

**Розробка теоретичних засад проектування елементів дифракційної оптики та систем на їх основі.**

**Разработка теоретических основ проектирования элементов дифракционной оптики и систем на их основе.**

**Development of theoretical foundations of designing diffractive optical elements and systems based on them.**

**1. Номер державної реєстрації – 0109U001507**

**2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Колобродов В.Г., Колобродов В.Г., Kolobrodov V.G.**

**3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Вирішена наукова проблема розробки теоретичних засад проектування елементів дифракційної оптики та систем на їх основі. На основі досліджень отримані такі результати:

Отримано наближене рівняння дифракції Френеля, яке використовується при проектуванні оптичних систем на основі теорії дифракції.

Проведено дифракційний аналіз оптичних систем, в результаті якого отримано вирази, що дозволяють визначати фазову функцію лінзи, розподіл амплітуди поля в довільній площині оптичної системи. Отримані вирази дозволяють знайти розподіл інтенсивності світла в зображенні, яке формує дифракційна лінза.

Розроблено метод частотного аналізу дифракційно обмежених оптичних систем, який дозволяє отримати співвідношення для визначення когерентної передавальної функції і оптичної передавальної функції та встановити зв'язок між ними. Дослідження цих функцій показало, що максимальне просторове розділення некогерентної оптичної системи в два рази перевищує розділення когерентної системи. Цей факт необхідно враховувати при використанні лазерних джерел випромінювання.

На основі теорії дифракції Френеля розроблені методики проектування дифракційних лінз. Встановлено, що проектування таких лінз можна здійснити як на основі геометричної оптики, так і на основі теорії дифракції Френеля. Розроблено методики габаритного і енергетичного розрахунків дифракційних лінз. Розроблені методи дозволяють проектувати дифракційно-рефракційні мультифокальні інтраокулярні лінзи, які використовуються в якості сучасного штучного кришталіка ока в офтальмології.

Застосування рівняння дифракції Френеля при аналізі оптичних систем дозволило створити узагальнені засоби проектування когерентних спектроаналізаторів. На основі цих засобів розроблено практичні методики габаритного і енергетичного розрахунків, а також оцінка похибки когерентних спектроаналізаторів, які застосовуються в інформаційно-вимірjuвальних системах.

**(рос.)**

Решена научная проблема разработки теоретических основ проектирования элементов дифракционной оптики и систем на их основе. На основе исследований получены следующие результаты:

Получено приближенное уравнение дифракции Френеля, которое используется при проектировании оптических систем на основе теории дифракции.

Проведен дифракционный анализ оптических систем, в результате которого получены выражения, позволяющие определять фазовую функцию линзы, распределение амплитуды поля в произвольной плоскости оптической системы. Полученные выражения позволяют найти распределение интенсивности света в изображении, которое формирует дифракционная линза.

Разработан метод частотного анализа дифракционно ограниченных оптических систем, который позволяет получить соотношение для определения когерентной передаточной функции и оптической передаточной функции и установить связь между ними. Исследование этих функций показало, что максимальная пространственная разрешающая способность некогерентной оптической системы в два раза превышает разрешающую

способность когерентной системы. Этот факт необходимо учитывать при использовании лазерных источников излучения.

На основе теории дифракции Френеля разработаны методики проектирования дифракционных линз. Установлено, что проектирование таких линз можно осуществить как на основе геометрической оптики, так и на основе теории дифракции Френеля. Разработаны методики габаритного и энергетического расчетов дифракционных линз. Разработанные методы позволяют проектировать дифракционные-рефракционные мультифокальные интраокулярные линзы, которые используются в качестве современного искусственного хрусталика глаза в офтальмологии.

Применение уравнения дифракции Френеля при анализе оптических систем позволило создать обобщенные средства проектирования когерентных спектроанализаторов. На основе этих средств разработаны практические методики габаритного и энергетического расчетов, а также оценка погрешности когерентных спектроанализаторов, применяемых в информационно-измерительных системах.

**(англ.)**

We solve the scientific problem of developing the theoretical foundations of designing diffractive optical elements and systems based on them. Based on the research results are as follows:

An approximate equation of Fresnel diffraction, which is used in the design of optical systems based on diffraction theory.

Conducted diffraction analysis of optical systems, resulting in expressions which allow to determine the phase function of the lens, the field amplitude distribution in any plane of the optical system. The expressions obtained allow us to find the light intensity distribution in the image, which forms a diffraction lens.

Developed a method of frequency analysis of the diffraction limited optical systems, which allows you to determine the ratio of the coherent transfer function and optical transfer function and to establish a connection between them. The study of these functions showed that the maximum spatial resolution of an incoherent optical system is twice the resolution of a coherent system. This fact must be considered when using laser radiation sources.

Based on the theory of Fresnel diffraction methods have been developed design diffractive lenses. It is established that the design of such lenses can be made as to the basis of geometrical optics and on the basis of the theory of Fresnel diffraction. The techniques and bounding energy calculations of the diffraction lens. The developed methods allow you to design diffractive-refractive multifocal intraocular lenses, which are used as a modern artificial lens in ophthalmology.

Application of the Fresnel diffraction equation in the analysis of optical systems allow to create generic tools for design coherent spectrum analyzers. On the basis of these tools are developed practical methods and bounding energy calculations, and error estimation of coherent spectrum analyzers used in information-measuring systems.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти інтелектуальної власності (заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право).**

Патент на корисну модель № 43730. Інтерферометр для контролю форми поверхонь оптичних деталей / Богатирьова Г.В., Якобчук О.О. – опубл. 25.08.2009 р. Бюл.№16, 2009 р.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Розроблені теоретичні основи проектування дифракційних оптичних елементів відповідають світовим аналогам (див. O'Shea D.C., Suleski T.J., Kathman A.D., Prather D.W. Diffractive Optics: Design, Fabrication, and Test. – SPIE PRESS, Washington USA, 2004. – 260 р.) В той же час ці основи дозволяють виконувати габаритні та енергетичні розрахунки як самих елементів, так і систем на їх основі.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок .**

Створення підприємства з виробництва дифракційних оптичних елементів, зокрема інтраокулярних лінз та штучних кришталіків для виправлення вад зору та лікування катаракти, має велику привабливість та наблизить Україну до передових країн світу, таких як Німеччина та США.

## **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).**

Спільно з КП СПБ «Арсенал» планується впровадити розроблені алгоритми розрахунку дифракційних оптичних елементів у програми автоматизованого проектування та виготовлення таких елементів та оптичних систем на їх основі.

## **8. Стан готовності розробки.**

Розроблена методика для розрахунку мікропрофілю дифракційних лінз та когерентних спектроаналізаторів.

## **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати роботи впроваджено при виконанні госпдоговірної НДР №337017 (186 тис.грн., закінчення 2012 р.) на замовлення КП СПБ «Арсенал».

За результатами досліджень захищена докторська дисертація докторантом.

Результати роботи впроваджено у навчальний процес при викладанні дисциплін «Дифракційна теорія оптичних систем» та нового учбового курсу «Оптоінформатика». За результатами роботи видано підручник, рекомендований Міністерством науки та освіти, молоді і спорту, як підручник для студентів вищих навчальних закладів: Дифракційна теорія оптичних систем: Підручник / В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. –К.:НТУУ «КПІ», 2011. – 120 с.

## **10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

НТУУ «КПІ», приладобудівний факультет, кафедра оптичних та оптико-електронних приладів, тел. (044) 406 – 85 – 00, e-mail: [info@oep.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:info@oep.ntu-kpi.kiev.ua)

## **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.**

1. Дифракційна теорія оптичних систем: Підручник / В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 120 с. (Підручник з грифом МОНМС України)
2. Боровицкий В.Н. Сверхвысокое пространственное разрешение в оптическом микроскопе с пространственной модуляцией освещения: Дис. докт.техн.наук: 05.11.07 / Национальный технический ун-т Украины "Киевский политехнический институт". — К., 2010. — 388 с.

### **Статті**

1. Колобродов В.Г., Захарченко В.С., Стефанович В.Т. Математические методы улучшения качества изображения // “Приладобудування: стан і перспективи”. – Київ, ПБФ НТУУ “КПІ”. – 2009. – С. 53 – 54.
2. Богатирьова Г.В., Чернишов А.А., Фельде К.В., Полянський П.В. Еволюція поняття сингулярності в оптиці // Збірник тез доповідей на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи». – 2010. – С.71-72.
3. Богатирьова Г.В., Фельде К.В., Чернишов А.А., Полянський П.В. Змішані поляризаційні сингулярності векторних оптичних полів // Збірник тез доповідей на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2010: стан і перспективи». – 2010. – С. 72-73.
4. Колобродов В.Г., Сірий Є.А. Використання дифракційних елементів в тепловізійних системах // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – №2. – С. 58–62.
5. Колобродов В.Г., Даниленко О.М. Обобщенные характеристики инфракрасных систем поиска и слежения с матричными приемниками излучения // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.- техн. сб. – Киев: НТЦ АСВ. – 2011. – № 3. – С. 34–39.
6. G.V. Bogatyryova, D.Yu. Kondratenko, Analysis of influence of plane-parallel plate on resolving power of Fourier spectrometer // Proc. SPIE - 2011 - V. 8338 - 8338 OJ. -P. 1-9.
7. Чернишов О.О., Фельде Х.В., Полянський П.В., Богатирьова Г.В. Нові поляризаційні сингулярності в частково-когерентних світлових пучках // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування». – 2011. – Вип. 41. – С. 11-22.
8. Колобродов В.Г., Харитоненко К.В. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування». – 2010. – Вип. 40. – С. 23-31.

9. Дейко А.В., Колобродов В.Г., Кучугура І.О. Тестування розділювальної здатності цифрових фотокамер // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Приладобудування». – 2010. – Вип. 40. – С. 64-71
10. Колобродов В.Г., Гордиенко В.И. // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.- техн. сб. – Киев: НТЦ АСВ. – 2010. – № 1(32). – С. 27–32.
11. Богатирьова Г.В., Чернишов А.А., Фельде К.В., Полянський П.В. Нові поляризаційні сингулярності в частково-когерентних світлових пучках // Вісник НТУУ «КПІ» серія Приладобудування. – 2010. – Вип. 39.
12. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І. Визначення просторового розділення космічного сканера // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2009. - №1. - С. 109 – 113.
13. Колобродов В.Г., Захарченко В.С. Использование вейвлет-преобразования для повышения качества изображения в системах обнаружения и прицеливания // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.- техн. сб. – Киев: НТЦ АСВ. – 2009. – № 3(32). – С. 27–32.
14. Bogatyryova G.V., Chernyshov A.A., Felde Ch.V., Polyanskii P.V. Some new experiments with scattering induced spectral changes // Proc. SPIE. – 2009. – V. 7388 0E. – P. 1-8
15. Богатирьова Г.В., Чернишов О.О., Фельде Х.В., Полянський П.В. Спектральні зміни білого світла, зумовлені розсіянням на шорсткій поверхні // Вісник НТУУ «КПІ» серія Приладобудування. – 2009. – Вип.37. – С.31-39
16. Богатирьова Г.В., Фельде Х.В., Чернишов О.О., Полянський П.В. Незвичайні векторні сингулярності в неоднорідно поляризованих оптичних полях // Вісник НТУУ «КПІ» серія Приладобудування. – 2009. – Вип. 38. – С.17-25
17. Bogatyryova G.V., Chernyshov A.A., Felde Ch.V., Polyanskii P.V. , Soskin M.S. Vector singularities of the combined beams assembled from mutually incoherent orthogonally polarized components // Journ. Of Optics A: Pure and Appl. Optics. – 2009. – V. 11, No. 9. – P. 1-8 (094010).
18. Богатырева Г.В., Чернышов А.А., Фельде К.В., Полянский П.В., Соскин М.С. Векторные сингулярности суперпозиции взаимно некогерентных ортогонально поляризованных пучков // Оптика и спектроскопия. - 2009. - Т. 107, № 4. - С.680-686
19. Колобродов В.Г., Голюк І.В. Проектування асферичних лінз Френеля із сферичним профілем // Збірник тез доповідей ІV наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД у майбутнє приладобудування». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2011.– С. 55
20. Колобродов В.Г., Власенко Ю.С. Проектування дифракційних оптичних елементів // Збірник тез доповідей ІV наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2011.– С. 52
21. Колобродов В.Г., Кучугура І.О. Стенд для вимірювання характеристик інтраокулярних лінз // Збірник тез доповідей ІV наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2011.– С. 67
22. Колобродов В.Г., Сірій Є.А. Використання оптичного кіноформа у спектральному діапазоні 8-12 мкм // Збірник тез доповідей ІV наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2011.– С. 80
23. Власенко Ю.С. Дифракционные линзы в офтальмологии // Збірник тез ІІІ наук.-техн. конференції «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2010.– С. 55
24. Колобродов В.Г., Кучугура І.О. Конструювання дифракційних лінз // Збірник тез ІІІ наук.-техн. конференції «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – Київ, НТУУ «КПІ». – 2010.– С. 72
25. Колобродов В.Г., Бурмака О.О. Проектування мультифокальних лінз для штучного кришталіка // Збірка тез доповідей ІІ наук.-техн. конференції студентів та

- аспірантів «Погляд в майбутнє приладобудування». – Київ, ПБФ НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 44–45
26. Колобродов В.Г., Півторак Д.А. Влияние процесса пространственно-частотной обработки оптического сигнала на градационные характеристики получаемого изображения // Збірка тез доповідей II наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «Погляд в майбутнє приладобудування». – Київ, ПБФ НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 39–40.
27. Колобродов В.Г., Новацький А.С. Гібридна інтраокулярна лінза // Збірка тез доповідей II наук.-техн. конференції студентів та аспірантів «Погляд в майбутнє приладобудування». – Київ, ПБФ НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 42–43.
28. Богатирьова Г.В., Якобчук О.О. Обробка інтерферограм // Збірник тез доповідей на II студентській науково-технічній конференції «Погляд в майбутнє приладобудування». – 2009. –С.30.

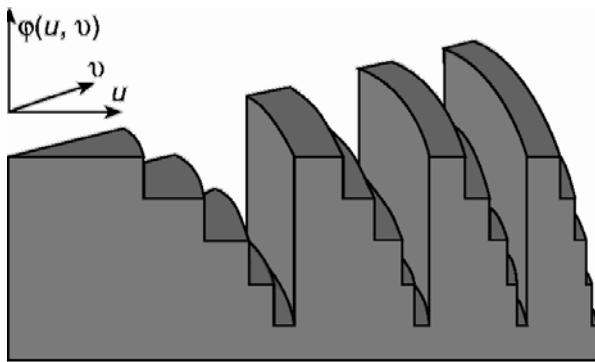


Рис. 1. Квантування фазової функції плоскої сферичної лінзи

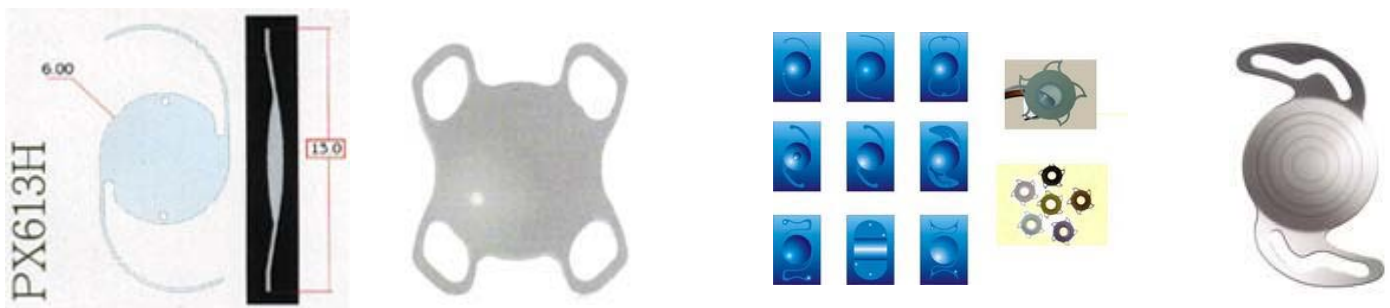


Рис. 2. Мультифокальні інтраокулярні лінзи

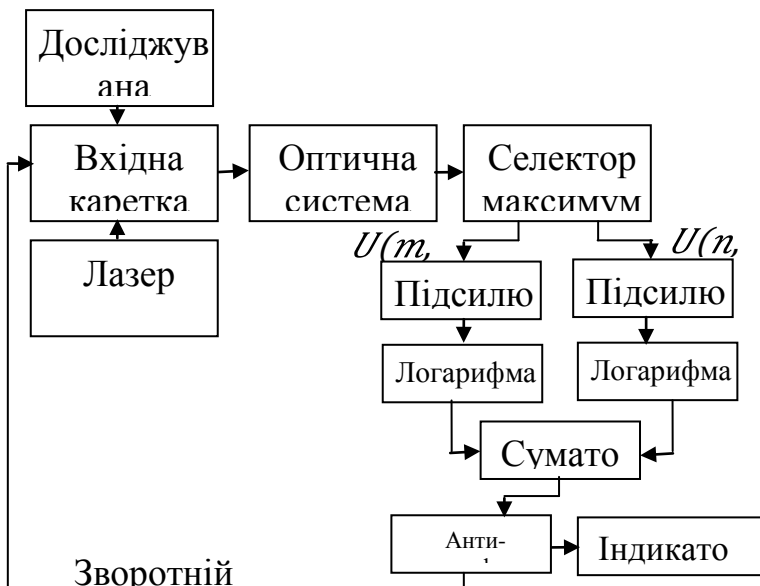


Рис.3. Функціональна блок-схема апаратурної реалізації амплітудного методу контролю квазіперіодичної структури