

простору об'єктів. Очевидно, що такі умови вимагають зміни алгоритму комплексування зображень.

Висновки

У цій роботі були розраховані параметри вхідних сигналів ТВ і ТПВ каналів ОЕСС для моделі спостереження алюмінієвої пластини на фоні піску за різних умов функціонування. Показано, що при майже незмінних контрастах в ТВ каналі, контраст в ТПВ сигналі може зазнавати різких змін і не можна користуватись однаковими методами комплексування при різних умовах.

У подальшому планується розробити пропозиції щодо схемотехнічних рішень вхідних блоків ТВ та ТПВ каналів, що дозволять суттєво вирівняти діапазони вхідних сигналів за різних умов функціонування двохспектральної ОЕСС і уніфікувати застосовані методи комплексування зображень.

Література

1. Коротаев В. В. Основы тепловидения: / В. В. Коротаев, Г. С. Мельников, С. В. Михеев. – Учебное пособие: Национальный исследовательский университет; Санкт-Петербург, 2012. – 109 с.
2. Тарасов В. В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения: / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 192 с.
3. Young S. S. Signal processing and performance analysis for imaging systems / S. S. Young, R. G. Driggers, E. L. Jacobs. – Artech House Publisher, New York, 2008. – 304 p.

*Надійшла до редакції
16 червня 2014 року*

© Микитенко В. І., Балтабаєв М. М., Пономаренко О. А., 2014

УДК 681.7.067

РОЗРОБКА ОБ'ЄКТИВА ЗІ ЗМІННОЮ ФОКУСНОЮ ВІДСТАННЮ, ЩО МІСТИТЬ РІДИННІ ЛІНЗИ

¹⁾Сокурєнко В. М., ^{1),2)} Парпіїєв Т. А.

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, ²⁾Університет Мена, Ле Ман, Франція
sokurenko2@meta.ua, parpiiev.tymur@gmail.com

За допомогою спеціального програмного забезпечення в автоматизованому режимі було спроектовано малогабаритну панкратичну оптичну систему без механічних рухомих елементів з використанням рідинних лінз. Отримані абераційні характеристики цілком задовольняють вимоги до об'єктивів такого класу та дозволяють використовувати розроблену оптичну систему з існуючими матричними приймачами випромінювання.

Автоматизацію розрахунку було забезпечено застосуванням одного з алгоритмів глобальної оптимізації, які в цілому, є потужними інструментами, що дозволяють здійснити автоматизований параметричний синтез складних оптичних систем. Час, витрачений на проектування об'єктива, є прийнятним, оскільки не перевищує декількох годин. Ефективність синтезу значною мірою залежить від формування оціночної функції на стадії введення

ня вихідних даних, зокрема, від встановлення прийнятних конструктивних обмежень та діапазону зміни збільшення.

Ключові слова: рідка лінза, панкратична оптична система, автоматизований розрахунок, глобальна оптимізація.

Вступ

В останні роки стрімко почала розвиватись галузь техніки пов'язана з проектуванням, виготовленням та впровадженням рідинних лінз у різні пристрої, в першу чергу, малогабаритні оптичні системи (ОС), що засвідчується новими розробками, патентами та публікаціями таких всесвітньо відомих брендів як Samsung, Varioptic, Optotune тощо [1-4].

Рідинна лінза – це комірка з прозорими торцями, як правило заповнена двома рідинами(рідше повітрям та рідиною), які проводять та не проводять електричний струм та мають різні коефіцієнти заломлення. Провідна рідина відштовхується від гідрофобного покриття, збираючись у півсферу, так що непровідна утворює негативну лінзу. Напруга, подана на комірку ззовні через електроди, змінює кривизну поверхні а, отже, й фокусну відстань лінзи (лінза може перетворитися з розсіювальної в збиральну).

Основними перевагами рідинних лінз є надійність, відсутність рухомих частин, невелика інерційність, низьке енергоспоживання та відносно малі розміри. За допомогою таких лінз можна створювати малогабаритні системи миттєвого фокусування. Область застосування таких систем необмежена, проте серед основних напрямків слід зазначити об'єктиви для мобільних пристроїв та мініатюрні ОС зі змінною фокусною відстанню.

Варіанти розробок систем зі змінною фокусною відстанню

До відомих розробок можна віднести оптичну схему об'єктива змінного збільшення, представлена в заявці на патент США 2007/0247727 A1 фірми Samsung Electro-Mechanics Co., LTD [1]. Перша група лінз цього об'єктива, закріплена стаціонарно, має негативну оптичну силу та складається, як мінімум, з однієї лінзи та призми. Друга лінзова група, що має позитивну оптичну силу, є рухомою вздовж осі для виконання функції зумування (зміни збільшення). Третя група лінз містить рідинну лінзу, утворену з двома рідинами. Вона використовується для зумування та виправлення аберацій, що дозволяє досягти більш чіткого зображення (кращої роздільної здатності).

Як видно з рис. 1, в об'єктиві використовується одна призма та сім лінз, одна з яких є рідинною. Авторам вдалося досягти досить хороших абераційних характеристик. До недоліків такої системи слід віднести наявність рухомої лінзової групи, що буде ускладнює конструкцію.

Серед відомих розробок можна також зазначити патент США 8154805 B2 компанії BlackeyeOptics, LLC [2]. Представлена в ньому ОС може використовуватися для заміни панкратичних систем, що використовують механічні рухомі частини та потребують застосування механічних приводів та значного простору. У зазначеному патенті ОС складається з декількох лінзових груп (див. рис. 2), кожна

з яких містить по одній рідинній лінзі. Недоліком вищеописаної системи є використання значної кількості елементів.

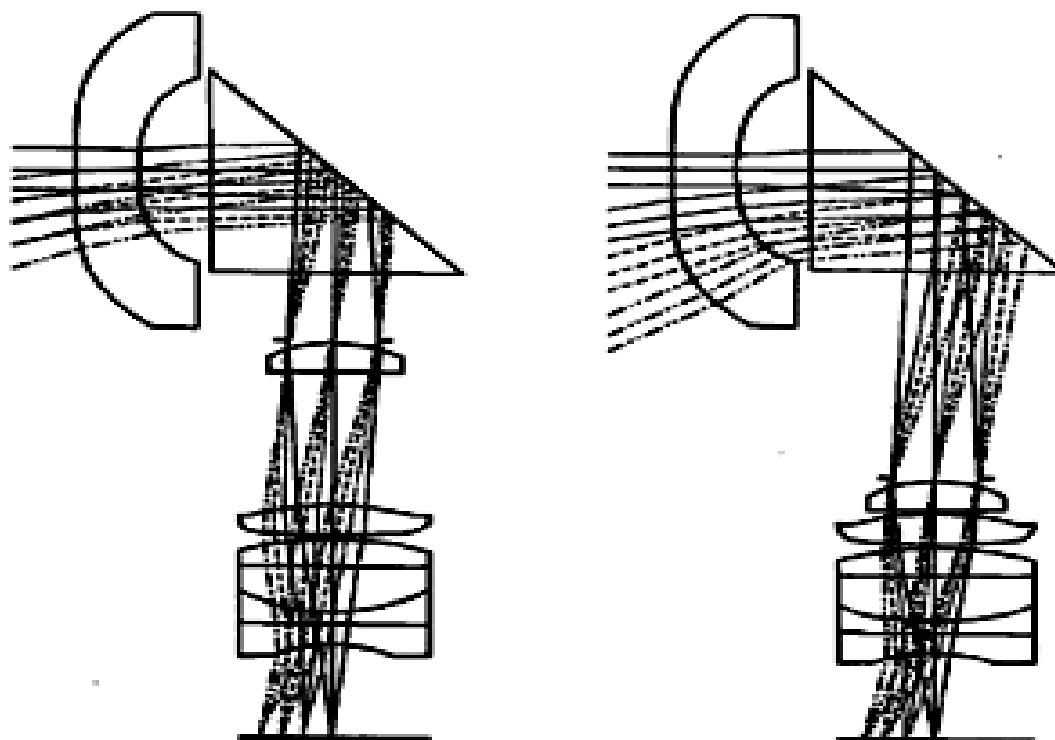


Рис. 1. Хід променів в об'єктиві змінного збільшення фірми Samsung Electro-MechanicsCo., LTD [1]

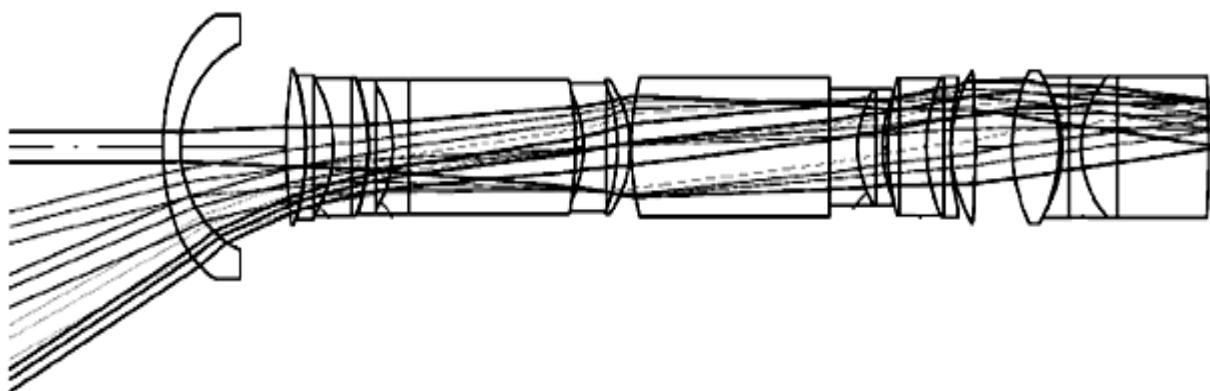


Рис. 2. Хід променів у ОС зі змінною оптичною силою компанії BlackeyeOptics, LLC [2]

Постановка задачі

Метою даної роботи є перевірка можливості автоматизованого розрахунку ОС зі зміною фокусною відстанню та з використанням рідинних лінз за допомогою програмного забезпечення власного виробництва та вбудованої в нього функції глобальної оптимізації.

У процесі глобальної оптимізації програма має автоматично визначити радіуси кривизни, матеріали скляних лінз, що вибираються з обраних каталогів, осьові повітряні проміжки та товщини лінз, а також положення апертурної діафрагми.

Водночас, реалізовані алгоритми глобальної оптимізації повинні гарантовано забезпечувати дотримання заданих користувачем граничних умов (наприклад, фізичних розмірів рідинних лінз, діапазонів на значення параметрів тощо). Отже, в результаті автоматизованого проектування, яке триватиме, зазвичай, декілька годин, можна сподіватися на отримання реальної ОС з заданими параметрами та без рухомих елементів.

Загальна послідовність автоматизованого розрахунку

На початку процесу проектування пропонується ввести в програму основні вихідні дані, а саме загальну структуру оптичної системи (кількість поверхонь, середовищ, матеріали рідинних лінз, орієнтовне розташування «звичайних» лінз з введенням їх параметрів як плоско-паралельних пластинок тощо). На другому етапі відбувається формування оптимізаційної моделі, тобто вибір конструктором параметрів оптимізації, встановленням діапазонів на ці та інші параметри, завдання оціночної функції (наприклад, функції мінімізації середньоквадратичного радіусу плями розсіювання у всіх проміжних станах).

Наступний етап є найтривалішим та передбачає проведення процесу глобальної оптимізації за одним із закладених у програму алгоритмів (імітаційним відпадом, генетичним алгоритмом, методом диференційної еволюції або їх модифікаціями [5-12]).

Нарешті, остаточного вигляду ОС набуває після проведення локальної оптимізації (так званого «тонкого доведення») за допомогою, наприклад, поширеного в оптиці демпфованого методу найменших квадратів. Таким чином, загальний підхід до розв'язання поставленої задачі розрахунку можна пояснити схемою, представленою на рис. 3.

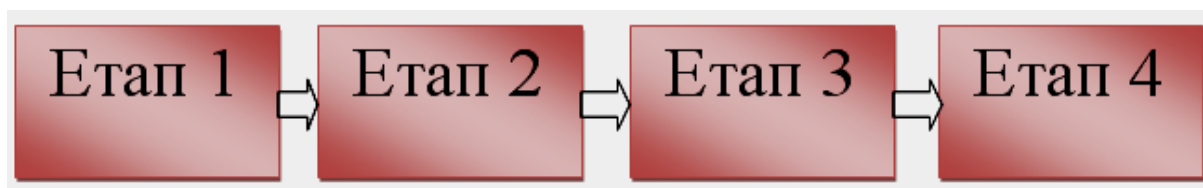


Рис. 3. Схема, що пояснює процедуру автоматизованого розрахунку ОС, застосовану у роботі, де: Етап 1 – завдання вихідних даних, 2 – формування оптимізаційної моделі, 3 – глобальна оптимізація (ГО), 4 – локальна оптимізація (ЛО)

Результати автоматизованого розрахунку

Для параметричного синтезу ОС зі змінною фокусною відстанню з застосуванням двох рідинних лінз було вибрано такі вхідні параметри:

- спектральний діапазон: 0.48...0,64385 мкм;
- кутове поле зору в просторі предметів: від 10 до 20° (5 станів);

- лінійний розмір зображення: 6 мм (по діагоналі, для матричних фотоприймачів формату 1/3");
- каталог марок скла: SCHOTT;
- тип рідинних лінз: EL-10-30 компанії Optotune [13].
- максимальний світловий діаметр рідинної лінзи: 10 мм;
- допустимий діапазон кривизни поверхні рідинної лінзи: $0.076..0.0285 \text{ мм}^{-1}$;
- відстані між поверхнями, матеріали середовищ та покривних скляних пластин рідинних лінз, задані виробником;
- діаметр апертурної діафрагми: 3 мм;
- максимальне віддалення площини зображення: 15 мм та ін.

Як основний алгоритм глобальної оптимізації було обрано одну з останніх модифікацій методу диференціальної еволюції [8-12]. Це прямий метод багатовимірної математичної оптимізації, що відноситься до класу стохастичних алгоритмів оптимізації (працює з використанням випадкових чисел), використовує ідеї генетичних алгоритмів та потребує можливості обчислення значення лише цільової функції, але не її похідних. Розмір популяції на кожну зміну встановлено рівним 20. Загальна кількість пошукових параметрів становила 33.

Оптична схема отриманого об'єктива представлена на рис. 4, а його конструктивні параметри – в табл. 1 (для стану з кутом поля зору 15°). Для оцінки якості зображення на рис. 5 і 6 представлено отримані точкові діаграми для основної довжини хвилі та в широкому спектральному діапазоні в одному зі станів ОС (подібні значення аберацій мають місце й для інших кутів поля зору).

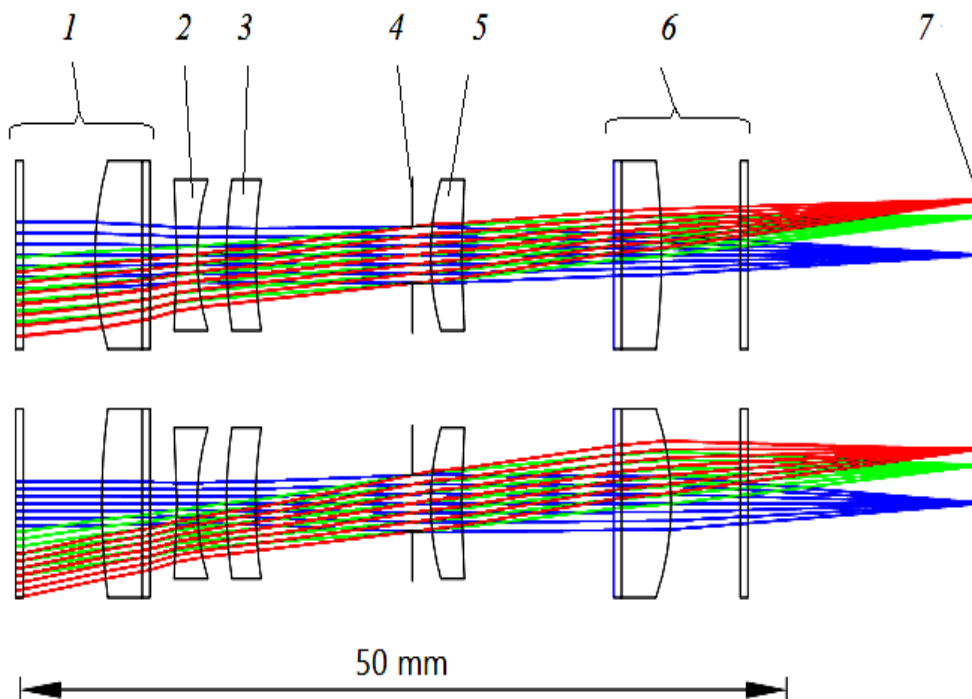


Рис. 4. Хід променів у розробленій системі, де: 1 – перша рідинна лінза; 2, 3 – лінзи; 4 – апертурна діафрагма; 5 – лінза; 6 – друга рідинна лінза; 7 – площина зображення

Таблиця 1. Конструктивні параметри розробленого об'єкта

Номер поверхні	Радіус, мм	Товщина, мм	Середовище	Світлова висота, мм
1	∞	0,5	N-BK7	5
2	∞	4,882*		5
3	20,54*	2,868*	OL0901_UV_VIS_NIR	5
4	∞	0,5	N-BK7	5
5	∞	1,766		5
6	-42,667	1,31	LITHOSIL-Q	4
7	11,689	1,91		4
8	22,396	1,9	N-BALF5	4
9	22,094	10,23		4
10	∞	1,2		1,5
11(АД)	12,388	2	N-PK52A	4
12	38,896	9,95		4
13	∞	0,5	N-BK7	5
14	∞	3,02*	OL0901_UV_VIS_NIR	5
15	-16,578*	4,73*		5
16	∞	0,5	N-BK7	5
17	∞	15		5

Примітка. Позначкою * вказані змінні параметри ОС.

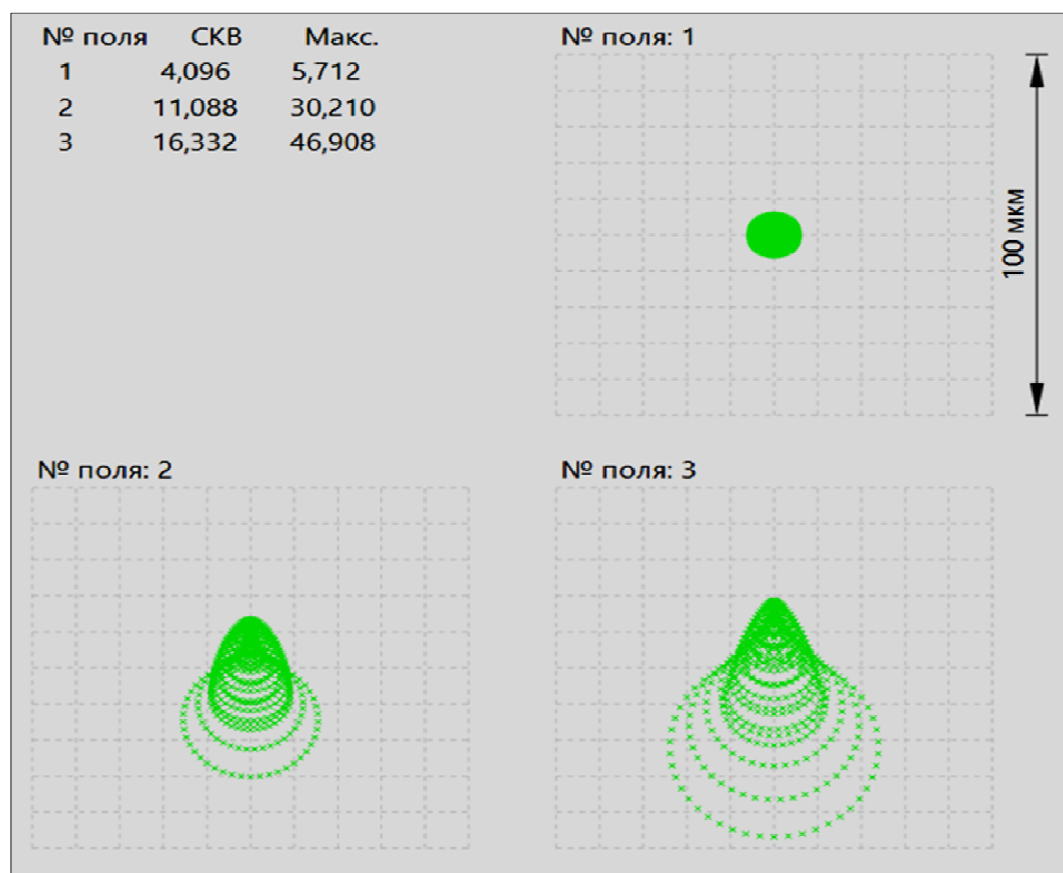


Рис. 5. Точкові діаграми отриманої ОС для стану з кутом поля зору 15° та основної довжини хвилі (0,54607 мкм): поле №1 – на оптичній осі; поле №2 – в зоні 0,7; поле №3 – на периферії

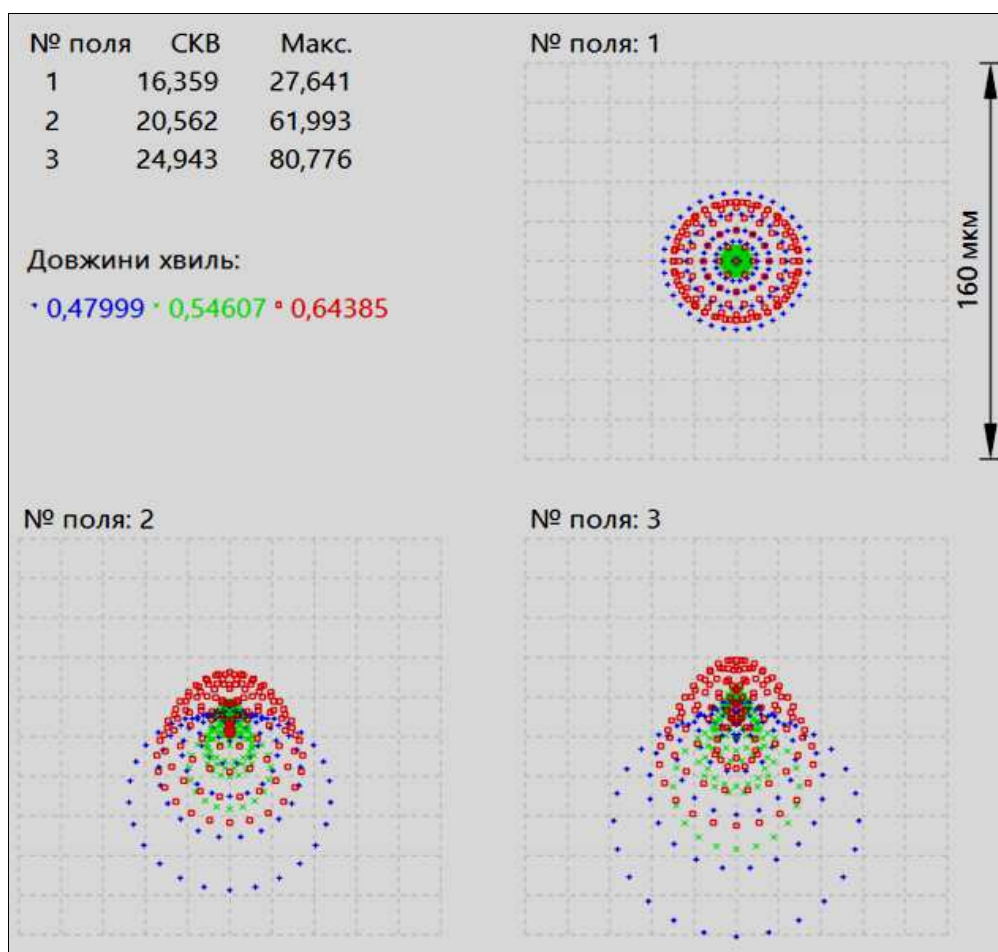


Рис. 6. Точкові діаграми отриманої ОС для стану з кутом поля зору 15° в широкому спектральному діапазоні: поле №1 – на оптичній осі; поле №2 – в зоні 0,7; поле №3 – на периферії

Як видно з рис. 5 і 6, розроблена ОС добре виправлена для основної довжини хвилі, однак потребує покращення для крайніх довжин хвиль. Для коригування аберації хроматизму, очевидно, потрібно застосувати під час глобальної оптимізації більш широкий діапазон марок скла та/або більшу кількість лінз.

Висновки

1. За допомогою спеціального програмного забезпечення в автоматизованому режимі було спроектовано панкратичну ОС без механічних рухомих елементів з використанням рідинних лінз. Отримані абераційні характеристики цілком задовольняють вимоги до об'єтивів такого класу та дозволяють використовувати розроблену ОС з існуючими матричними приймачами випромінювання.

2. В цілому, сучасні алгоритми глобальної оптимізації є потужним інструментом, що дозволяє здійснити автоматизований параметричний синтез складних ОС. Час, витрачений на проектування об'єктива, є прийнятним, оскільки не перевищує декількох годин.

3. Ефективність синтезу значною мірою залежить від формування оціночної функції на стадії введення вихідних даних, зокрема, від встановлення прийнятних конструктивних обмежень та діапазону зміни збільшення.

4. Подальші дослідження доцільно направити на використання рідинних лінз інших типів, наприклад, тих, що мають різні за знаком фокусні відстані, безповітряні оптичні середовища усередині та більші діапазони зміни оптичної сили.

Література

1. US patent Application 2007/0247727 A1 (2007). Zoom optical system having liquid lens/ Samsung Electro-Mechanics Co., LTD. – 2007. – 31 p.
2. US patent 8154805 B2 (2012) Variable power optical system/Blackeye Optics, LLC. – 2012. – 14 p.
3. Arctic 316 Product Datasheet [Website]. – Access mode: <http://www.varioptic.com/products/variable-focus/arctic-316/>. – The name from the screen. – Date of treatment: 20.04.14.
4. Liquid Lens Technology [Website]. – Access mode: <http://www.cognex.com/liquid-lens.aspx?pageid=11382&langtype=1033>. – The name from the screen. – Date of treatment: 30.04.14.
5. Пантелеєв А. В. Метаевристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М.: MAI-PRINT, 2009. – 160 с.
6. Bertsimas G and Tsitsiklis J. Simulated Annealing. *Statistical Science*, 1993. Vol. 8, No. 1, pp. 10-15.
7. Haupt R. and Haupt S. *Practical Genetic Algorithms*. 2004. 253 p.
8. Storn R., Price K. Differential Evolution - a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization*, Kluwer Academic Publishers. 1997, Vol. 11, pp. 341-359.
9. Feoktistov V. *Differential Evolution In Search of Solutions*. Series: Springer Optimization and Its Applications. 2006. Vol. 5. 195 p.
10. Kumar P., Pant M., and Singh V. P. Two Self-Adaptive Variants of Differential Evolution Algorithm for Global Optimization // *International Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. 2012, Vol. 8, No. 3, pp. 22-34.
11. Huang Zh., Wang Ch, and Ma M. A Robust Archived Differential Evolution Algorithm for Global Optimization Problems. *Journal of Computers*, 2009, Vol. 4, No. 2, pp. 160-167.
12. Peng L. et al. A Novel Differential Evolution with Uniform Design for Continuous Global Optimization. *Journal of Computers*, 2012, Vol. 7, No. 1, pp. 3-10.
13. Fast electrically tunable lens EL-10-30 [Website]. – Access mode: <http://www.optotune.com/products/focus-tunable-lenses/electrical-lens-el-10-30-37>. The name from the screen. – Date of treatment: 10.04.14.

*Надійшла до редакції
15 травня 2014 року*

© Сокурєнко В. М., Парпїєв Т. А., 2014