

УДК 535.42

Ю.А. Лега, студентка гр. ПО-61м, к.т.н., старший викладач Сірий Є.А
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ СФЕРИЧНОЇ АБЕРАЦІЇ

Анотація. Удосконалено метод корекції сферичної аберації рефракційної лінзи шляхом поєднання її з непараксильною дифракційною, що має малу оптичну силу.

Ключові слова: дифракційна лінза, сферична аберація.

ВСТУП

Великого розповсюдження в наш час набувають дифракційні лінзи (ДЛ), що застосовуються для проектування оптичних систем, а саме для корекції хроматизму та термічної аберації. Найчастіше такі ДЛ розраховуються у параксильному наближенні і практично не впливають на оптичну силу системи. Проте важливим є дослідження непараксильних ДЛ, які дають змогу виконувати корекцію монохроматичних аберацій.

Абераційна модель непараксильної ДЛ базується на представленні хвильових аберацій, розрахунок яких проводиться через порівняння ідеального і абераційного хвильових фронтів, що дає змогу використовувати її для корекції монохроматичних аберацій.

Постановка задачі

Метою роботи є удосконалення методу корекції сферичної аберації рефракційної лінзи за допомогою непараксильної дифракційної лінзи та перевірка результатів в програмному забезпеченні ZEMAX.

Опис об'єкту дослідження

ДЛ – це фазова голограма, в якій фазова модуляція здійснюється за рахунок мікрорельєфу поверхні (рис. 1).

Поверхня ДЛ складається із концентричних зон змінної ширини (зі збільшенням порядку ширина зони зменшується). Періоди зон розраховуються за допомогою принципу Френеля таким чином, щоб різниця оптичних довжин шляху від осової фокальної точки до країв сусідніх зон відрізнялася на ціле значення довжини хвилі. Для забезпечення постійної оптичної довжини шляху кожна зона має вигляд канавки змінної глибини [1].

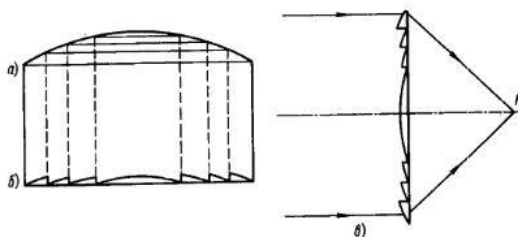


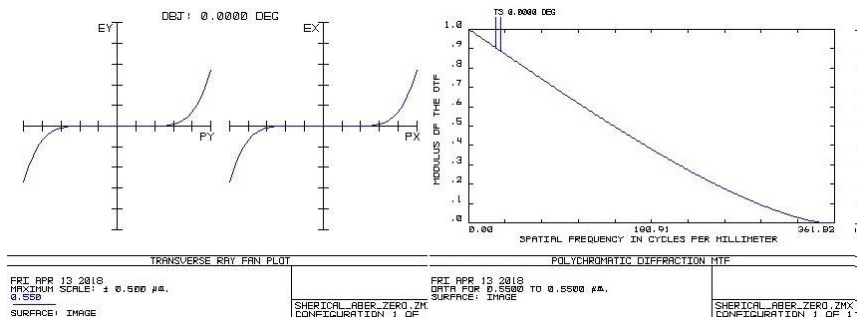
Рисунок 1. Схема отримання кіноформа.

а). тонка сферична лінза; б). профіль рельєфу кіноформа; в). хід променів в кіноформі для випадку осового освітлення плоскою хвилею.

Перша сума Зейделя, що описує сферичну аберацію непараксіальної ДЛ має вигляд [2]:

$$S_1 = \frac{r^4}{f_0^3} \left(\frac{\lambda^3 - \lambda \lambda_0^2}{\lambda_0^3} \right),$$

де λ_0 – розрахункова довжина хвилі; f_0 – розрахункова фокусна відстань; λ – довжина хвилі; r – радіус ДЛ. Даний вираз вказує, що непараксіальна ДЛ для світла із розрахунковою довжиною хвилі λ_0 створює ідеальний сферичний хвильовий фронт і не вносить сферичну аберацію. Щоб це перевірити у програмі ZEMAX було змодельовано ДЛ з такими параметрами: $f_0 = 100$ мм, $D = 20$ мм, $\lambda_0 = 0,55$ мкм. На (рис.2) представлені діаграма аберацій та МПФ такої лінзи. Як видно з графіків, сферична аберація практично відсутня і МПФ співпадає із дифракційно-обмеженою.



Рисунк 2. МПФ та діаграма аберацій дифракційної лінзи з виправленою сферичною аберацією

Таким чином, такий елемент здатен формувати асферичний хвильовий фронт, що можна використати для корекції сферичної аберації. В статті [3] коригували сферичну аберацію германієвої лінзи оптично сильною ДЛ. Недоліками такого підходу є те, що ДЛ дуже сильно впливає на оптичну силу отриманого гібридного елемента та велика кількість дифракційних зон ДЛ, що ускладнює застосування такого підходу для видимої області спектру. Тому запропоновано удосконалити цей підхід шляхом коригування сферичної аберації оптично слабкою ДЛ, яка практично не змінюватиме оптичну силу рефракційної лінзи.

За допомогою дифракційної лінзи усунемо сферичну аберацію у рефракційній лінзі. Візьмемо рефракційну плоско-випуклу лінзу з такими параметрами: $f = 100$ мм, $D = 20$ мм, $R_1 = 51,8$ мм, $d = 3$ мм, матеріал - BK7. На рис. 3 представлені діаграма аберацій та МПФ такої лінзи.

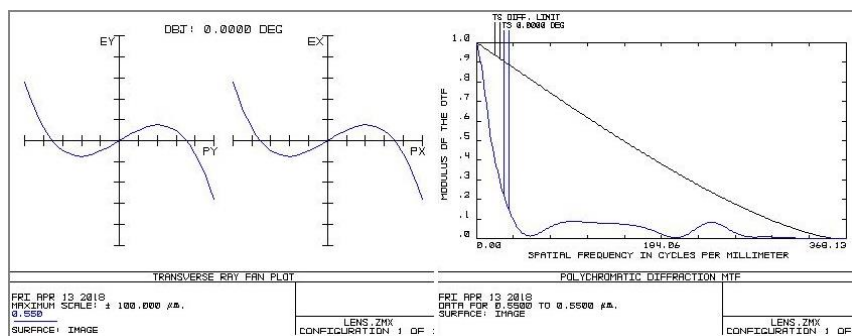


Рисунок 3. МПФ та діаграма аберацій рефракційної лінзи.

Якщо поєднати рефракційну лінзу з дифракційною можна усунути сферичну аберацію. Для цього на другу плоску поверхню рефракційної лінзи можна нанести дифракційну. На рис.4. представлені діаграма аберацій та МПФ отриманої рефракційно-дифракційної лінзи. Як видно із графіків, МПФ такої лінзи на відміну від рефракційного аналога є дифракційно-обмеженою, оскільки сферична аберація скоригована дифракційною поверхнею.

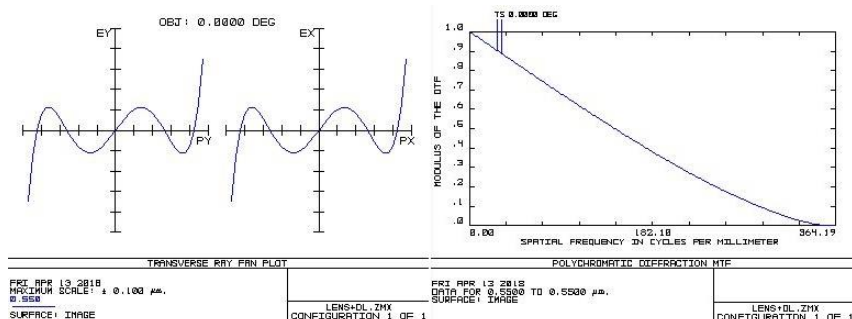


Рисунок 4. МПФ та діаграма аберацій рефракційно-дифракційної лінзи.

Дифракційна поверхня отриманої лінзи складається лише із 5 дифракційних зон, радіуси яких представлені у Таблиці 1. Тому такий підхід корекції сферичної аберації є технологічно значно привабливішим.

Таблиця 1. Радіуси дифракційних зон.

	Радіус, мм
	6,588348
	7,834860
	8,670673
	9,317230
	9,851760

ВИСНОВКИ

В статті був удосконалений метод корекції сферичної аберації за допомогою непараксильної дифракційної лінзи з малою оптичною силою.

Удосконалений метод корекції сферичної аберації рефракційної лінзи шляхом поєднання її з дифракційною дає можливість створювати одноелементні світлосильні оптичні системи з високою якістю зображення. Дифракційна лінза має дуже малу оптичну силу, відповідно складається із незначної кількості дифракційних зон, що значно спрощує її виготовлення.

Проте для ДЛ характерна значна залежність її оптичних характеристик від довжини хвилі. Тому подальшим завданням є удосконалення методу корекції сферичної аберації в широкому спектральному діапазоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Burralli D.A. Optical performance of holographic kinoforms / D. A. Burralli, G.M. Morris, J. R. Rogers. // *Applied Optics*. – 1989. – № 5, Vol. 28 – P. 976–983.
2. *Diffraction Optics: Design, Fabrication, and Test* / D.C. O'Shea, T. J. Suleski, A. D. Kathman, D. W. Prather. – Washington: SPIE-Press, 2004. – 254 p.
3. Колобродов В. Г. Інфрачервона гібридна лінза з виправленою сферичною аберацією/ В. Г. Колобродов, В. І. Микитенко, Є. А. Сірий // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2013. – № 6, т. 92 – С. 78–81.