
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.785.5:536.62

Н. П. БЕЛОВ, А. Д. ЯСЬКОВ, В. Н. ГРИСИМОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦВЕТНОСТИ ДИФФУЗНО ОТРАЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются конструктивные особенности и основные технические характеристики лабораторного спектрометра на основе полихроматора для измерения коэффициента отражения и определения параметров цветности диффузно отражающих объектов. Приводятся результаты экспериментальной апробации прибора.

Ключевые слова: интегрирующая сфера, колориметрия, спектр отражения.

Спектроколориметрические методы и средства исследований в настоящее время широко используются в различных областях науки и техники (см., например, работу [1]). Современные технологии колориметрии, как правило, предполагают измерение спектров отражения или пропускания объекта и последующее вычисление на основе спектральных данных его параметров цвета (цветности) в любой из принятых цветовых систем. В большинстве приборов для исследования объектов с диффузным отражением (пропусканием) используется интегрирующая сфера [2].

В настоящей статье рассматривается лабораторный спектрометр для измерения коэффициента диффузного отражения различных объектов и определения их колориметрических параметров в соответствии с действующими стандартами (МКО 1931 г., МКО 1964 г.); приводятся также результаты экспериментальной апробации этого прибора.

Внешний вид разработанного лабораторного спектрометра представлен на рис. 1, его структурная схема приведена на рис. 2. В состав прибора входят осветитель на базе интегрирующей сферы, блок спектрометра, электронная система сбора и обработки данных, а также компьютер с программным обеспечением для обработки, вывода и хранения результатов измерений.

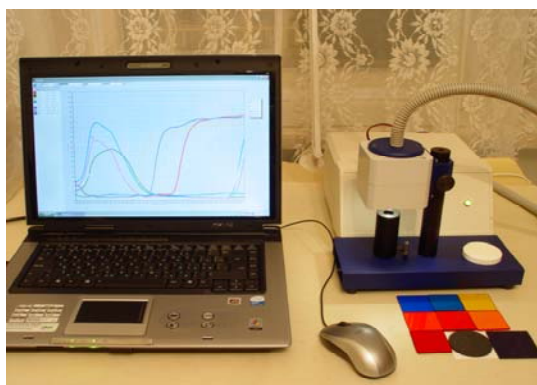


Рис. 1

В осветителе прибора использована интегрирующая сфера диаметром 70 мм. В качестве источника излучения используется малогабаритная галогенная лампа накаливания. Лампа установлена внутри интегрирующей сферы, что повышает эффективность светоотдачи. Прямое попадание излучения от лампы на образец (эталон) экранируется заслонкой. Интегрирующая

сфера имеет многослойное „белое“ покрытие с коэффициентом отражения во всем рабочем спектральном диапазоне прибора на уровне $R=0,95$. Отраженное от образца (эталона) излучение передается в блок спектрометра по волоконно-оптическому жгуту, что упрощает конструкцию осветителя. Волоконно-оптический жгут принимает излучение, отраженное центральной зоной образца диаметром 2,5 мм.

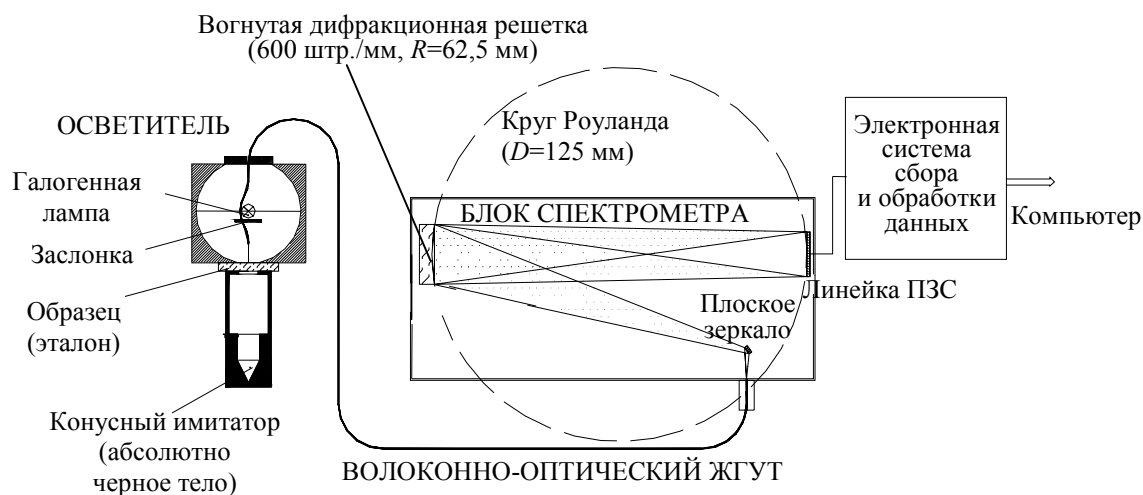


Рис. 2

Блок спектрометра построен на основе полихроматора с классической трехсекционной нарезной вогнутой дифракционной решеткой с постоянной 600 штр./мм, с радиусом кривизны подложки 62,5 мм. Спектр отраженного излучения формируется на круге Роуланда (диаметр круга составляет 125 мм) и регистрируется ПЗС-линейкой SONY ILX511. Калибровка шкалы длин волн спектрометра производилась по линиям излучения лампы ДРГС-12, а также положению характерных особенностей в оптических спектрах цветных стекол [3]; погрешность калибровки не хуже 0,5 нм.

Выходной сигнал ПЗС-линейки обрабатывался электронной системой сбора и обработки данных.

Используемое программное обеспечение позволяет получать и выводить данные измерений в виде графиков и/или числовых массивов, определять расчетным путем параметры цвета x , y , z для стандартных излучателей А, В, С или D_{65} и стандартных наблюдателей с углом поля зрения 10° (МКО 1931 г.) или 30° (МКО 1964 г.), а также осуществлять распечатку и хранение данных. На рис. 3 и 4 представлены рабочее окно и структура меню программы пользователя.

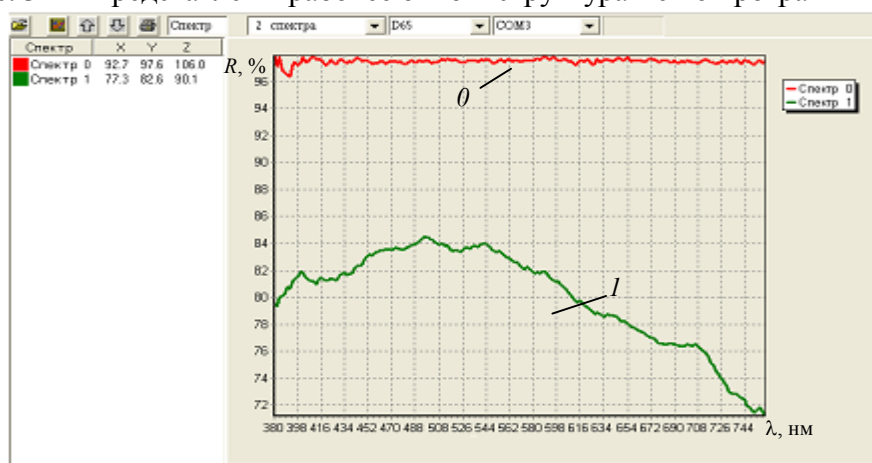


Рис. 3

Для примера в рабочем окне программы приведены графики коэффициента отражения эталона θ (стекло МС22) и стандарта „серого“ 1 (Standart 85).

Измерения производятся по однолучевой схеме, которая предполагает предварительную калибровку измерительного тракта. Процедура калибровки предусматривает выполнение двух операций: определение нулевого уровня сигнала, для чего используется конический имитатор абсолютно черного тела, и определение уровня максимального сигнала при помощи эталона на основе молочного стекла МС22, аттестованного в ФГУ „Тест — С.-Петербург“.

Основные технико-эксплуатационные параметры прибора

Рабочий спектральный диапазон, нм	380—760
Предел спектрального разрешения, нм, не хуже	5
Погрешность калибровки шкалы длин волн, нм, не хуже	0,5
Погрешность измерения коэффициента отражения, не хуже	0,01
Питание от сети	220 В, 50 Гц
Передача данных	Через USB порт

Существенной особенностью рассматриваемого спектрометра является использование в осветителе лампы-излучателя, помещенной в полость интегрирующей сферы, тогда как в большинстве распространенных аналогов применяется внешнее (вынесенное за пределы сферы) расположение источника света [2, 4, 5].

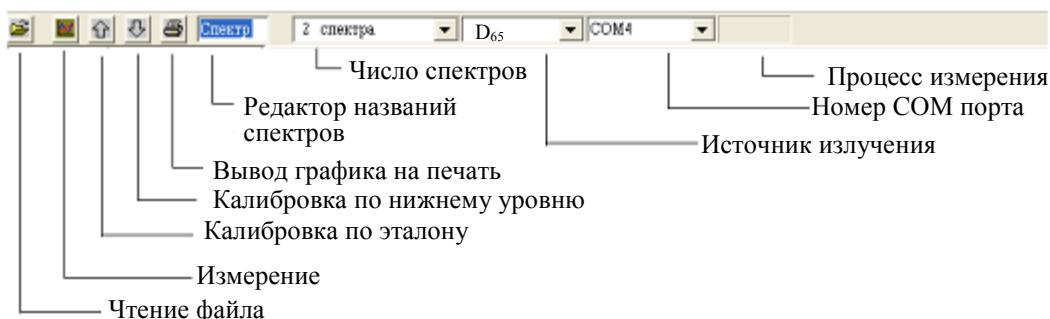


Рис. 4

Оптогеометрическая конфигурация интегрирующей сферы, использованной в данном приборе, схематически изображена на рис. 5. Для определения возможной систематической погрешности измерений, связанной с расположением источника света в полости интегрирующей сферы, были измерены спектры отражения эталонов „серого“ с коэффициентами отражения в пределах 0,50—0,85. Эти же эталоны независимо аттестовывались по отражению на лабораторном спектрометре, использующем фотометрическую интегрирующую сферу диаметром 180 мм с внешним излучателем в геометрии 8 °/d. В результате было установлено, что среднеквадратичное расхождение результатов проведенных измерений с поверочными данными составило примерно 0,01.

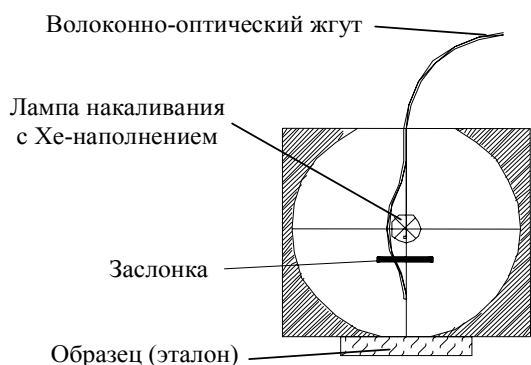


Рис. 5

Отметим очевидные, по мнению авторов, преимущества предложенной конфигурации интегрирующей сферы (см. рис. 5) по сравнению с аналогичными приборами, представленными, например, в стандартах [4, 5]. В интегрирующих сферах приборов-аналогов могут использоваться два внешних излучателя; для исследования объектов с индикатрисой отражения, отличной от ламбертовской (имеющих зеркальный лоск), применяется черное матовое покрытие (фильтр), которое наносится в области расположения детектора и охватывает угол с апертурой 15,5° [4].

Предложенная конфигурация интегрирующей сферы (см. рис.5), помимо упомянутых выше большей эффективности светоотдачи излучателя и относительной простоты конструкции в целом (за счет ее более высокой по сравнению с [4, 5] осевой симметрии), позволяет обеспечить более равномерную засветку поверхности

исследуемого образца. При необходимости использования черного фильтра для подавления влияния лоска образца на результаты измерений (как и в [4, 5]) в предлагаемой конфигурации интегрирующей сферы может быть существенно уменьшен апертурный угол фильтра (покрытия).

Экспериментальная апробация прибора производилась на традиционных для такого рода исследований объектах, в том числе лакокрасочных покрытиях, образцах целлюлозы и бумаги, полиграфических материалах и пр. За исключением экспериментов на образцах бумаги с фотооптическим отбеливателем, где требуется специальная калибровка прибора, и образцах с зеркальным компонентом отражения, во всех остальных экспериментах наблюдалась удовлетворительная сходимость (на уровне 0,02) результатов, полученных в ходе исследований, и независимых результатов измерений спектров отражения.

Относительно новую и перспективную область применения спектроколориметрических методов представляют собой медико-биологические исследования. Так, в последние два десятилетия эти методы стали весьма востребованными в области стоматологического материаловедения. Это связано с широким применением новых реставрационных (пломбирочных) материалов, удовлетворяющих современным эстетическим требованиям и позволяющих восстанавливать как анатомическую форму, так и цвет зуба.

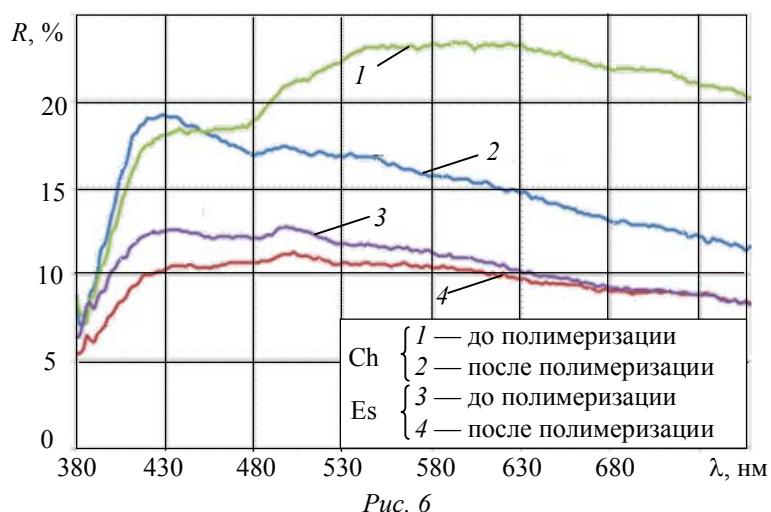


Рис. 6

При воспроизведении цвета реставрируемого зуба следует учитывать не только цвет материала, указанный в его паспорте, но и степень полупрозрачности, толщину накладываемого слоя, а также возможное изменение цвета в процессе полимеризации. Последний фактор обусловлен структурными изменениями большинства реставрационных материалов из-за полимеризационной усадки их органической матрицы [6]. Иллюстрацией вышесказанного может служить рис. 6, на котором представлены графики спектров отражения двух реставрационных материалов до и после полимеризации. Образцы имели одинаковую толщину (1,1 мм) и располагались на подложке черного цвета. Из представленных графиков следует, что в процессе полимеризации цвет материала Ch изменился, а параметры цвета материала Es остались практически без изменений. Кроме того, графики демонстрируют цветовое отличие материалов в полимеризованном состоянии, тогда как по паспорту они относятся к одной цветовой группе с аналогичными степенями полупрозрачности (цвет А3 VITA, эмалевые оттенки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. с англ.; Под ред. Л. Ф. Артюшина. М.: Мир, 1978.
2. Оптические свойства лакокрасочных покрытий / М. М. Гуревич, Э. Ф. Ицко, М. М. Середенко. Л.: Химия, 1984.
3. Цветное оптическое стекло и особые стекла: каталог / Сост.: К. И. Арефьева и др.; Под ред. Г. Т. Петровского. М.: Дом оптики, 1990.

4. ISO 2469:2007 Бумага, картон и целлюлоза. Измерение коэффициента диффузного отражения [Электронный ресурс]: <www.gost.ruscable.ru>.
5. ISO 2470:1999 Бумага, картон и целлюлоза. Измерение коэффициента диффузного отражения в синей области спектра (степень белизны по ISO) [Электронный ресурс]: <www.gost.ruscable.ru>.
6. Характер изменения цвета микрогибридных композитов в процессе полимеризации / *В. Н. Грисимов, А. Д. Яськов, Н. П. Белов* // Институт стоматологии. 2004. № 4 (25). С. 97—100.

Сведения об авторах

- Николай Павлович Белов** — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники; ст. науч. сотрудник; E-mail: belof@imail.ru
- Андрей Дмитриевич Яськов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники; E-mail: belof@imail.ru
- Владимир Николаевич Грисимов** — д-р мед. наук; Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И. П. Павлова, лаборатория оптических технологий

Рекомендована кафедрой
твердотельной оптоэлектроники СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
16.01.09 г.