату.

## **Структура та обсяг роботи.**

Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, заключення, 122 сторінок машинописного тексту, 8 малюнків, 85 посилань на літературні джерела.

**Особистий внесок автора** у працях, які виконані у співавторстві, полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, розрахунків з використанням обчислювальної техніки, в обговоренні результатів та їх інтерпретації.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність дисертації, сформульовані її мета та положення, що виносяться на захист, дано короткий зміст дисертації. Коротко охарактеризовані основні результати, одержані в дисертації, їх новизну, наукове та практичне значення.

У першій главі проведено огляд теоретичних та експериментальних праць, які присвячені питанням розробки методів аналізу інформації (напр. [1,4,5]), що містяться у матриці Мюллера об'єкту, а також методів експериментального визначення компонентів векторів Стокса та елементів матриць Мюллера (напр. [6]).

На підставі цього зроблений висновок, що найбільш перспективними методами вимірювань є модуляційні методи. Тобто, методи, у яких досліджуваний об'єкт зондується електромагнітним випромінюванням з модульованою поляризацією. Далі поляризація розсіяного цим об'єктом випромінювання модулюється у приймальному каналі вимірювача. У результаті на детекторі вимірювача виділяється сигнал з складним спектральним складом. Амплітуди гармонік цього сигналу пропорційні елементам матриці Мюллера.

Досить вузький діапазон застосувань поляризаційних методик обумовлений слідуючими причинами:

- поляризаційні вимірювальні системи відзначаються досить слабкою перешкодохзахищеністю та високими похибками вимірювань;

- найголовніше те, що до цього часу по суті справи так і не знайдені методи здобування інформації про анізотропні властивості об'єктів з їх матриць Мюллера. За винятком, можливо, найпростіших випадків, коли об'єкт характеризується одним видом анізотропії.

Зроблений висновок, що подолання цих недоліків можливе завдяки використанню електрично керованих перетворювачів поляризації. Використання цих перетворювачів поляризації дозволить підвищити швидкодію вимірювача до одиниць  $\mu\text{s}$ , спростити сполучення з ЕОМ, досягти повної автоматизації процесу вимірювань та обробки експериментальної інформації, досягти функціональної еластичності вимірювача в залежності від характеру розв'язуваного завдання.

У другій главі розглянуті питання, що пов'язані з теоретичним та експериментальним дослідженням можливості вимірювання анізотропних характеристик об'єктів у реальному масштабі часу в природних умовах. Тобто питання розробки автоматизованого Мюллер-вимірювача з високою швидкодією (одиниці  $\mu\text{s}$ ), з низкими величинами похибок вимірювань (не вищими від 0,5-0,1%), з високою перешкодохзахищеністю.

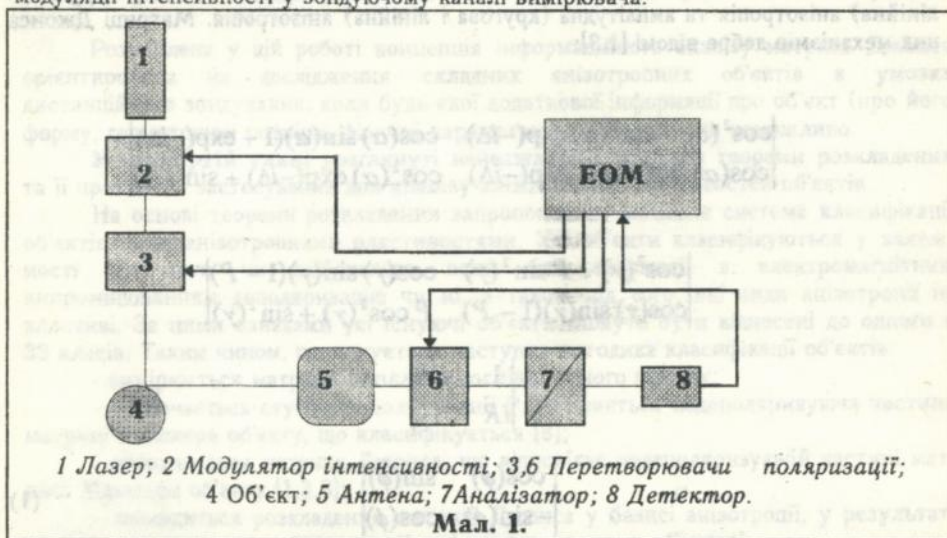
Для того, щоб з'ясувати які основні механізми роблять внесок у величину похибки вимірювань компонентів вектора Стокса у вимірювачі, приймальний канал якого містить перетворювач поляризації з лінійною фазовою анізотропією, що обертається, і елемент з фіксованою лінійною амплітудною анізотропією (аналізатор), було здійснено чисельне моделювання процесу вимірювань у цьому вимірювачі. Ця схема вимірювача є, як це показано у [7], найбільш раціональною.

З результатів обчислень випливає, що найбільший внесок у величину похибки вимірювань вносять величини нестійлостей частоти та початкової фази обертання лінійної фазової анізотропії перетворювача поляризації.

Знизити величину похибки вимірювань вектора Стокса і матриць Мюллера можна шляхом використання електрично керованих перетворювачів поляризації [6]. Найбільш перспективними в оптичному діапазоні є електрично керовані перетворювачі на основі електрооптичних кристалів.

Проведений у даній роботі аналіз показує, що у кубічному кристалі, який є найбільш придатним для створення перетворювачів поляризації у модуляційних Мюллер-вимірювачах, напрям, для якого потрібна мінімальна амплітуда керуючого електричного поля, є напрям [111].

При проведенні поляризаційних вимірювань завжди має місце ситуація, при якій на вході приймальної частини вимірювача поряд з інформаційною компонентою діє також фоновий компонент досліджуваного випромінювання. Останній спричиняє значні спотворення інформації про поляризаційну структуру випромінювання, яке приймається. Для виключення впливу фоновий компоненти на результати вимірювань запропонований та експериментально випробуваний метод подвійної модуляції інтенсивності у зондуєму каналі вимірювача.



Це призведе до розділення спектру сигналу детектора на дві області: низькочастотну - обумовлену тільки модуляцією поляризації, у яку фоновий компонент вносить внесок; та високочастотну - обумовлену модуляцією інтенсивності, на яку фоновий компонент впливу не робить. Далі здійснюємо обробку квадрата високочастотної частини спектру детектора. Цим досягається те, що для практичної реалізації методу стає непотрібною інформація про конкретну величину та початкову фазу частоти модуляції інтенсивності. Необхідно лише, щоб вона була більшою за частоту модуляції поляризації не менш як на порядок. Більш того, метод стає не критичним стосовно стабільностей цих величин. Це значно спрощує реалізацію методу на практиці.

На мал.1 приведена схема Мюллер-вимірювача, працюючого в оптичному діапазоні, в якому реалізовані результати проведених досліджень. Великою перевагою такої схеми є те, що вона дозволяє повністю автоматизувати процес ви-

мірювання і обробки інформації. Перехід від одного об'єкту вимірювань до другого, тобто від вектора Стокса до матриці Мюллера чи навпаки, здійснюється за допомогою лише засобів програмного забезпечення.

У третій главі розглядається новий загальний підхід до інформаційного аналізу матриць Джонса. Формально, маємо вісім дійсних величин (матриця Джонса - матриця з комплексними елементами, дійсну та уявну частини яких розглядаємо окремо), на основі яких головна задача цього розділу дисертаційної роботи, а саме, здобуття інформації про анізотропні властивості досліджуваного об'єкту, повинна бути розв'язаною.

Відправна точка цього підходу - ідея представлення досліджуваної матриці Джонса у вигляді добутку матриць "елементарних" анізотропних механізмів. Вона полягає у тому, що існує скінченна комбінація "елементарних" анізотропних механізмів - назвемо її базисом анізотропії - на основі якої формуються й можуть бути представлені анізотропні властивості будь-якого досліджуваного об'єкту. Існують слідувачі "елементарні" механізми, що приводять до перетворення поляризації електромагнітного випромінювання при його взаємодії з об'єктом: фазова (кругова і лінійна) анізотропія та амплітудна (кругова і лінійна) анізотропія. Матриці Джонса цих механізмів добре відомі [1,3]:

$$\begin{vmatrix} \cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha) \exp(-i\Delta) & \cos(\alpha) \sin(\alpha)(1 - \exp(-i\Delta)) \\ \cos(\alpha) \sin(\alpha)(1 - \exp(-i\Delta)) & \cos^2(\alpha) \exp(-i\Delta) + \sin^2(\alpha) \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \cos^2(\gamma) + P \sin^2(\gamma) & \cos(\gamma) \sin(\gamma)(1 - P) \\ \cos(\gamma) \sin(\gamma)(1 - P) & P \cos^2(\gamma) + \sin^2(\gamma) \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & -iR \\ iR & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) \end{vmatrix} \quad (1)$$

Результат спільної дії цих механізмів описується за допомогою добутку матриць (1). Матрицю Джонса, яка буде отримана при цьому, можна, внаслідок положення про базисне представлення анізотропних властивостей об'єктів, розглядати як матрицю, що описує довільний, будь-якої складності закон перетворення поляризації випромінювання. У цьому розумінні вона є узагальненою матрицею Джонса.

Показано, що порядок перемноження матриць, як вони записані у (1), є найбільш раціональним. Це обумовлено слідувачими обставинами. Справа у тому, що аналітичні вирази для елементів узагальненої матриці Джонса є надто складними і громіздкими. Тому одержання з них у загальному випадку рішень для параметрів анізотропії  $R$ ,  $p$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\phi$ ,  $\theta$  є вельми проблематичним. Для отримання аналітичних виразів для параметрів анізотропії у загальному випадку і, отже, для аналізу анізотропних властивостей складних (тобто тих, які характеризуються водночас і фазовою

і амплітудною анізотропією) об'єктів запропонований метод пробного, здійснюваного шляхом чисельного моделювання, зондування.

Метод ґрунтується на тому, що для певних видів поляризації зонduючого випромінювання, можна завбачити результат впливу, який на нього чинить досліджуванний об'єкт. Математичний аналіз цього впливу дозволив отримати аналітичні вирази для параметрів анізотропії. Процес знаходження для даної матриці Джонса значень параметрів анізотропії назвемо розкладанням цієї матриці у базисі анізотропії (1).

Аналіз виразів для параметрів анізотропії показує, що на існування рішень, що мають фізичний зміст, нема ніяких обмежень. Крім того, можна показати, що елементи узагальненої матриці Джонса є лінійно незалежними. Отже, цим доведена справедливність основної ідеї цієї глави - ідеї базисного представлення анізотропних властивостей об'єкта, і, отже, є доведеною наступна теорема розкладення:

*Довільна матриця Джонса завжди може бути розкладеною у базисі матриць фазової і амплітудної анізотропії*

Розроблена у цій роботі концепція інформаційного аналізу матриць Джонса орієнтована на дослідження складних анізотропних об'єктів в умовах дистанційного зондування, коли будь-якої додаткової інформації про об'єкт (про його форму, геометричні розміри, фізичні параметри і т.д.) отримати неможливо.

У четвертій главі розглянуті найважливіші наслідки теореми розкладення та її практичне застосування для аналізу анізотропних властивостей об'єктів.

На основі теореми розкладення запропонована загальна система класифікації об'єктів за їх анізотропними властивостями. Усі об'єкти класифікуються у залежності від того чи здійснюють вони при взаємодії з електромагнітним випромінюванням деполаризацію чи ні, а також від того, які види анізотропії їм властиві. За цими ознаками усі існуючі об'єкти можуть бути віднесені до одного з 32 класів. Таким чином, пропонується наступна методика класифікації об'єктів:

- вимірюється матриця Мюллера досліджуваного об'єкту;
- визначається ступінь деполаризації  $P$ , виділяється недеполаризуюча частина матриці Мюллера об'єкту, що класифікується [8];
- визначається матриця Джонса, що відповідає недеполаризуючій частині матриці Мюллера об'єкту [1,3,8];
- знаходиться розкладення матриці Джонса у базисі анізотропії, у результаті чого визначаються види анізотропії, які властиві даному об'єктові;
- встановлюється клас, до якого даний об'єкт відноситься.

На основі теореми розкладення може бути здійснений оптимальний синтез об'єкту, анізотропні властивості якого описуються заданою матрицею Джонса. Оптимальність процесу синтезу розглядається як рішення наступних двох питань:

- з яких саме "елементарних" анізотропних механізмів (елементів) дана матриця Джонса може бути синтезована?
- яке мінімальне число анізотропних елементів та який порядок їх перемноження необхідні при цьому?

Справа в тому, що перестановки матриць базису анізотропії (1), а також врахування теорем еквівалентності Джонса [9] призводять до існування шістьох різних конфігурацій базису анізотропії. Підкреслимо, що мова йде про зміну порядку перемноження матриць у (1), сам же базис анізотропії, як комбінація чотирьох цілком певних анізотропних механізмів, незмінний. В одній з шістьох конфігурацій базису

розкладення даної матриці Джонса буде здійснене на основі мінімальної кількості матриць з (1).

Для отримання оптимального варіанту синтезу даної матриці Джонса запропонована наступна методика:

- знаходяться розкладення даної матриці Джонса в усіх шістьох конфігураціях базису анізотропії;

- використовуючи критерії, сформульовані вище, обирається найбільш оптимальний варіант.

Наведено практичний приклад використання розробленого інформаційно-вимірювального комплексу в цілому для визначення видів анізотропії, характеризуючих лист берези (останній є характерним прикладом складного анізотропного об'єкту), в ході еволюції анізотропних властивостей листка, пов'язаної з його природним усиханням.

**В заключенні** сформульовані основні висновки дисертації.

1. Аналіз існуючих методів експериментального визначення векторів Стокса і матриць Мюллера та аналіз проблем і вимог, що виникають при вимірюванні останніх в природних умовах, дозволяють зробити висновок про те, що найбільш придатними для цього методами вимірювання є методи з поляризаційною модуляцією. Найбільш раціональною схемою для вимірювання векторів Стокса є схема вимірювача, яка містить у приймальному каналі перетворювач поляризації з обертаючою лінійною фазовою анізотропією і елемент з фіксованою лінійною амплітудною анізотропією (аналізатор). Для вимірювання матриць Мюллера використовується схема, яка містить такий самий перетворювач у зонduючому каналі.

2. Чисельне моделювання роботи вимірювача компонентів вектора Стокса і елементів матриці Мюллера, зібраного за вищенаведеною схемою, виявляє, що основний внесок у величину похибки вимірювань робить нестабільність початкової фази обертання лінійної фазової анізотропії, і також (для вимірювання елементів матриць Мюллера) нестабільність різниці початкових фаз обертання фазової анізотропії у зонduючому і приймачому каналах. Підвищення стабільності початкової фази і зниження часу вимірювань досягається шляхом використання електрично керованих перетворювачів поляризації. В якості подібного перетворювача поляризації в оптичному діапазоні частот найбільш перспективним є перетворювач на основі електрооптичних кристалів.

3. Для виключення впливу фонові компоненти випромінювання на вході Мюллер-вимірювача, а також впливу паразитної амплітудної модуляції (блоки живлення ФЕП, лазерів і т.п.) на результати вимірювань запропонований метод подвійної модуляції. Останній ґрунтується на здійсненні поряд з модуляцією поляризації, також модуляції інтенсивності випромінювання у зонduючому каналі з подальшою обробкою квадрата високочастотної частини спектра сигналу, який виділяється на детекторі. Це призводить до того, що виявляється непотрібною додаткова синхронізація процесу вимірювань з частотою модуляції інтенсивності. Останнє значно спрощує реалізацію метода на практиці і дозволяє як модулятор інтенсивності, якщо нема жорстких обмежень на час вимірювання (час вимірювання при цьому може бути 10-20 мсек.), взяти механічний переривач. Метод може бути реалізований у будь-якій схемі модуляційного Мюллер-вимірювача.

4. Дослідження існуючих методів аналізу інформації про анізотропні властивості об'єктів, яка міститься у матриці Мюллера, виявляє, що з їх використанням отримується лише досить обмежена інформація про об'єкт.

Запропоновано новий загальний підхід для дослідження анізотропних властивостей об'єктів, який дозволяє значно поширити об'єм отриманої про об'єкт інформації. У його основі лежить ідея базисного представлення анізотропних властивостей середовища і теорема розкладення:

**Довільна матриця Джонса завжди може бути розкладеною у базисі матриць фазової і амплітудної анізотропії**

Анізотропні властивості об'єкту характеризують сім незалежних параметрів, які мають ясний фізичний зміст: величина деполаризації  $P$ , відносна величина  $p$  і кут орієнтації  $\theta$  лінійної амплітудної анізотропії, відносна величина  $R$  кругової амплітудної анізотропії, відносна величина  $\delta$  і кут орієнтації  $\alpha$  лінійної фазової анізотропії, величина  $\phi$  кругової фазової анізотропії.

Для аналізу анізотропних властивостей складних (які мають у своєму розкладі дві або більше матриць "елементарних" механізмів) об'єктів та для одержання конкретних значень параметрів анізотропії запропоновано метод пробного (модельного) зондування. Метод ґрунтується на тому, що можливо передбачити результат впливу досліджуваного об'єкта, на деякі види поляризації зондуючого випромінювання. Аналіз цього впливу дозволив отримати вирази для параметрів анізотропії.

5. На основі запропонованого підходу побудована загальна система класифікації об'єктів на основі їх анізотропних властивостей. Основою класифікування середовищ є факт наявності у об'єкту тих або інших видів анізотропії. Згідно даної системи класифікації всі об'єкти можуть бути віднесені до одного з 32 класів.

6. На основі запропонованого підходу розроблена методика оптимального синтезу поляризаційних систем та об'єктів з попередньо заданими анізотропними властивостями. Зміст процесу оптимального синтезу полягає в знаходженні варіанту, що використовує мінімальну кількість "зручних" елементарних анізотропних механізмів. "Зручність" анізотропного механізму визначається кількістю параметрів, що описують цей механізм, а також можливістю його практичної реалізації.

**Основні результати дисертації опубліковані у наступних роботах:**

1. Марьенко В.В., Савенков С.Н., Красинский И.М. Условия реализации вращающейся фазовой пластинки в электрооптических кристаллах // Вест. киевского унив.- серия "Физика".- 1990.- с. 6-12.

2. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Активная Стокс-поляриметрия при наличии фоновой засветки // Украинский физич. журнал.-1994.-том. 39.- N 2.- с. 201-203.

3. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Активная Стокс-поляриметрия в условиях частично поляризованной фоновой засветки // Опт. атмосферы и океана.- 1993.- том 6.- N 11.- с. 1454-1458.

4. Марьенко В.В., Колисниченко Б.Н., Савенков С.Н. Автоматизированная система для исследования поляризационной структуры оптического поля, рассеянного природными объектами // Опт. атмосферы и океана.- том 6.- N 11.- с. 1460-1464.

5. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Представление произвольных матриц Мюллера в базисе матриц круговой и линейной анизотропии // Оптика и спектроскопия.- 1994.- том.76.- N 1.- с. 102-104.

6. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Общая классификация поляризационных систем на основе их анизотропных свойств // Оптика и спектроскопия.- 1995.- том. 78.- N 4.- с. 682-685.

7. Марьенко В.В., Молебная Т.В., Савенков С.Н. Автоматизированный поляриметр для измерения параметров Стокса.- Тез. докл. 7 Вс. науч.-техн. конф.

"Фотометрия и ее метрологическое обеспечение".-Москва.- Ротапринт ВНИИ ОФИ.- 1988.- с.285.

8. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Электрически управляемые фазовые пластинки для систем поляризационного распознавания.- Тез. докл. на XIV Международной конференции "К и НО '91".- Ленинград.- 1991.-с. 180-181.

9. Барчук О.И., Марьенко В.В., Савенков С.Н. Автоматизированная система для анализа в реальном масштабе времени поляризационно модулированных сигналов в оптических информационных каналах.- Тез. докл. III Междунар. конф. "Физические проблемы оптической связи и обработки информации".- Севастополь.- 1992.- с. 72.

10. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Измерение параметров поляризационно модулированных сигналов в реальных условиях.- Тез. докл. IV Междунар. конф. "Физические проблемы оптических измерений, связи и обработки информации".- Севастополь.- 1993.- с. 35.

11. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Экспериментальные матрицы Мюллера некоторых видов листовых покровов.- Тез. докл. на I Межреспубликанском симпозиуме "Оптика атмосферы и океана".- Томск.-1994.- с. 85.

12. Марьенко В.В., Савенков С.Н. Обработка локационных сигналов при поляризационном зондировании.- Тез. докл. на Международной научно-технической конференции "Современная радиолокация".- Киев.-1994.- с. 138.

13. Kolisnitchenko B.N., Savenkov S.N., Marienko V.V. Real time polarization laserous diagnostic system.- SPIE Vol. 2329-31.- 1994.

14. Savenkov S.N., Marienko V.V. General approach of information presentation of polarization properies of scattering objects.- SPIE vol. 2326-58.- 1994.

15. Savenkov S.N., Marienko V.V. Classification and recognition method of objects based on their anisotropy properties.-SPIE vol. 2490-13.- 1995.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет.- М.: Мир.- 1981.- 584 с.

2. Приезжев А.В., Гучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине.- М.: Наука.- 1989.- 240 с.

3. Джеррард А., Берч Дж.М. Введение в матричную оптику.- М.: Мир.- 1978.- 342 с.

4. Gil J.-J., Bernabeu E. Obtainment of the polarizing and retardation parameters of a non-depolarizing optical system from the polar decomposition of its Mueller matrix // Optik.- 1987.- V. 76.- N 2.- p. 67-71.

5. Shih-Yau Lu, Chipman R.A. Homogeneous and inhomogeneous Jones matrices // J. Opt. Soc. Am.- V. 11.- N. 2.- p. 766-773.

6. Шутов А.М. Оптические схемы устройств измерения параметров поляризованного излучения // Опτικο-механич. промышленность.- 1985.- N 11.- с. 52-56.

7. Марьенко В.В., Молебная Т.В. Модуляционный метод измерения элементов матрицы Мюллера.- В сб.: Эллипсометрия в науке и технике.-Новосибирск ИФП СО АН СССР.- 1987.- с. 52-56.

8. Kostinski A. Depolarization criterion for incoherent scattering // Applied Optics.- 1992.- V.31.- N 18.- p. 3506-3508.

9. Jones R.C. A new calculus for the treatment of optical system. II. Proof of three general equivalence theorems // J.Opt.Soc.Am.- 1941.- 31.- p.493-499.

Савенков С.Н. Исследование анизотропных свойств и классификация сред на основе электромагнитного излучения с поляризационной модуляцией.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03. - Радиофизика, Киевский университет имени Тараса Шевченко.

Защищается 15 научных работ, которые содержат исследования вопросов, связанных с разработкой нового подхода к анализу информации об анизотропных свойствах исследуемых объектов, содержащейся в их матрицах Мюллера. На основе данного подхода разработана общая система классификации объектов по их анизотропным свойствам. Предложена методика оптимального синтеза объектов с заданными анизотропными свойствами. Кроме того, исследованы вопросы, решение которых позволило создать автоматизированный, быстродействующий, с высокой помехозащищенностью измеритель векторов Стокса и матриц Мюллера.

**Ключові слова :** Поляризація, дистанційне зондування досліджуваного об'єкту, модулювання поляризації та інтенсивності електромагнітного випромінювання, вектор Стокса, матриця Мюллера, фазова та амплітудна анізотропія, класифікація об'єктів.

#### ANNOTATION

This thesis contain the investigation of the following topics. It is presented a general approach for the investigation of the anisotropy properties of scattering and turbid mediums. These properties are given by seven independent parameters characterizing the depolarization degree, amplitude and phase anisotropy of investigated mediums. The approach based on the idea of basis presentation of anisotropy properties of medium and on theorem of decomposition. This allows us to obtaine full information on anisotropy properties of the medium which cannot be obtained by any other known sensing methods and to perform a general classification system of mediums. Such classification system enables to find the regularities and to conduct compared analysis of anisotropy properties of different nature mediums.

It had been created modulation polarimeter with accuracy 0.1 % for single measurements. It is reached due to use control electrooptical wave plate as a polarization converter in probing and receiving channels. This makes it possible to fully automate processes of measurement and calibration of polarimeter. It makes also available of operational elasticity of polarimeter. Measurement time reached a few microseconds.

ЛНБ ім. В. Стефаник  
АН України



153400

АВ 33.971  
**АВ 33.971**

---

СП "Різо-Принт". Віддруковано на різнографі. Тираж 100 прим.  
м.Київ, вул. Чкалова, 71, тел.: 244-63-00,  
м.Київ, вул. Дмитрівська, 30, тел.: 216-42-98.

---