

УДК 535.42

*О.О. Бондаренко, студент гр. ПО-61м, к.т.н., ст. викладач Сірій Є.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ПРОЕКТУВАННЯ РЕФРАКЦІЙНО-ДИФРАКЦІЙНИХ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. Виконано абераційний аналіз дифракційної лінзи. Порівняні її характеристики з рефракційною лінзою з віддаленню вихідною зіницею.

Ключові слова: непараксіальна дифракційна лінза, аберація кома.

ВСТУП

Дифракційні лінзи(ДЛ) можуть бути використані для зменшення числа елементів в звичайних лінзових системах та для корекції аберацій. У першу чергу такі елементи можуть бути успішно використані для корекції хроматизму рефракційної лінзи. Проте унікальні властивості ДЛ дозволяють значно розширити їх застосування при проектуванні оптичних систем[1, 2].

Оскільки використання ДЛ при проектуванні оптичних систем дозволяє значно зменшити габарити та масу, тому дослідження таких лінз є актуальною задачею.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є абераційний аналіз непараксіальної ДЛ та її порівняння із рефракційною лінзою для подальшої розробки рекомендацій проектування рефракційно-дифракційних оптичних систем з частково скорегованими монохроматичними абераціями.

Опис об'єкту дослідження

Оптичні властивості ДЛ визначаються параметрами її мікрорельєфу, який має вигляд концентричних канавок із змінною глибиною. Тому розрахунок мікрорельєфу ДЛ полягає у тому, щоб визначити положення та глибину кожної канавки, які ще називаються дифракційними зонами.

Для розрахунку положення дифракційних зон лінзи слід застосувати принцип Френеля: в межах однієї дифракційної зони оптична різниця ходу має бути постійною і відрізнятися від оптичної різниці ходу сусідньої дифракційної зони на ціле значення довжини хвилі[1].

Згідно рис.1 можна легко знайти вираз для розрахунку радіального положення дифракційних зон такого елемента [2]:

$$r_m^2 = 2f_0 m \lambda_0 + (m \lambda_0)^2,$$

де f_0 – розрахункова фокусна відстань; λ_0 – розрахункова довжина хвилі; m – номер дифракційної зони. Для розрахунку глибини кожної канавки застосовують наступний вираз. [3]

$$h(r) = \frac{r^2}{2|f_0|(n-1)}$$

де n -показник заломлення.

В даній роботі було проведено абераційний аналіз ДЛ, а саме коми, яку для ДЛ можна розрахувати як [3]:

$$W_{131} = \frac{1}{2} \frac{R^3}{f_0^2} \operatorname{tg}(\alpha) \left[\frac{t}{f_0} \frac{\lambda^3 - \lambda \lambda_0^2}{\lambda_0^3} + \frac{\lambda^2 - \lambda_0 \lambda}{\lambda_0^2} \right].$$

де R – половина лінійної апертури ДЛ; α – кут падіння; t – положення апертурної діафрагми ДЛ; λ – розрахункова та робоча довжини хвиль ДЛ. Тоді друга сума Зейделя розраховується як:

$$S_{II} = 2W_{131}.$$

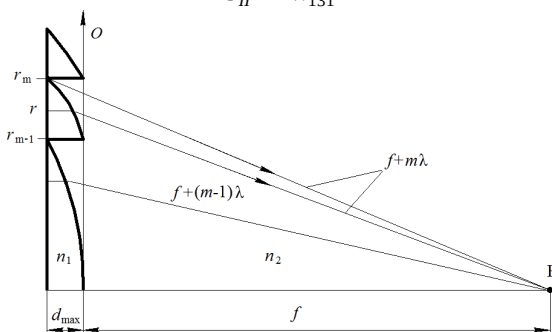


Рис.1. До визначення положення дифракційних зон ДЛ

Було спроектовано ДЛ із наступними параметрами: $R=5\text{мм}$; $f_0=100\text{мм}$; $t=50\text{мм}$; $\lambda=0.46\text{мкм}$; $\lambda_0=0.55\text{мкм}$; $\alpha=5^\circ$. Згідно представлених виразів кома даної ДЛ складає $S_{II} = -0.0003$. Моделювання такої лінзи у програмі ZEMAX підтвердило вірність отриманого розрахунку. Тому дана абераційна модель коми ДЛ може бути успішно використана для розробки методів корекції аберації коми оптичних систем.

На рис. 2 представлені МПФ та точкова діаграма змодельованої ДЛ. Як видно з рисунку, якість зображення такого елемента наближається до дифракційно-обмеженої.

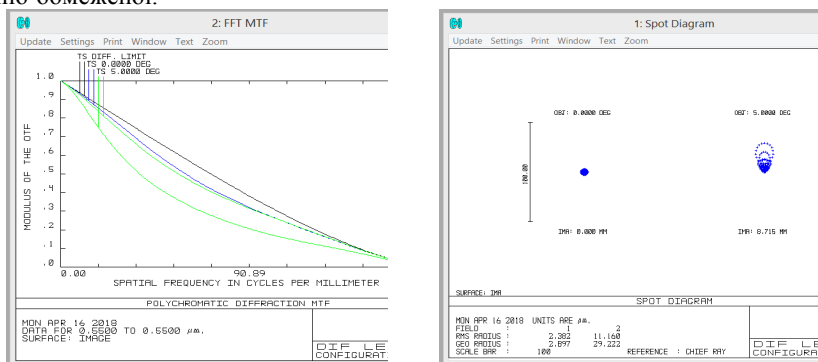


Рис.2. МПФ та точкова діаграма ДЛ.

Також було проведено порівняльний аналіз якості зображень, що створюють рефракційна та дифракційна лінзи з однаковими параметрами. На рис. 3 представлені МПФ та точкова діаграма плоско-випуклої рефракційної лінзи з наступними параметрами: $f=100\text{мм}$, $D=10\text{мм}$, $t=50\text{мм}$, $\alpha=5^\circ$, Скло ВК7, $R1=52\text{мм}$, $\lambda_0=0.55\text{мкм}$ $\lambda=0.46\text{мкм}$. Як видно із отриманих результатів, якість зображення ДЛ значно вища.

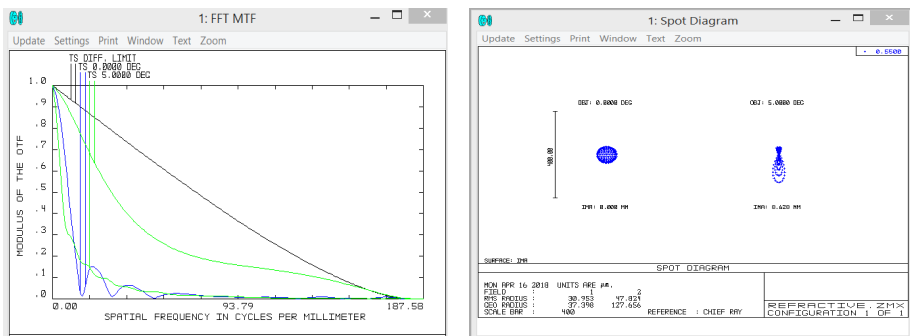


Рис 3. МПФ та точкова діаграма рефракційної лінзи.

ВИСНОВКИ

В статті було проведено аналіз непараксильної ДЛ. Було визначено, що запропонована абераційна модель є достатньо точною. Тому дану абераційну модель можна використовувати для розробки методів корекції аберації оптичних систем.

Якість зображення такої лінзи вища ніж у рефракційного аналога. Габарити та вага значно менші у ДЛ також, це дозволяє робити більш компактні оптичні системи.

Наступним етапом дослідження є подальший абераційний аналіз непараксильної ДЛ та удосконалення існуючих та розробка нових методів корекції аберації рефракційних оптичних систем з використанням ДЛ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Born M., Wolf E. Principles of Optics. 7th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 987 p
2. Diffractive 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. Абераційна модель непараксильної дифракційної лінзи / Є. Г. Балінський, Є. А. Сірий // Приладобудування: стан і перспективи: матеріали ХVІ міжнар. наук.-техніч. конф. (НТУУ «КПІ», Київ, 16–17 травня 2016). – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 46.