

Рисунок 4. Зависимость коэффициента ослабления на декаду по уровню -3 дБ от коэффициента неоднородности b_1 .

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКЛОНЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА ОТ НОРМЫ

Иноземцев М.Ю., Матюнин С.А.

Интерференция - перераспределение интенсивности света – образуется при суперпозиции нескольких волн одинаковой частоты и соизмеримой амплитуды. По виду интерференционной картины можно определить степень расфокусировки изображения, определить вид и величины дефектов оптической системы глаза.

В оптическом отношении глаз является адаптивной оптической системой с переменным фокусным расстоянием. Оптическая система состоит из совокупности преломляющих сред. Изменение фокусного расстояния системы осуществляется за счет мышечного усилия, изменяющего кривизну поверхности хрусталика. Изображение предметов нормального глаза фокусируется на заднюю поверхность глаза – сетчатку.

Используя суперпозицию основного луча и луча, отраженного от глазного дна можно наблюдать интерференционную картину (рис. 1).

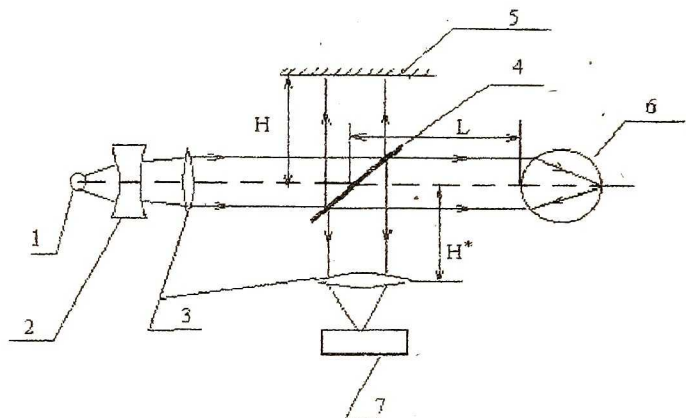


Рисунок 1. Схема установки (1 – источник лазерного излучения; 2 – рассеивающая линза; 3 – собирающие линзы; 4 – плоскопараллельная пластинка; 5 – зеркало; 6 – глаз; 7 – приемная камера.)

Поскольку глаз является сложной оптической системой, состоящей из множества оптических сред с различными коэффициентами преломления, то используем для расчета такой системы понятие приведенного глаза (рис.2). Приведенный глаз состоит из одного преломляющего вещества с характеристиками: оптическая сила 58,48 диоптрий, длина глаза d 22 мм, радиус кривизны сетчатки R_2 9,7 мм, радиус кривизны преломляющей поверхности R_1 5,6мм, показатель преломления среды 1,33. В расчетах не будем пока учитывать фазовую ошибку, возникающую в плоскости фронта волны А-А.

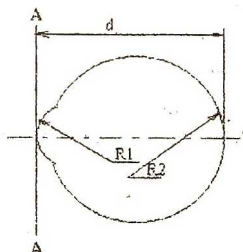


Рисунок 2. Модель приведенного глаза.

Допустим, что:

- что источник излучения – точечный и его изображение фокусируется точно на дне глазного яблока;
- что лучи света, попадающие в зрачок глаза, строго параллельны его оси;

- плоскопараллельная пластинка бесконечно тонкая и преломление в ней не учитывается;
- показатель преломления воздуха равен единице.

Пусть от точечного лазерного источника распространяется плоская волна, которая описывается комплексным уравнением:

$$E = E_0 \exp(-j(\omega t - kr))$$

Допустим, что отражение излучения от сетчатки глаза носит диффузионный характер, т.е. отражается сферическая волна, описываемая выражением:

$$E = E_1 \frac{\exp(-j(\omega t - kr))}{r}$$

Очевидно, что параметры лазерного излучения ω и k остаются неизменными в любой среде распространения волны, $\omega = 2\pi\nu$, - циклическая частота, $k = 2\pi/\lambda$ - фазовая постоянная. Интерференция получается в результате разности хода лучей основного, отраженного от глазного дна и несущего информацию о структуре глаза (поэтому далее будем называть его информационным) и вспомогательного.

$$\begin{aligned}
 E_1^* E_2 &= E_0^2 \exp(-j(k(L + H^*))) \exp(j(\omega t + k(2H + H^*))) * \\
 &* \int_{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}^d \frac{\exp(-j(\omega t + knr))}{nr} dr = \\
 &= E_0^2 \exp(-j(k(L - 2H))) \int_{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}^d \frac{\exp(-j(knr))}{nr} dr; \\
 E_2^* E_1 &= E_0^2 \exp(j(k(L + H^*))) \exp(-j(\omega t + k(2H + H^*))) * \\
 &* \int_{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}^d \frac{\exp(j(\omega t + knr))}{nr} dr = \\
 &= E_0^2 \exp(j(k(L - 2H))) \int_{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}^d \frac{\exp(j(knr))}{nr} dr;
 \end{aligned}$$

Поскольку от глазного дна начинает распространяться новый тип волны, то можно считать, что начальный фазовый набег ее $\varphi_2 = 0$ и разность фаз рассчитывать относительно этого момента времени.

Оптическая длина пути вспомогательного луча равна $r_1 = 2H + H^*$.

Оптическая длина пути информационного луча r_2 изменяется и зависит от точки выхода из глаза, следовательно, в сечении А-А будет наблюдаться суперпозиция сферических волн. Аналитически это выражается следующей зависимостью:

$$E = E_0 \frac{\sum_d \frac{\exp(-j(\omega t - knr))}{nr}}{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}$$

где n - показатель преломления приведенного глаза.

h - ширина лазерного пучка.

Кроме того, фазовый набег информационной волны от глаза до камеры составит $r - L + H^*$.

Таким образом, учитывая, что параллельный поток, выходящий из глаза можно считать плоской волной и переходя от суммы к интегралу, получаем выражения для информационной волны:

$$E = E_0 \exp(-j(\omega t + k(L + H^*))) \frac{\int_d \frac{\exp(-j(\omega t - knr))}{nr} dr}{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}}$$

Интерференция от суперпозиции двух волн рассчитывается следующим образом: $E = E_1 + E_2$. Интенсивность задается формулой:

$$I = \text{Re}[(E_1 + E_2)(E_1^* + E_2^*)] = \frac{1}{2} \text{Re}(E_1^* E_1 + E_2^* E_2 + E_1^* E_2 + E_2^* E_1)$$

Будем считать, что амплитуды вспомогательного и информационного лучей одинаковы. В этом случае:

$$E_1^* E_1 = E_2^* E_2 = E_0^2 \sigma.$$

$$\text{Re}(E_1^* E_2 + E_2^* E_1) = 2E_0^2 \left(1 + \frac{\int_d \left(\frac{\cos(r_1 + nr)}{nr} + \frac{\cos(r_1 - nr)}{nr} \right) dr}{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}} \right)$$

$$I = 2I_0 \left(1 + \frac{\int_d \left(\frac{\cos(r_1 + nr)}{nr} + \frac{\cos(r_1 - nr)}{nr} \right) dr}{\sqrt{h^2 + (d - R1 + \sqrt{R1^2 - h^2})^2}} \right),$$

где $r_1 = k(L + H^*)$ - оптическая длина пути вспомогательного луча.

Поскольку при выводе предполагалось, что вспомогательный и информационный лучи имеют равные амплитуды, а реально информаци-

онный луч обладает значительно меньшей амплитудой, то для наблюдения четкой интерференционной картины на пути вспомогательного луча необходимо ставить ослабляющую световой поток пластину.

АНАЛИЗ ПРОГИБА ПЛАСТИНЫ АДАПТИВНОГО ЗЕРКАЛА

Савельев А. В., Матюнин С. А.

Большинство элементов инженерных сооружений, подлежащих расчету на изгиб, может быть сведено к расчетным схемам бруса или оболочки.

Под *брусом* понимается всякое тело, одно из измерений которого (длина) значительно больше двух других. Под *оболочкой* понимается тело, одно из измерений которого (толщина) значительно меньше двух других. Геометрическое место точек, равноотстоящих от обеих поверхностей оболочки, носит название *срединной поверхности*. Если срединная поверхность оболочки является плоскостью, то такую оболочку называют *пластиной*. Пластины классифицируются по форме очертания внешнего контура. Так, пластины могут быть круглыми, прямоугольными, трапециевидными и пр. Если срединная поверхность образует часть сферы, конуса или цилиндра, оболочку соответственно называют сферической, конической или цилиндрической. Геометрия оболочки определяется не только формой срединной поверхности. Нужно знать также закон изменения толщины оболочки. Однако большинство встречающихся на практике оболочек имеет, как правило, постоянную толщину.

Осесимметричными, или просто *симметричными*, оболочками называются такие, срединная поверхность которых представляет собой поверхность вращения. Будем полагать в дальнейшем, что нагрузка, действующая на такую оболочку, также обладает свойствами осевой симметрии. Для таких оболочек задача расчета значительно упрощается, т.к. все внутренние силы для такой оболочки по дуге круга не изменяются и зависят только от текущего радиуса или длины дуги, измеренной вдоль образующей тела вращения.

Рассмотрим случай изгиба, не связанного с растяжением. Пусть под действием внешних сил, перпендикулярных к срединной плоскости, пластина меняет свою кривизну. Это изменение кривизны происходит, как правило, одновременно в двух плоскостях, в результате чего образуется некоторая слабо изогнутая поверхность двойной кривизны, так называемая *упругая поверхность*. Форма упругой поверхности характеризуется законом изменения прогибов пластины w . При расчете пластин счита-