

УДК 535.312; 681.785

А. А. Ухов, В. А. Герасимов, Д. К. Кострин

Методика и аппаратура для определения спектральных характеристик стекол и зеркал

Рассмотрены основные типы конструкций зеркал. Приведены их основные спектральные характеристики. Показана возможность расчета параметров зеркал по спектрам отражения и пропускания, получаемых с помощью оптического спектрометра. Продемонстрировано экспериментальное подтверждение эффективности разработанной методики расчета.

Автомобильное зеркало, спектральная характеристика, оптический спектрометр

Зеркала заднего вида являются важным элементом безопасности автомобиля. Минимально необходимые требования к зеркалам заднего вида оговорены международными стандартами. Отражающая способность автомобильного зеркала должна быть не менее 40 %. При таком ее значении обеспечивается достаточная яркость изображения в зеркале в сумерках, а также возможность различать предметы в зеркале при ярком фронтальном освещении.

Можно выделить два вида зеркал: с зеркальным покрытием, нанесенным на внутреннюю по отношению к окружающей среде поверхность стекла, и с наружным зеркальным покрытием, нанесенным на сторону стекла, обращенную в окружающую среду. Наружное расположение отражающего слоя обеспечивает существенное повышение четкости и контрастности изображения в зеркале. В традиционном зеркале, с амальгамой на внутренней стороне, лучи света проходят через наружную поверхность стекла, затем через его толщину отражаются на его внутренней поверхности и повторяют путь в обратном направлении. Как поверхность, так и объем стекла могут содержать дефекты, не заметные для глаза: микроскопические царапины, неоднородности химического состава. На этих дефектах часть энергии светового пучка рассеивается, кроме того, само стекло обладает некоторой отражающей способностью. Эти явления приводят к снижению контрастности и четкости изображения. По типу зеркального покрытия оптических элементов образцы можно разделить на зеркала: белого цвета (рис. 1, а), голубого цвета (рис. 1, б) и желтого цвета (рис. 1, в).

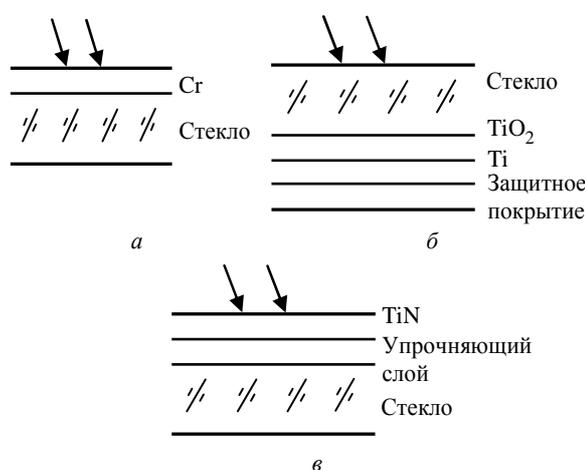


Рис. 1

Оптические или спектральные средства защиты от ослепления основаны на соотношении спектральных характеристик излучения ламп, используемых в автомобильных фарах, спектров отражения зеркал со специальными покрытиями и спектральной чувствительности человеческого зрения [1]. Спектральные средства защиты являются оптимальным решением проблемы ослепления с точки зрения соотношения цены и результата.

Принцип действия спектральных средств защиты от ослепления заключается в специальном подборе спектра отражения зеркала. Такое зеркало приобретает определенный цветовой оттенок – тон зеркал бывает, как правило, синий, голубой или зелено-голубой, желто-золотистый, также встречаются зеркала, имеющие розовый оттенок. На рис. 2 приведены спектральные характеристики человеческого зрения и отражения зеркал (I – спектральная чувствительность, λ – длина волны): 1 – ночное зрение; 2 – дневное зрение; 3 – синее зеркало; 4 – голубое зеркало; 5 – золотистое зеркало.

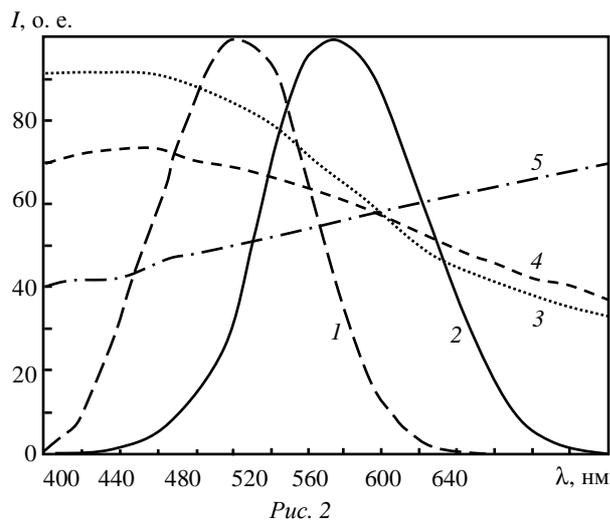


Рис. 2

У голубых зеркал спектр отражения подбирается таким образом, чтобы наиболее интенсивные составляющие света лампы накаливания — красная и желтая ослабли, а голубая и зеленая, имеющие малую интенсивность, отражались без потерь. Селективное ослабление красной и желтой составляющих создает защиту от ослепления. Зеркала с синим или голубым оттенком обладают рядом недостатков. Во-первых, зеркало имеет характерный голубой цвет, а чувствительность человеческого зрения распределена по спектру неоднородно — спектральная характеристика чувствительности дневного зрения смещена относительно ночного в сторону желтого и красного цвета (рис. 2, характеристики 2 и 1 соответственно). Голубое зеркало не учитывает эти особенности зрения, что может приводить к неверному восприятию цвета [1] и характера перемещения объектов. Во-вторых, эти зеркала не защищают от света современных ксеноновых ламп, так как максимум их яркости приходится именно на синий и голубой участки спектра, соответствующие наивысшему отражению таких зеркал.

Принцип действия зеркал с желто-золотистым оттенком основан на особенностях дневного и ночного зрения человека. Спектральная характеристика темного зрения человека смещена относительно светового в коротковолновую область спектра (рис. 2). При этом оба типа зрения действуют независимо друг от друга и в большинстве реальных случаев (при реальных уровнях освещенности) они работают одновременно. Это реализуется за счет подобранной спектральной характеристики коэффициента отражения зеркал, позволяющей при ослеплении одного типа зрения добиться того, что другой будет продолжать эффек-

тивно работать, различая предметы. Зеркало эффективно отражает длинноволновую (красную и желтую) часть спектра, но подавляет отражение в коротковолновой (голубой) области. При отсутствии в зеркале ослепляющего фактора изображение воспринимается обоими типами зрения, а при наличии — механизм светового зрения может быть ослеплен, однако темновое зрение оказывается защищенным и продолжает работать, передавая мозгу полную информацию об обстановке на дороге.

Для обеспечения высокого качества автомобильных зеркал необходимо применение измерительного оборудования, позволяющего проводить объективную оценку цветопередачи и качества поверхности стекол. Метод оценки состоит в определении нормального светопропускания стекла τ_v по интенсивности светового потока, пропускаемого испытываемым стеклом, и расчете спектрального коэффициента пропускания $\tau(\lambda)$ стекла. Решение задачи определения качества зеркала обеспечивает проверка важнейшего параметра зеркал — отражающей способности. Внешний вид установки для оценки качества зеркал представлен на рис. 3.

Данная установка представляет собой оптический спектрометр [2]–[6] с применением интегрирующей сферы для повышения точности получаемых результатов.

Оптическая схема спектрометра имеет постоянную линейную дисперсию. Таким образом, линейная зависимость углового положения спектральной линии от длины волны позволяет существенно сократить объем вычислений при обработке спектров. Структурная схема оптической части спектрометра однокаскадного на основе вогнутой дифракционной решетки [5] представлена на рис. 4 (1 — входное окно, 2 — внутренний

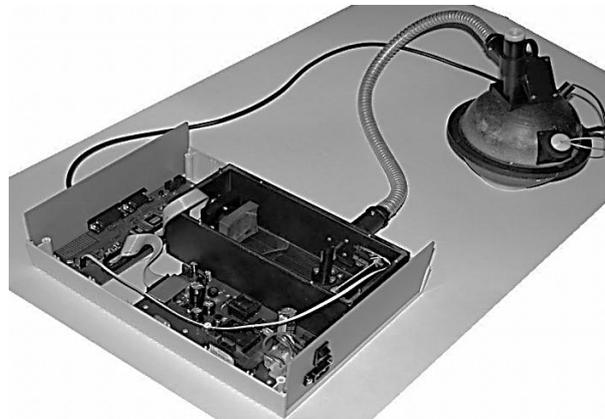


Рис. 3

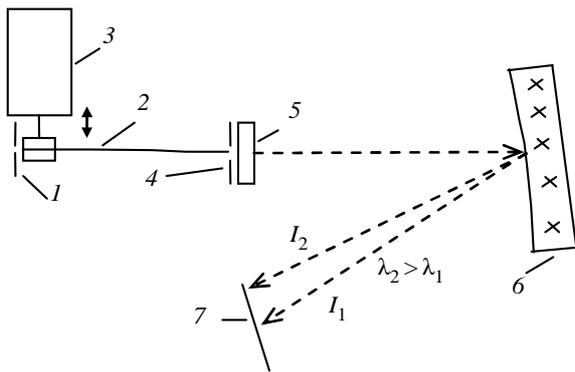


Рис. 4

световод, 3 – электромагнит, 4 – входная щель спектрометра, 5 – фильтр, 6 – дифракционная решетка, 7 – фотоприемник.

Пучок света, спектральный состав которого несет информацию об оптических свойствах поверхности, от которой отразился, подводится к входному отверстию I диаметром 1 мм и проходит по внутреннему световоду 2 к входной щели спектрометра 4, ширина которой равна 50 мкм. С помощью электромагнита 3 торец внутреннего световода может позиционироваться либо точно напротив отверстия I , либо сбоку от входного отверстия. Во втором случае оптическое излучение не попадает внутрь спектрофотометра, что позволяет измерить темновой сигнал [4]. Свет попадает на вогнутую дифракционную решетку 6, с помощью которой изображение щели строится на поверхности фотоприемника 7.

Комплексная задача измерения спектральных характеристик стекол и зеркал достаточно сложна. Характеристическими параметрами стекол и зеркал являются:

– спектральные коэффициенты пропускания $\tau(\lambda)$ и отражения $\rho(\lambda)$ в интервале длин волн 280...2500 нм;

– коэффициенты светопропускания τ_v и светотражения ρ_v ;

– коэффициенты прямого солнечного пропускания τ_e и прямого солнечного отражения ρ_e ;

– коэффициент общего пропускания солнечной энергии g ;

– коэффициент пропускания УФ τ_{uv} ;

– общий показатель передачи цвета R_a .

Для характеристики стекла основными параметрами являются τ_v и g , для зеркал – $\rho(\lambda)$ и ρ_e ;

остальные параметры являются дополнительными для получения дополнительной информации.

Для примера рассмотрим измерение коэффициента отражения зеркал ρ_v . Данный параметр может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\rho_v = \frac{\int_{380}^{780} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} D_\lambda V(\lambda) d\lambda} \approx \frac{\int_{380}^{780} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\int_{380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda},$$

где D_λ – относительное распределение спектральной мощности осветителя; $V(\lambda)$ – функция эффективности свечения, определяющая стандартного наблюдателя для фотометрии.

В случае многослойной структуры спектральные коэффициенты отражения $\rho(\lambda)$ могут быть рассчитаны из спектральных коэффициентов пропускания и отражения отдельных компонентов следующим образом:

- для двуслойной структуры:

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda) \rho_2(\lambda)}{1 - \rho_1'(\lambda) \rho_2(\lambda)},$$

где $\rho_1(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения наружного слоя, замеренный в направлении падающего излучения; $\tau_1(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания наружного слоя; $\rho_2(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения второго слоя, замеренный в направлении падающего излучения; $\rho_1'(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения для наружного слоя, замеренный в направлении, противоположном направлению падающего излучения;

- для трехслойной структуры:

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda) \rho_2(\lambda) [1 - \rho_1'(\lambda) \rho_3(\lambda)] + \tau_1^2(\lambda) \tau_2^2(\lambda) \rho_3(\lambda)}{[1 - \rho_1'(\lambda) \rho_2(\lambda)] [1 - \rho_1'(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \rho_2^2(\lambda) \rho_1'(\lambda) \rho_3(\lambda)},$$

где $\rho_3(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения третьего слоя, замеренный в направлении падающего излучения; $\tau_2(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания второго слоя.

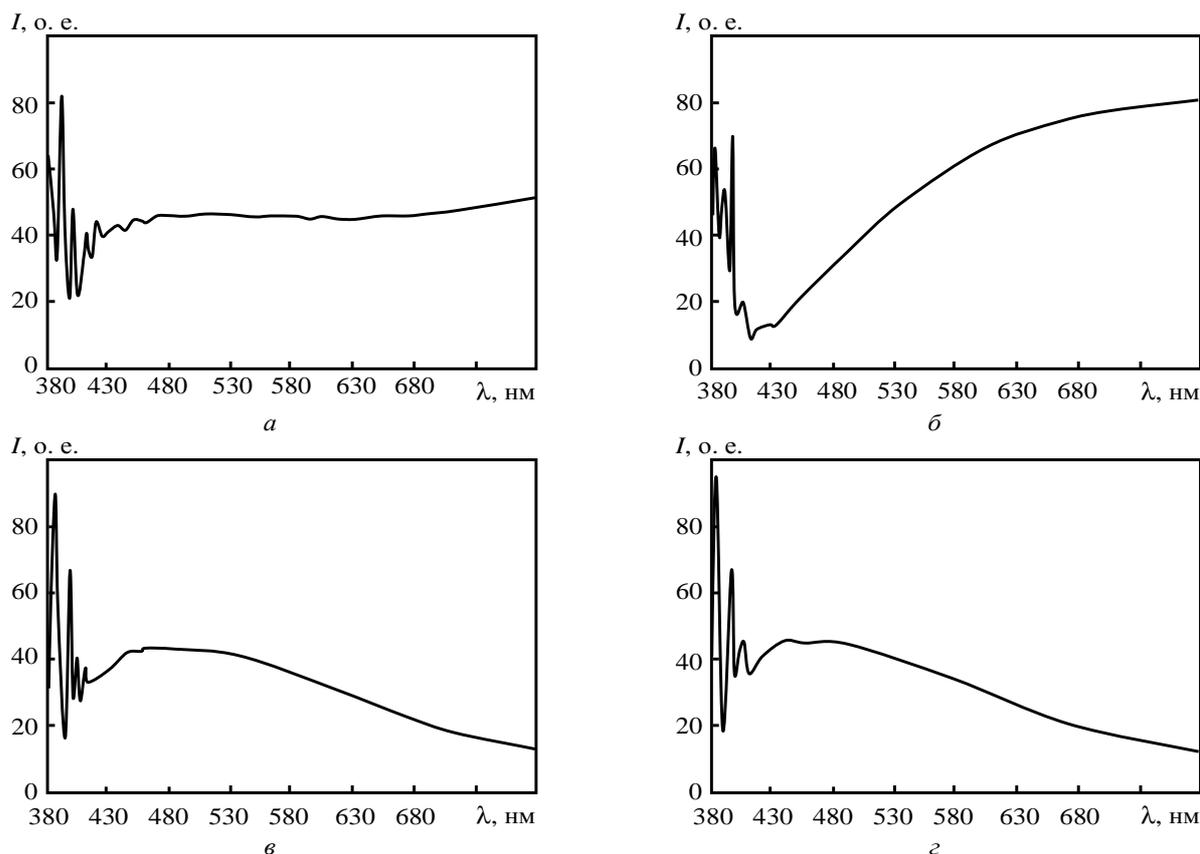


Рис. 5

При проведении экспериментов при условии нормировки по спектру эталона *A* в качестве источника света может быть применена галогенная лампа [7]. На рис. 5 приведены спектры отражения для четырех образцов зеркал: *a* – плоское белое зеркало из хрома с расчетным коэффициентом отражения 70.1 %; *б* – сферическое зеркало из нитрида титана желто-золотистого цвета (коэффициент отражения 54.5 %); *в* – голубое плоское зеркало из слоев титана и оксида титана (коэффициент отражения 43 %); *г* – голубое сферическое зеркало из слоев титана и оксида титана (коэффициент отражения 40.8 %).

На спектрах отражения всех образцов в диапазоне 380...430 нм проявляются шумы. Данный факт связан с недостатком интенсивности излучения галогенной лампы в данном диапазоне, поэтому для перекрытия неинформативной обла-

сти целесообразно применение дополнительного источника излучения. Самым удобным и дешевым вариантом может быть ультрафиолетовый диод [7]. Галогенная лампа хорошо перекрывает область 430...780 нм, ультрафиолетовый диод – 380...430 нм, поэтому для получения спектра во всем видимом диапазоне рационально совмещение обоих источников света.

Вычисленные по приведенной методике данные достаточно близки к результатам, полученным альтернативным способом в сертификационной лаборатории. В данной статье было рассмотрено определение спектрального коэффициента отражения зеркал и приведены экспериментальные данные, полученные по данной методике. Однако разработанные методика и аппаратура позволяют осуществлять комплексную задачу измерения спектральных характеристик стекол и зеркал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кострин Д. К., Ухов А. А. Метод подбора близких по цветовым характеристикам белых светодиодов для систем освещения // Контроль. Диагностика. 2013. № 7. С. 47–50.
2. Кострин Д. К., Ухов А. А. Интерференция в поверхностном слое и метрологические параметры спек-

трометров с ПЗС-фотоприемниками // Датчики и системы. 2013. № 5. С. 13–15.

3. Кострин Д. К., Ухов А. А. Влияние изгибов оптоволоконного спектрометра на результаты колориметрических измерений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. Вып. 1. С. 9–12.

4. Кострин Д. К., Ухов А. А. Светосигнальная характеристика ПЗС-фотоприемника в области больших световых потоков // Контроль. Диагностика. 2013. № 5. С. 40–42.

5. Кострин Д. К., Ухов А. А. Обнаружение и компенсация ложных спектральных линий в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой // Контроль. Диагностика. 2013. № 6. С. 26–28.

6. Ухов А. А., Кострин Д. К. Оптимизация системы регистрации многоканального оптического спектрометра // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. Вып. 4. С. 8–12.

7. Повышение точности и воспроизводимости результатов колориметрических измерений светоизлучающих диодов / Р. В. Юдин, Д. К. Кострин, Д. И. Шишов, А. А. Ухов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. Вып. 3. С. 8–13.

A. A. Uhov, V. A. Gerasimov, D. K. Kostrin

METHOD AND EQUIPMENT FOR DETERMINATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF GLASSES AND MIRRORS

Basic types of mirrors designs are considered. Their main spectral characteristics are given. Possibility of calculation of parameters of mirrors on spectrums of reflection and transmission, received by means of an optical spectrometer is shown. Experimental confirmation of efficiency of the developed calculation procedure is presented.

Automobile mirror, spectral characteristic, optical spectrometer
