БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра ЭТТ

РЕФЕРАТ

На тему:

**«Формы представления аберраций (поперечная, продольная, волновая). Монохроматические аберрации»**

МИНСК, 2008

В идеальной оптической системе все лучи, исходящие из точки A, пересекаются в сопряженной с ней точке A΄0. После прохождения реальной оптической системы либо нарушается гомоцентричность пучка и лучи не имеют общей точки пересечения, либо гомоцентричность сохраняется, но лучи пересекаются в некоторой точке A΄, которая не совпадает с точкой идеального изображения (рисунок 1). Это является следствием аберраций. Основная задача расчета оптических систем – устранение аберраций.

*A*'

*A*'0

*A*

*Рисунок 1 – Идеальное и реальное изображения точки*

Для вычисления аберраций необходимо определить точку референтного (идеального) изображения A΄0 , в которой должно находиться изображение по законам гауссовой оптики. Относительно этой точки и определяют аберрации.

***Поперечные аберрации***

**Поперечные аберрации**  – это отклонения координат точки A΄ пересечения реального луча с плоскостью изображения от координат точки A΄0 идеального изображения в направлении, перпендикулярном оптической оси (рисунок 2):

. (1)

Если точки A΄ и A΄0 совпадают, то поперечные аберрации равны нулю .

##### Δy′

*y*'

*A′0*

*A*'

*x′*

*Δx′*

*z′*

*A*

*Рисунок 2 – Поперечные аберрации*

Различают поперечные аберрации в сагиттальной плоскости  и в меридиональной плоскости . Поперечные аберрации для изображения ближнего типа выражаются в миллиметрах, для изображения дальнего типа – в угловой мере. Для изображения дальнего типа поперечная аберрация – это угловое отклонение  между реальным и идеальным лучом (рисунок 3).

*O* '

*Δσ΄y*

*y΄*

*A*'

*A*0 '

*z*'

*Рисунок 3 – Поперечные аберрации для удаленного изображения*

У каждого луча в пучке своя величина поперечной аберрации. Для всего пучка поперечные аберрации – это функции от зрачковых координат:

 , (2)

где  – **реальные зрачковые координаты.**

**Зрачковые канонические координаты.**

Зрачковые координаты определяют положение луча в пучке. Канонические (относительные) зрачковые координаты определяются следующим образом:

 , (3)

где ,  – входные и выходные реальные зрачковые координаты, ,  – входные и выходные апертуры. Апертуры определяют максимальные значения зрачковых координат.

Таким образом, верхний луч пучка имеет координаты , нижний луч пучка – , главный луч пучка – , сагиттальный луч –  (рисунок 4).

1

ρ*y*

ϕ

-1

*главный*

*луч*

1

ρ*x*

-1

*Рисунок 4 – Канонические зрачковые координаты*

Канонические зрачковые координаты можно выразить через **полярные координаты** ρ и φ:

 , (4)

где .

***Волновая аберрация***

**Волновая аберрация** – это отклонение реального волнового фронта от идеального (рисунок 5), измеренное вдоль луча в количестве длин волн:

 (5)

Из выражения (5) следует, что волновая аберрация пропорциональна отклонениям оптических длин лучей пучка. Поэтому влияние волновой аберрации на качество изображения не зависит от типа изображения, а определяется тем, сколько длин волн она составляет.

*Δl* '

*n′*

*A*'

*A′*0

*O*'

*R′*0

*A*

*выходной*

*зрачок*

*волновой*

*фронт*

*референтная сфера*

*Рисунок 5 – Волновая аберрация*

**Референтная сфера** – это волновой фронт идеального пучка с центром в точке идеального изображения A΄0, проходящий через центр выходного зрачка *O΄.* При нахождении волновой аберрации с референтной сферой сравнивается ближайший к ней волновой фронт.

Для всего пучка волновая аберрация – это функция канонических зрачковых координат:

. (6)

Поперечная и волновая аберрации – это разные формы представления одного явления, они связаны между собой соотношениями:

. (7)

Таким образом, поперечные аберрации прямо пропорциональны первым частным производным волновой аберрации по каноническим координатам.

***Продольные аберрации***

**Продольные аберрации** – это отклонения координаты точки  пересечения реального луча с осью от координаты точки  идеального изображения вдоль оси (рисунок 6):

 , (8)

где S΄ – положение точки пересечения луча с осью, S΄0 – положение идеальной точки пересечения.

*y*'

*O*

*S*0 '

*S* '

*Δy*'

*O* '

*ΔS* '

*O* ''

*z*'

*Рисунок 6 – Продольные аберрации осевого пучка для изображения ближнего типа*

Для изображения ближнего типа продольные аберрации выражаются в миллиметрах, для изображения дальнего типа (рис.8.7) продольные аберрации выражаются в обратных миллиметрах:

. (9)

*z΄*0

*z*′

*O* '

*O* ''

*Рисунок 7 – Продольные аберрации осевого пучка для изображения дальнего типа*

Продольные аберрации связаны с поперечными, и, следовательно, с волновыми тоже:

, (10)

где А΄0 – задняя апертура осевого пучка.

Выражение (10) приближенное, оно может использоваться только для случая небольших апертур.

Итак, из выражений (7) и (10) следует, что волновая, поперечная и продольная аберрация – это разные формы представления одного явления нарушения гомоцентричности пучков. При оценке качества изображения за исходную модель аберрационных свойств оптической системы берут волновую аберрацию (по величине волновой аберрации судят о качестве оптической системы). Однако, если аберрации велики, то более целесообразно использовать для оценки качества изображения поперечные аберрации.

## Монохроматические аберрации

Аберрации делятся на **монохроматические** и **хроматические.** Монохроматические аберрации присутствуют, даже если оптическая система работает при монохроматическом излучении.

Монохроматические аберрации делятся на несколько типов:

1. - сферическая,
2. - кома,
3. - астигматизм и кривизна изображения,
4. - дисторсия.

Обычно все последующие аберрации добавляются к уже существующим. Но мы будем рассматривать каждый тип аберрации по отдельности, как если бы только он и существовал.

***Разложение волновой аберрации в ряд***

Если в оптической системе присутствуют все типы аберраций, то для описания отдельных типов аберраций волновую аберрацию можно разложить в ряд по степеням относительных зрачковых координат в следующем виде:

 (11)

или в полярных координатах:

 , (12)

где  (n – степень ρ, m – степень cosϕ) – коэффициент, значение которого определяет вклад конкретного типа (и порядка) аберрации в общую волновую аберрацию:

 – постоянная составляющая, которая может быть сведена к нулю соответствующим выбором референтной сферы,

 – продольная дефокусировка,

 и  – сферическая аберрация 3 и 5 порядка,

 – дисторсия,

 – кома 3 и 5 порядка,

 – астигматизм 3 и 5 порядка.

В разложении могут участвовать и более высокие порядки, но мы их рассматривать не будем.

Порядок аберрации определяется по степени координаты ρ в разложении поперечной аберрации в ряд.

Этот ряд получаем путем дифференцирования выражения (12). Таким образом, поперечная аберрация определяется следующим образом:

 . (13)

Разложение в ряд продольной аберрации имеет вид:

 . (14)

***Радиально симметричные аберрации (дефокусировка и сферическая аберрация)***

Радиально симметричные аберрации (расфокусировка и сферическая аберрация) анализируются и изучаются при рассмотрении осевой точки предмета. Для описания радиально симметричных аберраций достаточно использовать одну радиальную зрачковую координату :

 . (15)

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. и др. Теория оптических систем. – М.: Машиностроение, 2004
2. Заказнов Н.П. Прикладная оптика. – М.: Машиностроение, 2000
3. Дубовик А.С. Прикладная оптика. – М.: Недра, 2002
4. Нагибина И.М. и др. Прикладная физическая оптика. Учебное пособие.- М.: Высшая школа, 2002