

Висновки та перспективи подальших досліджень. Створення логістичної інформаційної системи є складним і багатоплановим процесом, який є неможливим без попереднього створення інформаційно-комунікаційної системи підприємства загалом. Цей процес використовує всі досягнення сучасної інформаційної технології, новітні комп'ютерні технології, кожна з яких робить можливим успішне управління організацією взаємодії структурних підрозділів.

Логістична інформаційна система як механізм організації взаємодії структурних підрозділів дає нові можливості для організації необхідної інформації відповідно до конкретних потреб управлінського апарату підприємства.

Література

1. Крикавський Є.В. Логістика. Авторська концепція структури і зміст дисципліни. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://vns.lp.edu.ua/course/view.php?id=11233>.
2. Матусяк С.В. Інформаційні потоки в логістиці / С.В. Матусяк, П.В. Стасюк. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://intkonf.org/matusyak-sv-stasyuk-pv-informatsiyni-potoki-v-logistitsi>.
3. Мисковець О.В. Управління інформаційними потоками регіонального ринку праці та їх роль у розвитку регіону // Економічні науки : зб. наук. праць. – Сер.: Регіональна економіка. – Вип. 7 (27). – Ч. 1; відп. ред. д-р екон. наук, проф. З.В. Герасимчук. – Луцьк : Вид-во Луцьк. НТУ, 2010. – С. 122-128.
4. Березовський М.В. Застосування аспектів логістики в будівництві, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг України / М.В. Березовський, Л.В. Василенко, А.І. Данкевич, Л.В. Жанкевич. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Upsal/2008_5/08bnvohu.pdf.
5. Матвієнко О.В. Основи інформаційного менеджменту / О.В. Матвієнко. – К. : Вид-во "Либідь", 2004. – 236 с.
6. Тридід О.М. Логістика / О.М. Тридід. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://pidruchniki.ws/15800119/ekonomika/informatsiynye-zabezpechennya-efektivnoyi-vzayemodiy-elementiv-logistiki>.
7. Куш С.І. Логістика : конспект лекцій / С.І. Куш. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : Вид-во ХНАМГ, 2013. – 64 с.

Малиновский Ю.В., Ткач И.С. Управление составляющей коммуникационной системы предприятия как путь повышения информационного обеспечения логистики

Рассмотрено понятие информационно-коммуникационной системы, логистической информационной системы, информационное обеспечение логистического управления, формирования логистических информационных систем, элементы информационно-коммуникационной системы, виды логистических информационных систем, исследования информационных технологий логистического управления, также анализ проблем несвоевременности, недостоверности информации и отсутствия компьютерного обеспечения процессов управления предприятием, пути повышения информационного обеспечения логистики.

Ключевые слова: информационно-коммуникационная система, логистическое управление, логистические системы, информационные потоки, информационные технологии.

Malynovsky Yu.V., Tkach I.S. Management the Components of Enterprise Communication Systems as a Way to Improve Information Logistics Support

The concepts of the information and communication system, logistics information systems, the logistics management information support, the formation of logistics information systems, types of logistics information systems, the study of information technology logistics management, unreliability of information and lack of computer support logistics processes, and also ways to improve information logistics support are studied.

Keywords: logistics management, logistics systems, information systems, information flows, information technology.

УДК 535.4

Здобувач В.О. Марченко¹ –

НТУ України "Київський політехнічний інститут"

МУЛЬТИФОКАЛЬНІ ІНТРАОКУЛЯРНІ ЛІНЗИ ТА ЇХ ОСНОВНІ ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Оглянуто особливості структури і конструкції моно- і мультифокальних інтраокулярних лінз (ІОЛ) різних видів, а також порівняльний аналіз їх оптичних характеристик, які забезпечують якість бачення пацієнта.

Внаслідок проведених досліджень визначено переваги дифракційно-рефракційних мультифокальних ІОЛ за багатьма параметрами технологічності та якості зображення. Представлено функції розсіювання точки (ФРТ) гібридних ІОЛ із трикутним та бінарним фазовими профілями при різній глибині рельєфу. Наведено формулу розрахунку зовнішніх радіусів зон Френеля для діаметра зіниці до 3 мм. Показано, що амплітуда кожного з двох дифракційних максимумів лінз із трикутним профілем більша за амплітуду кожного з трьох максимумів бінарного профілю приблизно на 30 %, однак адапційні можливості сітківки ока людини можуть компенсувати таку різницю відносної інтенсивності дифракційних максимумів.

Подальші дослідження характеристик ІОЛ є актуальним науковим питанням і спрямовані на визначення оптичних параметрів, які забезпечують оптимальний розподіл світлової енергії між фокусами лінзи, шляхом комп'ютерного моделювання модуляційної передавальної функції (МПФ) дифракційно-рефракційних ІОЛ із різними фазовими профілями.

Ключові слова: катаракта, пресбіопія, інтраокулярна лінза (ІОЛ), дифракційний рельєф, фазовий профіль, функція розсіяння точки інтраокулярної лінзи.

Вступ. Здорове око людини формує на сітківці зображення високої якості. Ця здатність мало залежить від умов зовнішнього середовища завдяки можливостям адаптації та акомодатії ока – рефлекторної зміни кривизни його заломлюючих поверхонь, які визначають оптичну силу кришталика. Такі вади зору людини, як міопія, гіперметропія, пресбіопія, астигматизм, можливо зменшити за допомогою окулярів, контактних лінз або лазерної корекції зору. Однак у разі катаракти відбувається помутніння власного природного кришталика і виникає необхідність його заміни на штучний – інтраокулярну лінзу (ІОЛ) шляхом хірургічного втручання. ІОЛ забезпечує таку ж прозорість, як і здоровий кришталик, але око при цьому втрачає здатність до акомодатії.

Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, катаракта різних видів є одним із найпоширеніших у світі захворювань очей людини. Тому сьогодні актуальною проблемою усіх ведучих виробників ІОЛ є створення штучного кришталика ока людини, який за своїми оптичними характеристиками максимально наблизиться до природного.

Постановка задачі. У відомій на сьогодні літературі [1-3] питання класифікації та порівняння ІОЛ за принципом конструкції та оптичними характеристиками не розглянуте повною мірою. Тому метою дослідження є огляд і порівняльний аналіз видів та основних оптичних характеристик ІОЛ, які визначають якість зору пацієнта. Особливу увагу приділено трифокальним дифракційно-рефракційним лінзам, які надають розширені можливості побудови зображення.

¹ Наук. керівник: проф. В.Г. Колобродов, д-р техн. наук

Види та основні оптичні характеристики ІОЛ

1. *Монофокальні.* Монофокальні ІОЛ – це найпростіший тип лінз, які мають одну фіксовану фокусну відстань (рис. 1) і забезпечують чітке бачення, за вибором пацієнта, або віддалених, або розташованих близько предметів. Для корегування зору на інших відстанях використовуються окуляри.

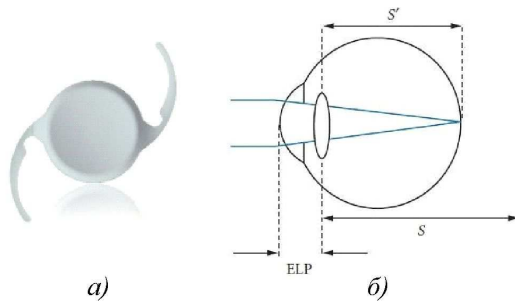


Рис. 1. Монофокальна ІОЛ: а) модель монофокальної ІОЛ із кріпленням; б) оптична схема ходу променів крізь око з монофокальною лінзою

Якість зображення, сформованого на сітківці, залежить від конструктивних параметрів лінзи, особливостей її установки, а також від параметрів ока пацієнта. Фокусна відстань *сферичної монофокальної ІОЛ* визначається за формулою геометричної оптики для тонких лінз у параксiальному наближенні (1):

$$\frac{1}{f'} = \frac{n - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1)$$

де: f' – фокусна відстань ІОЛ; n – показник заломлення матеріалу лінзи; n_1 – показник заломлення середовища; r_1 і r_2 – радіуси кривизни першої та другої поверхонь лінзи відповідно. У випадку монофокальної ІОЛ енергія, яка надходить від предмета, проходить крізь рогівку та імплантовану лінзу і концентрується у точці фокусу на сітківці (рис. 1, б).

Відомо, що рогівка ока людини має асферичні заломлюючі поверхні [4, 5]. Тому для підвищення якості бачення пацієнта використовуються також *асферичні монофокальні ІОЛ*. Асферична лінза підбирається індивідуально залежно від величини сферичної аберації рогівки кожного окремого пацієнта і забезпечує компенсацію цих аберацій (рис. 2).

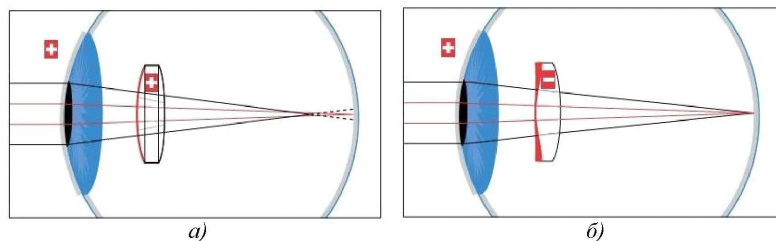


Рис. 2. Асферична монофокальна ІОЛ: а) побудова зображення сферичною монофокальною ІОЛ; б) компенсація аберацій рогівки асферичною поверхнею лінзи

Теоретичні та клінічні дослідження показують [6], що асферична ІОЛ забезпечує більш чітке зображення у фокусі завдяки кращій передачі просторових частот, ніж у сферичній лінзі (рис. 3).

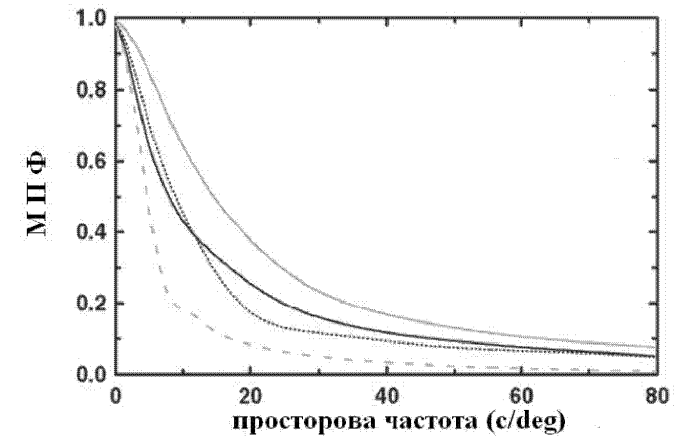


Рис. 3. МПФ ока із діаметром зіниці 4,5 мм у випадках імплантованих ІОЛ: — сферична ІОЛ у фокусі; сферична ІОЛ при дефокусуванні -1,5 дптр; — асферична ІОЛ у фокусі; - - - - асферична ІОЛ при дефокусуванні -1,5 дптр

2. *Мультифокальні.* Застосування мультифокальних ІОЛ (рис. 4) дає змогу часткової компенсації втрати здатності ока людини до акомодатії та зменшує необхідність післяопераційного корегування зору. У двофокальній лінзі один із фокусів переважно забезпечує чітке бачення віддалених об'єктів, а другий – об'єктів, які знаходяться на невеликій відстані 25-35 см. Як показує досвід, пацієнти із трифокальними ІОЛ бачать однаково добре вдалині, близько та на середніх дистанціях [7].

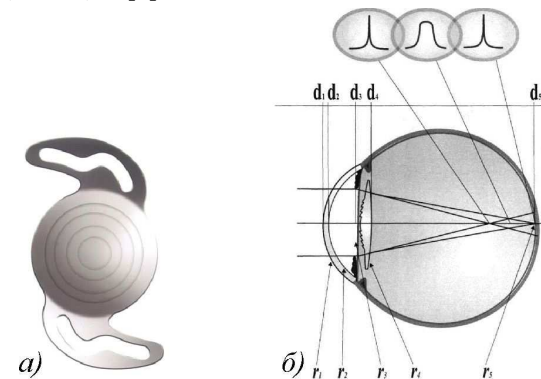


Рис. 4. Мультифокальна ІОЛ: а) модель мультифокальної ІОЛ із кріпленням; б) оптична схема ходу променів крізь око із дифракційною мультифокальною лінзою

Розділення енергії світлового потоку, який потрапляє у зіницю ока, поміж двома або трьома фокусами забезпечується різними конструктивними методами (рис. 5).

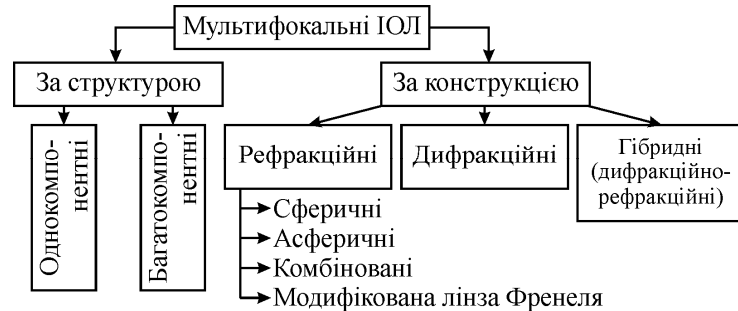


Рис. 5. Класифікація мультифокальних ІОЛ за структурою і конструкцією

У багатоконпонентних лінзах рефракційного типу мультифокальність досягається за рахунок ступінчастої зміни заломлюючої сили ІОЛ. Ця зміна забезпечується шляхом розділення оптичної поверхні на зони, які відрізняються за радіусом кривизни або на зони, які мають різний показник заломлення світла. Принциповим недоліком рефракційних мультифокальних ІОЛ є те, що за умови великої інтенсивності світла відбувається зменшення діаметра зіниці ока до діаметра центральної частини лінзи і її периферійна частина перестає пропускати світлову енергію, а отже, ІОЛ автоматично стає монофокальною.

Дифракційні ІОЛ відрізняються малою товщиною та вагою, порівняно з іншими лінзами, однак мають недоліки, зумовлені високим рівнем паразитарних засвічень, виникненням ореолів та різних хибних зображень.

Гібридні (дифракційно-рефракційні) ІОЛ складаються із рефракційної лінзи та нанесеної на неї дифракційної структури (аналогу зонної пластинки Френеля). Радіус кривизни рефракційної лінзи визначає положення максимуму 0-го порядку, який розташований ближче до сітківки і формує зображення віддалених предметів. Нанесений дифракційний профіль забезпечує наявність одного чи двох додаткових фокусів в –1-му та +1-му порядках дифракції, розподіл енергії між якими визначається конфігурацією та глибиною цього профілю. Відстань між максимумами, а отже, положення максимуму +1-го порядку на сітківці для ближнього бачення, регулюється радіусом кільцевих зон. Основною перевагою такої конструкції є те, що навіть за умови дуже яскравого освітлення залишаються відкритими принаймні два центральних дифракційних кільця і мультифокальність лінзи зберігається.

Поряд із чітким баченням дальнього, ближнього та середнього зору формується розфокусоване зображення, яке подавляється неусвідомленими процесами головного мозку людини [8]. Питання розробки гібридних ІОЛ сьогодні є найбільш актуальним, оскільки вони мають переваги з багатьох параметрів технологічності та характеризуються розширеними можливостями формування зображення.

Якість зображення гібридних мультифокальних ІОЛ із різними фазовими профілями

З погляду офтальмології інтенсивність світла в дифракційних максимумах, які виникають внаслідок його проходження крізь нанесені на рефракційну

лінзу дифракційні канавки, майже не поступається інтенсивності світла у фокусі монофокальної лінзи. Це досягається шляхом вибору оптимальної конфігурації та параметрів профілю дифракційних канавок. Профілі гібридних ІОЛ можуть мати бінарну, трикутну або суцільну форми (параболічну, гіперболічну, синусоїдальну...).

Згідно з теорією дифракції [9], для отримання максимумів найбільшої амплітуди, глибина кожної канавки фазового профілю має забезпечити додаткову різницю ходу вторинних хвиль в одну (повний профіль), половину або чверть довжини хвилі. Це необхідно для того, щоб компенсувати збільшення довжини шляху хвилі до точки спостереження за умови збільшення радіальної координати вторинного джерела від внутрішнього до зовнішнього краю кожної зони. Іншими словами, змінна глибина канавок компенсує зміну фази в межах однієї зони. Тоді всі хвилі і від сусідніх зон, і в межах однієї зони надходять в точку спостереження в однаковій фазі, що забезпечить підсилення максимумів.

За умови відсутності сферичної аберації, яка виконується у випадку досить малого діаметра зіниці – до 3 мм, зовнішні радіуси зон Френеля можна розрахувати за формулою (2):

$$r_k = \sqrt{2f' \cdot k \cdot \lambda}, \quad (2)$$

де: r_k – відстань дифракційної зони від центру лінзи (зовнішній радіус зони); f' – фокусна відстань лінзи; k – номер дифракційної зони; λ – конструктивна довжина хвилі.

На практиці для біфокальних лінз широко використовуються канавки трикутного профілю з різницею ходу в половину довжини хвилі $\lambda/2$ (рис. 6). Кожна канавка перекриває дві сусідні зони Френеля.

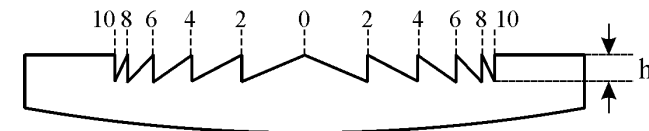


Рис. 6. Дифракційний рельєф з трикутним профілем: цифрами відзначено зовнішні краї парних зон Френеля; h – висота профілю

На рис. 7 показана функція розсіювання точки (ФРТ) ІОЛ або залежність розподілу світлової енергії між двома фокусами лінзи, при зміні глибини дифракційного профілю від 0 до деякого значення, яке відповідає максимальній величині максимуму +1-го порядку. Координата сітківки $X = 23,5$ мм. З графіків видно, що ця лінза може бути монофокальною, як у випадках а) та б), де присутній або переважає максимум 0-го порядку, а також в) та г), де присутній або переважає максимум +1-го порядку; або двофокусною, як у випадку д), де обидва максимуми приблизно рівні.

Канавки прямокутного (бінарного) профілю з різницею ходу в чверть довжини хвилі $\lambda/4$ можуть забезпечити наявність трьох фокусів ІОЛ (рис. 8).

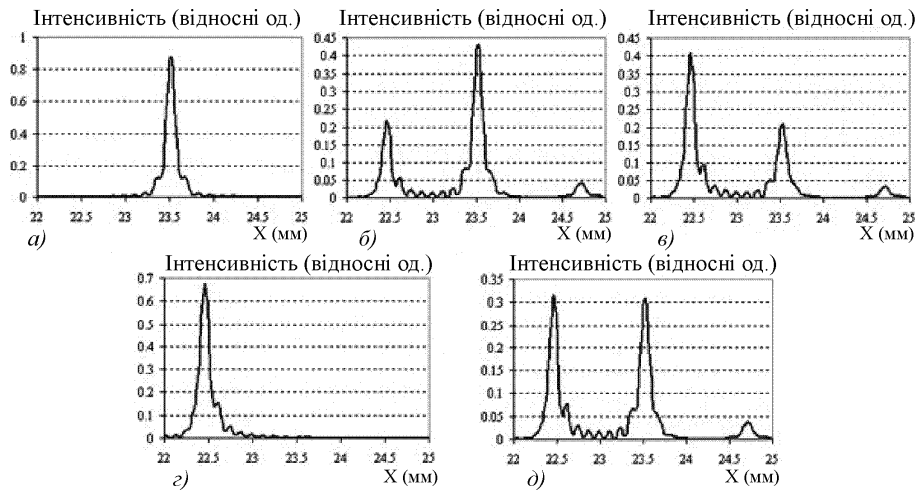


Рис. 7. ФРТ гібридної ІОЛ з трикутним дифракційним профілем при глибині канавок: а) $h = 0$; б) $h = 1,4$ мкм; в) $h = 1,95$ мкм; г) $h = 3,2$ мкм; д) $h = 1,69$ мкм

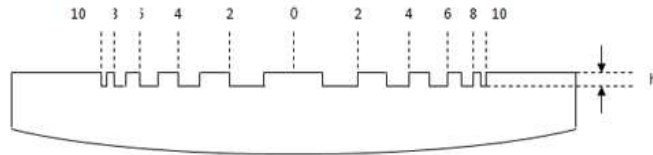


Рис. 8. Дифракційний рельєф з прямокутним профілем: цифрами відзначено зовнішні краї парних зон Френеля; h – висота профілю

Радіуси нанесених кільцевих зон ІОЛ розраховуються за принципом, аналогічним попередньому варіанту. Але, на відміну від трикутного профілю, у прямокутному рельєфі кожна канавка перекриває тільки одну зону Френеля. Тому для забезпечення необхідної кількості парних чи непарних зон потрібно нанести канавки з більшою частотою. Розподіл світлової енергії між фокусами визначається також глибиною канавок, яка для прямокутного рельєфу вдвічі менша за максимальну глибину трикутних канавок.

ФРТ гібридної лінзи з прямокутним профілем при різній глибині канавок представлена на рис. 9. Як і у випадку з трикутним профілем, монофокальною ця лінза є тоді, коли канавки відсутні або переважає максимум 0-го порядку, як у випадках а) та б). Два фокуси спостерігається, коли присутні або переважають два приблизно рівні дифракційні максимуми +1-го і -1-го порядків, як у випадках в) і г). Прямокутний профіль дифракційного рельєфу при певній розрахованій глибині може забезпечити три максимуми +1-го, 0-го і -1-го порядків – випадок д). Завдяки відносно рівномірному розподілу інтенсивності енергії та акомодативним властивостям сітківки ока така лінза є псевдоакомодативною трифокусною ІОЛ.

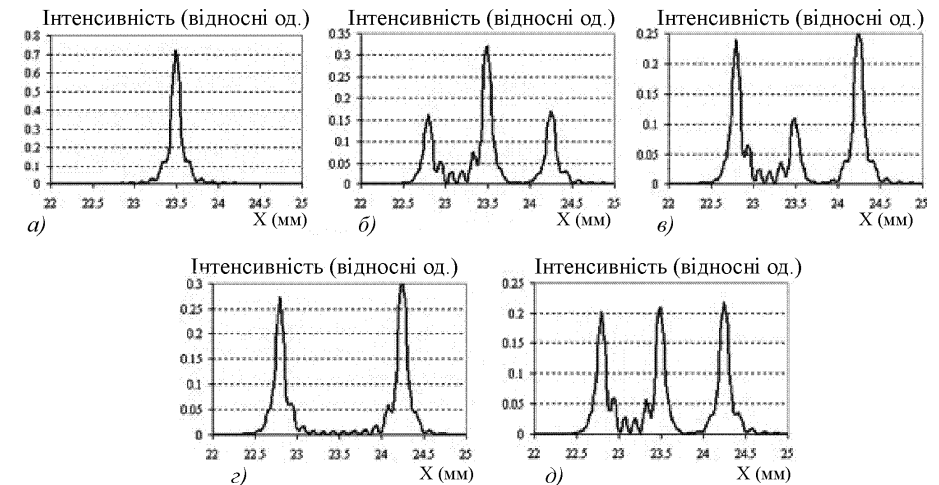


Рис. 9. ФРТ гібридної ІОЛ з прямокутним дифракційним профілем при висоті канавок: а) $h = 0$; б) $h = 0,9$ мкм; в) $h = 1,25$ мкм; г) $h = 1,7$ мкм; д) $h = 1,07$ мкм

Висновки. Результати проведеного дослідження показали, що сучасні світові досягнення забезпечують можливість розробки і виготовлення ІОЛ різних видів – від простих рефракційних монофокальних до дифракційно-рефракційних акомодативних трифокальних лінз.

Теорія дифракції дає змогу збільшувати кількість фокусів і далі, однак це навряд чи є доцільним у випадку ІОЛ, оскільки призведе до пропорційного зменшення відносної інтенсивності світлової енергії у кожному з фокусів. Окрім того, внаслідок наближення фокусів один до одного можуть виникнути похибки і завади зображення.

Метою подальшої роботи є визначення параметрів мультифокальної ІОЛ, які забезпечать оптимальний розподіл світлової енергії між фокусами, шляхом комп'ютерного моделювання дифракційно-рефракційної лінзи з різними видами та глибиною фазових профілів.

Література

1. Чередник В.И. Мультифокальные интраокулярные линзы / В.И. Чередник, В.М. Треушников // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 7. – С. 101-103.
2. Исаков И.А. К вопросу о конструктивных особенностях дифракционно-рефракционных интраокулярных линз : обзор / И.А. Исаков, О.В. Ермакова // Офтальмохирургия. – 2008. – № 3 – С. 27-29.
3. Коронкевич В.П. Новое поколение бифокальных дифракционно-рефракционных интраокулярных линз / В.П. Коронкевич, Г.А. Ленкова, В.П. Корольков, А.Г. Полещук, И.А. Исаков, А.С. Гутман // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 1. – С. 50-58.
4. Lotmar W. Theoretical eye model with aspherics / W. Lotmar // JOSA. – 1971. – Vol. 61, № 11. – Pp. 1522.
5. Мальцев Э.В. Биологические особенности и заболевания хрусталика / Э.В. Мальцев, К.П. Павлюченко. – Одесса : Изд-во "Астропринт", 2002. – 446 с.
6. Susana Marcos. Optical quality and depth-of-field of eyes implanted with spherical and aspheric intraocular lenses / Susana Marcos, Sergio Barbero, Ignacio Jimenez-Alfaro // Journal of Refractive Surgery, May, June. – 2005. – Vol. 21. – Pp. 23-27.

7. Valle P.J. Visual axial PSF of diffractive trifocal lenses / P.J. Valle, J.E. Oti, V.F. Canales, and M.P. Cagigal // Optics Express. – 2005. – Vol. 13, No. 7. – Pp. 2782-2792.
8. Ланг Герхард К. Офтальмология. Карманный справочник-атлас : пер. с англ. / Ланг Герхард К.; под ред. В.В. Нероева. – М. : Изд-во "Практическая медицина", 2009. – 837 с.
9. Годжаев Н.М. Оптика : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов] / Н.М. Годжаев. – М. : Изд-во "Выш. шк.", 1977. – 432 с.

Марченко В.А. Мультифокальные интраокулярные линзы и их основные оптические характеристики

Рассмотрены особенности структуры и конструкции моно- и мультифокальных интраокулярных линз (ИОЛ) различных видов, а также сравнительный анализ их оптических характеристик, обеспечивающих качество зрения пациента.

В результате проведенных исследований определен ряд преимуществ дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ по многим параметрам технологичности и качества изображения. Представлены функции рассеяния точки (ФРТ) гибридных ИОЛ с треугольным и бинарным фазовыми профилями при разной глубине рельефа. Приведена формула расчета внешних радиусов зон Френеля для диаметра зрачка до 3 мм. Показано, что амплитуда каждого из двух дифракционных максимумов ИОЛ с треугольным профилем больше амплитуды каждого из трех максимумов линз с бинарным профилем приблизительно на 30 %, однако адаптационные возможности сетчатки глаза человека могут компенсировать такую разницу относительной интенсивности дифракционных максимумов.

Дальнейшие исследования характеристик ИОЛ являются актуальной научной задачей и направлены на определение оптических параметров, которые обеспечивают оптимальное распределение световой энергии между фокусами линзы, с помощью компьютерного моделирования модуляционной передаточной функции (МПФ) дифракционно-рефракционных ИОЛ с разными фазовыми профилями.

Ключевые слова: катаракта, пресбиопия, интраокулярная линза (ИОЛ), дифракционный рельеф, фазовый профиль, функция рассеяния точки интраокулярной линзы.

Marchenko V.O. Multifocal Intraocular Lenses and Their Main Optical Characteristics

The aim of this article is a structured and design analysis of mono- and multifocal intraocular lenses (IOL) of different types and comparative research of their optical characteristics, which provide retinal image quality after implantation. Scientific analysis has shown a number of advantages of the diffractive/refractive multifocal IOLs, according to the different technological and image quality parameters. Point spread functions (PSF) of such type of IOLs with triangular and binary phase profiles with different profile depths were shown. Besides this, the mathematical equation for outer radiuses of Fresnel zones estimation was given for a pupil of a diameter less than 3 mm. Finally it is submitted that the amplitude of each of the two diffractive maximums of lenses with triangular profile is 30 % bigger than the amplitude of each of three diffractive maximums of binary profile. However, the adaptation abilities of human eye retina can compensate such a difference between relative intensity of the diffractive maximums. Further IOL' characteristics research has a significant scientific aim and may be carried out toward the determination of the optical parameters, which provide optimal light energy distribution at the focal plane of the eye. This can be done by means of computer simulations of the modulation transfer function (MTF) of diffractive/refractive IOL with different phase profile forms.

Keywords: cataract, presbyopia, intraocular lens (IOL), diffractive profile form, phase profile, point spread function of intraocular lens.

УДК 004.942:537.86/87

Доц. В.В. Гоблик, канд. фіз.-мат. наук;
асист. І.В. Ничай, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ПРО ВПЛИВ КРАТНОСТІ ПЕРІОДУ НА ДІАГРАМУ НАПРЯМЛЕНОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРИ

Розглянуто вплив кратності періоду модуляції діелектричної проникності плоскої структури на просторовий розподіл електромагнітного поля. Запропоновано математичну модель та наведено результати розрахунку. Виявлені особливості формування поля випромінювання пластиною для випадку модуляції діелектричної проникності двома кратними періодичними послідовностями прямокутних функцій, накладених одна на одну. Показано, що двократна модуляція діелектричної проникності пластини сприяє появі нових ефектів випромінювання поля, пов'язаних з формою профілю та періодом слідування неоднорідностей.

Ключові слова: періодична діелектрична структура, подвійна періодичність, електромагнітне поле, математична модель.

Періодичні структури (ПС) є предметом детальної уваги дослідників різних галузей знань [1, 2]. Їх використовують для побудови антен, радіоінтерферометрів, оптичних фільтрів тощо [3]. Проте потенційні можливості ПС для створення інфокомунікаційних пристроїв вивчені ще не повною мірою. Зокрема, не розглянуто питання дослідження впливу кратності періоду модуляції структури на просторовий розподіл поля. Оскільки період структури є одним із важливих параметрів, зміна якого може істотно вплинути на електродинамічні властивості структури, задача, поставлена у цій роботі, є актуальною.

Основні математичні співвідношення. Структура, властивості якої досліджено у цій роботі, представляє собою плоску періодично-неоднорідну діелектричну пластину.

У загальному випадку, розподіл діелектричної проникності структури задамо таким виразом [2]:

$$\epsilon'(y) = \epsilon'_{a0} + \sum_{i=1}^N \epsilon'_{aMi} \sum_{n_i=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{y - n_i d_i}{\Delta}\right), \quad (1)$$

де: d_i – період просторової модуляції структури; N – число накладених одна на одну кратних періодичних послідовностей прямокутних функцій; Δ – ширина неоднорідності; $\epsilon'_{a0}, \epsilon'_{aMi}$ – комплексна діелектрична проникність пластини та її неоднорідностей [3].

Нехай діелектрична пластина в системі координат (x, y, z) збуджується нитковидним джерелом струму:

$$I_x^M(y, z) = I_{x0}^M \delta(y-0) \delta(z-0). \quad (2)$$

Спектральна густина джерела поля визначається таким чином [3]:

$$F(\chi) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\frac{\chi^2}{i\omega\epsilon'_a} j_z^e - i\chi \left(\frac{\pm\sqrt{\chi^2 - k^2}}{i\omega\epsilon'_a} j_y^e + j_x^M \right) \right] \times e^{i\chi y' \mp \sqrt{\chi^2 - k^2} z'} dy' dz', \quad (3)$$

де S – площа перетину області, яку займає джерело струму, площиною $X=\text{const}$.

У роботі [4] побудовано математичну модель (ММ) у вигляді інтегрального рівняння (ІР) Фредгольма другого роду модульованої діелектричної струк-