

**УДК 681.7.067.324**

*Ларін О.Є., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ОКУЛЯРА З ВІДДАЛЕНОЮ ЗІНИЦЕЮ**

**Анотація.** В роботі здійснено автоматизований параметричний синтез оптичної системи окуляра за допомогою сучасного методу глобальної оптимізації. Окуляр має кутове поле зору  $33^\circ$  та призначений для роботи з кольоровим мікродисплеєм формату 0,7 дюйма і віддаленням зіниці ока 50 мм. Результати розрахунку свідчать про досягнуту високу якість корекції аберацій.

**Ключові слова:** окуляр, віддалення зіниці, мікродисплей, оптична система, аберація, якість зображення.

### **ВСТУП**

Для сучасної бронетехніки важливо мати конструкції оптичних систем (ОС) спостереження або наведення, які б були компактними, зручними та безпечними для оператора. Зазвичай, класичний підхід потребує розташування окулярних модулів біля дійсного зображення, утвореного попередньою частиною ОС (об'єктивом та обертальною системою) [1]. Крім того, до ОС окулярів часто висувають обґрунтовану вимогу суттєвого віддалення зіниці. Для багатьох приладів віддалення зіниці має перевищувати 40...50 мм. Це зумовлює відповідну конструкцію і розташування окулярних частин приладів та ускладнює виконання вищезазначених вимог.

Для забезпечення довільного розташування окулярного модуля раціонально використовувати цифрову техніку, а саме мікродисплеї. Найбільш довершені сучасні зразки базуються на органічних світлодіодних технологіях (OLED) [2-4]. Перевагами OLED-мікродисплеїв є висока роздільна здатність, компактність, мале енергоспоживання та велика яскравість.

Незалежно від закладеної технології функціонування, сучасні мікродисплеї потребують застосування високоякісних ОС окулярів з значним віддаленням вихідної зіниці та заданим видимим збільшенням. Параметричному абераційному синтезу ОС багатолінзового окуляра, призначеного для роботи з OLED-мікродисплеєм, й присвячена дана робота.

Зазвичай, під час розрахунку ОС окулярів багатьох візуальних приладів типу мікроскопів та телескопів намагаються досягти найвищої якості зображення для предметної точки на осі. Тому якість зображення на периферії поля зору виявляється значно нижчою. Окуляри, призначені для роботи з мікродисплеями, мають забезпечувати високу роздільну здатність по всьому полю зору.

Для розрахунку ОС окулярів відомі декілька методів [4, 5]. На жаль, вони дають якісні результати лише для ОС з помірними значеннями поля зору та відносного отвору, потребують від розробника ОС досвіду та/або наявності стартової ОС, наближеної до оптимального розв'язку. На сьогодні відсутні аналітичні методи розрахунку ОС багатолінзових ОС, в тому числі окулярів. Тому стверджувати, що ця проблема повністю вирішена, не можливо.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Задачею даного дослідження є розробка високоякісної ОС окуляра з віддаленою зіницею, призначеного для роботи з сучасним зразком

різнокольорового OLED-мікродисплея.

### СУЧАСНІ МОДЕЛІ МІКРОДИСПЛЕЇВ

На рис. 1 представлені сучасні комерційні зразки OLED-мікродисплеїв, розроблені провідними світовими компаніями [7–9]. Розмір їх діагоналей знаходиться в межах від 0,6" до 1", роздільна здатність – від 1280×1024 до 4094×2464, кількість пікселів – від 1,3 МП до 10 МП, а розмір пікселів – від 3 до 9 мкм.

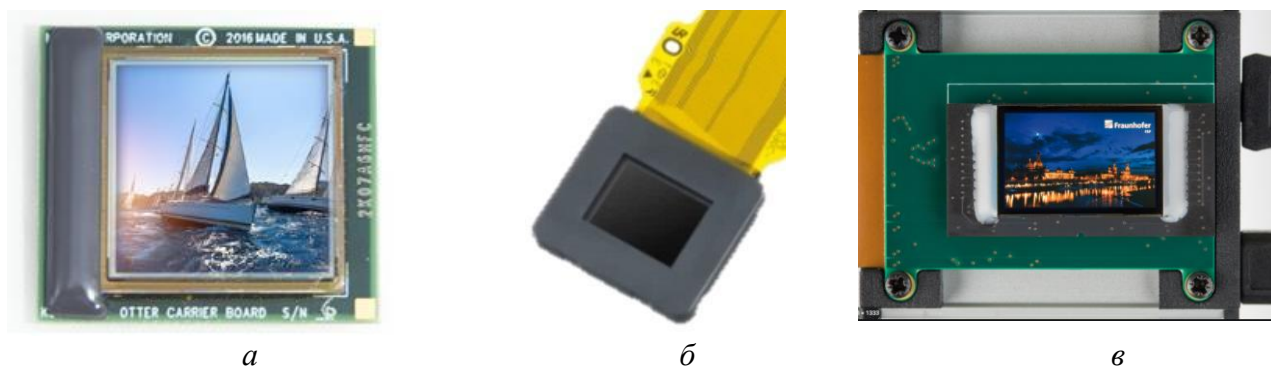


Рисунок 1. Сучасні мікродисплеї провідних виробників [8–10]: а – Korin 2K OLED; б – Sony ECX339A; в – LOMID Fraunhofer

### ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ОКУЛЯРА

В даній роботі було здійснено параметричний абераційний синтез ОС шестилінзового окуляра, призначеного для функціонування у видимому спектральному діапазоні 0,47...0,65 мкм. Для визначеності було обрано мікродисплей формату 0,7 дюйма, діаметр вихідної зіниці – 5 мм, віддалення вихідної зіниці від останньої оптичної поверхні – 50 мм.

Методика розрахунку зводилась до автоматизованого параметричного синтезу ОС в програмному забезпеченні PODIL з використанням вбудованих алгоритмів глобальної оптимізації.

Початкова ОС задавалась у формі плоско-паралельних пластин. Значення радіуса кривизни останньої оптичної поверхні визначалось програмою автоматично за заданим фіксованим кутом з оптичною віссю вихідного апертурного променя осьового пучка. Це дало змогу забезпечити сталі значення задньої фокусної відстані окуляра (30 мм) під час пошуку розв'язку.

Для розрахунку були встановлені такі обмеження на:

- осьові товщини лінз: від 2,8 до 10 мм;
- повітряні проміжки: від 0,1 до 3 мм;
- мінімальну товщину лінз на краю: 2 мм;
- максимальне значення загальної товщини: 100 мм;
- максимальне значення відносної дисторсії по полю: 0,5 %;
- допустиме віддалення площини зображень: 7...12 мм.

Під час розрахунку марки скла обиралися програмою автоматично з каталогу "CDGM". Для склесених лінз додатково контролювалася абсолютна різниця температурних коефіцієнтів розширення суміжних марок скла (для

роботи в широкому температурному діапазоні ця різниця не повинна була перевищувати  $3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Оптична схема розробленого окуляра представлена на рис. 2. Окуляр має кутове поле зору в просторі зображень  $33^\circ$  та видиме збільшення дорівнює  $8,33\times$ .

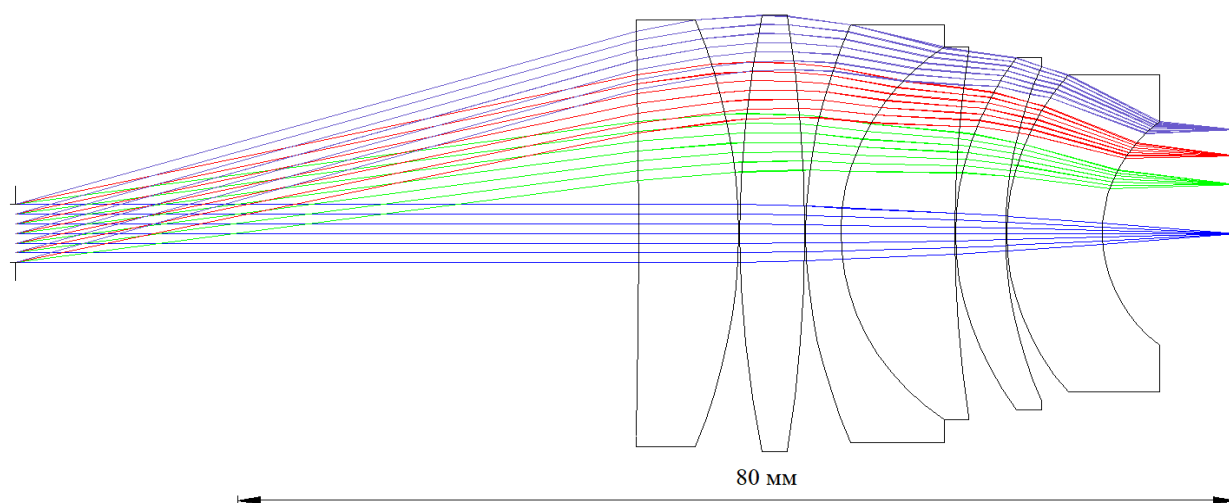


Рисунок 2. Оптична схема синтезованого окуляра з віддаленою зіницею (схема показана в зворотному ході променів)

Досягнуту якість корекції аберацій можна оцінити за графіками поліхроматичних модуляційних передавальних функцій для різних точок поля зору, приведеними на рис. 3. Максимальне значення відносної дисторсії не перевищує 0,5 %.

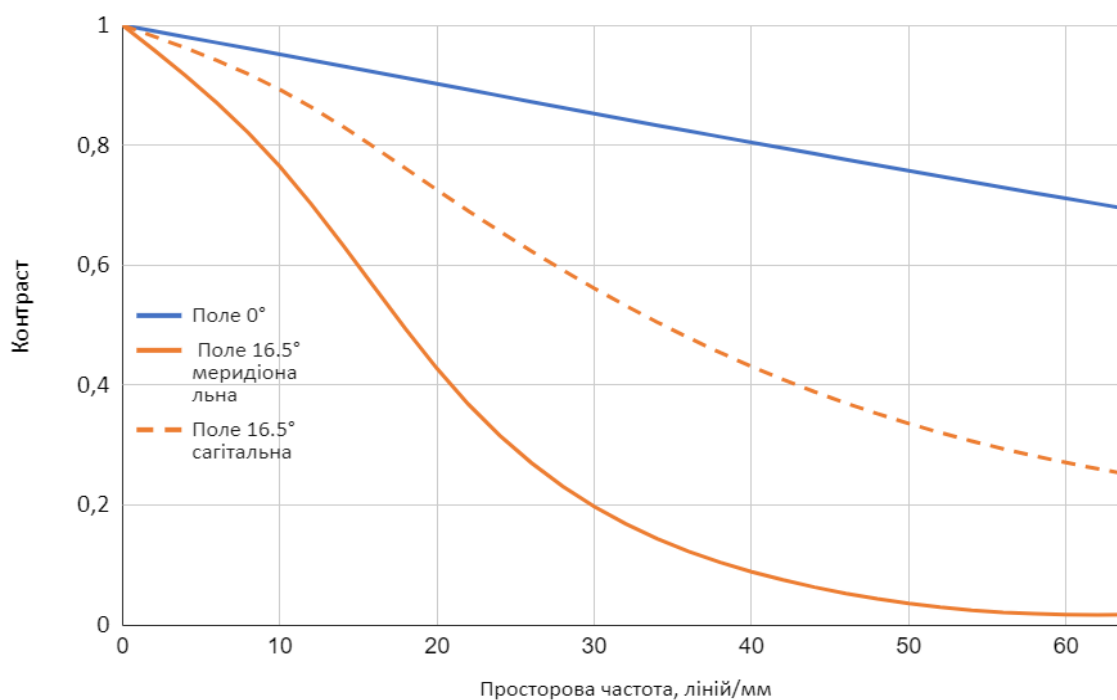


Рисунок 3. Графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розрахованого окуляра з віддаленою зіницею для осового та периферійного пучків

## **ВИСНОВКИ**

Запропонований підхід, що базується на використанні можливостей глобального оптимізатора програми проектування оптичних систем PODIL, дозволив здійснити параметричний абераційний синтез оптичної системи шестилінзового окуляра в автоматизованому режимі. Перевагами розрахованої оптичної системи окуляра є значне віддалення зіниці ока (50 мм), мала дисторсія (0,5 %) та висока роздільна здатність.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Лепешинский И. Ю., Глебов В. В., Брусникин Е. В., Погодаев Д. В. Устройство оружия и его боевое применение. Омский государственный технический университет. 2012. – 225 с.
- [2] Haas G. Microdisplays for Augmented and Virtual Reality. SID Symposium Digest of Technical Papers. – 2018. Vol. 49. No. 1, P. 506–509.
- [3] Слюсарев, Г. Г. Методы расчета оптических систем / Г. Г. Слюсарев. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л. : Машиностроение, 1969. – 672 с. : ил.
- [4] Русинов М. М. Композиция оптических систем / Русинов М. М. – Л.: Ленинградское отделение, 1989. – 383 с.
- [5] Kopin Unveils ‘Lightning’ 2k×2k 120Hz OLED Microdisplay for Mobile VR. Режим доступу: Kopin Unveils Lightning 2k x 2k 120Hz OLED Microdisplay for Mobile VR | Lightning, Virtual reality, New technology (pinterest.com)
- [6] LOMID H2020 project. Режим доступу: <http://www.lomid.eu/>.
- [7] Шаг пикселя нового OLED-микродисплея Sony – Режим доступу: Шаг пикселя нового OLED-микродисплея Sony для видеоискателей камер и гарнитур AR/VR составляет рекордно малые 6,3 мкм - ИТС.ua

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.*