

А. А. ВОРОНИН, Е. В. СМИРНОВА, И. Н. ФАИЗОВ

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОРТАТИВНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА

Приводится описание разработанной методики алгоритмической коррекции погрешностей портативных приборов на примере спектрофотометра, входящего в состав прибора „Кедр“, который предназначен для идентификации пород древесины. Предлагаемая методика позволяет повысить достоверность идентификации до 90 %.

Ключевые слова: спектр, спектрофотометр, эталон, алгоритмическая коррекция, температурная коррекция, погрешность измерения.

Введение. В настоящее время существует ряд задач по идентификации естественных и искусственных объектов, в частности, таких как порода древесины. Одним из вариантов решения подобных задач является применение спектрофотометрических методов неразрушающего контроля.

В Научно-производственном центре „Инновационная техника и технологии“ (Санкт-Петербург) разработан и создан прибор „Кедр“, предназначенный для идентификации лиственных и хвойных пород древесины на основе разработанных алгоритмов идентификации и ряда проведенных исследований. Принцип действия прибора основан на измерении, сравнительном анализе с эталонной базой данных и последующей математической обработке спектров диффузно отраженного от поверхности объекта (древесины) видимого и инфракрасного светового потока. В состав прибора „Кедр“ входит спектрофотометр, функциональная схема которого представлена на рис. 1, где 1 — фотометрический шар со встроенными источниками излучения 2 видимого и инфракрасного диапазонов; 3 — входная щель с электромеханической шторкой; 4, 6 — вогнутые стигматические дифракционные решетки; 5 — ПЗС-линейка (производства фирмы “Toshiba”); 7 — фотогальванический приемник ИК-излучения.

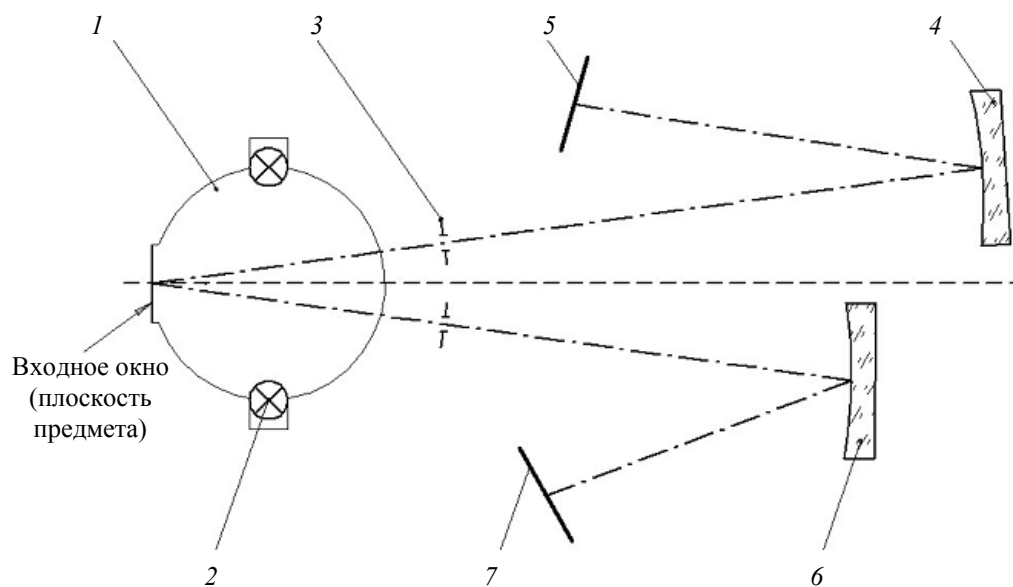


Рис. 1

Световой поток от источников излучения, размещенных в одной интегрирующей сфере, падает на торцевую поверхность исследуемого объекта, отражается от нее и через входную щель попадает на дифракционные решетки. Посредством диспергирующих элементов осуще-

ствляется разложение сигнала, полученного от исследуемого образца, в линейный спектр излучения и проецирование его на ПЗС-линейку приемников. С приемника сигнал поступает на встроенный микроконтроллер, где происходит его первичная обработка и преобразование в цифровой вид для дальнейшей передачи в компьютер.

Более подробно принцип работы и конструкция прибора „Кедр“ рассмотрены в работах [1, 2].

В ходе разработки и создания опытных образцов прибора был обнаружен ряд погрешностей при получении спектральной информации, влияющих на достоверность идентификации объектов. Для повышения достоверности распознавания необходима температурная коррекция результатов измерений. Настоящая статья посвящена алгоритмической (цифровой) коррекции нелинейности свойств приемников и источников излучения в зависимости от уровня интенсивности сигнала и рабочей температуры прибора [3, 4].

Методика алгоритмической коррекции. Алгоритмическая коррекция направлена на сохранение достоверности идентификации объектов в широком диапазоне температур. Суть алгоритмической коррекции заключается в следующем: выделяется фиксированный набор объектов (называемых далее эталонами), спектры диффузного отражения которых измерены как на стационарном оборудовании с высокой точностью, так и на портативном спектрофотометре, входящем в состав прибора „Кедр“. Различие вида спектров, полученных на стационарном и портативном спектрофотометрах, позволяет изучить факторы, повлиявшие на изменение вида спектральной информации. В ходе работы в качестве эталонов применялись четыре различные поверхности, внешне представляющие собой градацию серого цвета. Спектры диффузного отражения этих эталонов, измеренные на стационарном специализированном оборудовании в НПК „ГОИ им. С. И. Вавилова“ (Санкт-Петербург), представлены графиками на рис. 2 (кривые 1—4), здесь K — коэффициент диффузного отражения, λ — длина волны. На рис. 3 приведен график зависимости уровня интенсивности сигнала (p) от длины волны, построенный при помощи портативного спектрофотометра.

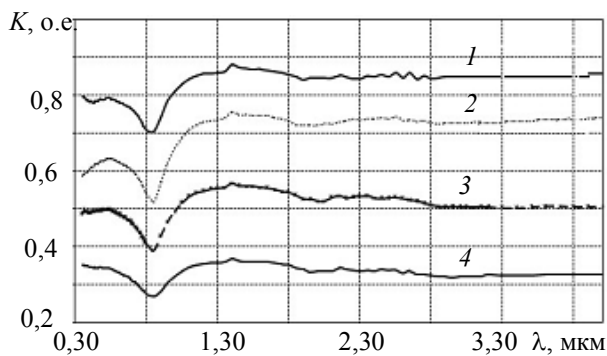


Рис. 2

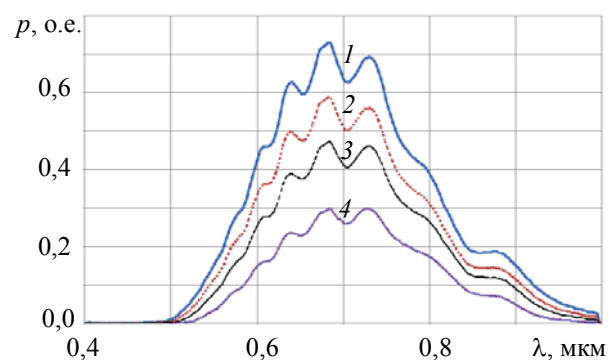


Рис. 3

Математический аппарат алгоритмической коррекции. Временно зафиксируем длину волны λ . Обозначим количество эталонов через n . На стационарном спектрофотометре интенсивность излучения этих эталонов равна s_1, s_2, \dots, s_n , на портативном — p_1, p_2, \dots, p_n . Задача заключается в нахождении функции пересчета интенсивности, измеренной на портативном спектрофотометре, в интенсивность, измеренную на стационарном. Обозначим эту функцию через $s(p)$. В конкретной задаче ограничим вид функции $s(p)$ и будем искать саму функцию методом наименьших квадратов, т.е. выбирать параметры так, чтобы число

$$I[s] = \sum_{i=1}^n (s(p_i) - s_i)^2$$

было минимально.

Экспериментально установлено, что функцию $s(p)$ можно считать линейной (рис. 4). Положим

$$s(p) = Ap + B,$$

где A, B — параметры.

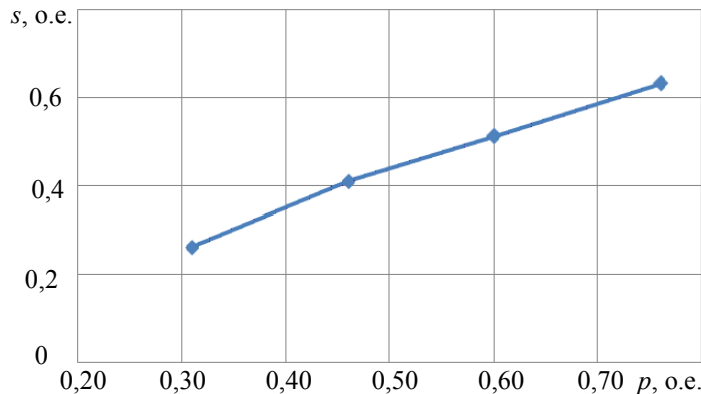


Рис. 4

Точка минимума функционала $I[s]$ определяется из соотношений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial A} I[s] &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial B} I[s] &= 0. \end{aligned} \right\}$$

В результате получена система из двух уравнений с двумя неизвестными (A, B). Система всегда невырождена, поэтому решение существует, единственно и задается формулами

$$A = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n p_i s_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n s_i \right) \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2}, \quad B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n s_i \right) \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2}.$$

Отметим, что в рассматриваемом примере $n=4$ и длина волны λ фиксирована. На самом деле все параметры в этих расчетах зависят от λ : $p_i = p_i(\lambda)$; $s_i = s_i(\lambda)$; $A = A(\lambda)$; $B = B(\lambda)$; $s(p) = s(\lambda, p)$.

После расчета функции $s(\lambda, p)$ спектр диффузного отражения любого объекта, измеренный на портативном спектрофотометре, можно преобразовать в линию, близкую к спектру того же объекта, измеренному на стационарном спектрофотометре. Пусть измеренный спектр есть функция $p(\lambda)$. Тогда преобразованный спектр вычисляется по формуле

$$\tilde{p}(\lambda) = s(\lambda, p(\lambda)).$$

В ходе исследований было установлено, что спектр, получаемый на портативном спектрофотометре, существенно зависит от температуры прибора. При изменении температуры уровень интенсивности сигнала фотоприемника изменяется. Таким образом, в соответствии с принятыми обозначениями все данные, полученные на портативном спектрофотометре, являются также и функциями температуры: $p_i = p_i(t, \lambda)$; $A = A(t, \lambda)$; $B = B(t, \lambda)$; $s(p) = s(t, \lambda, p)$. В этой связи спектры диффузного отражения эталонов измеряются не однократно, а в течение некоторого интервала времени, пока прогревается прибор. На рис. 5 показана зависимость уровня интенсивности сигнала, получаемого от одного и того же эталона на одной и той же длине волны, от температуры. Это фактически график функции $p_i(t, \lambda)$ от аргумента t при фиксированных параметрах.

Термокоррекция заключается в построении функции $s(t, \lambda, p)$ по значениям $p_i(t, \lambda)$. Отметим, что на практике сама функция $p_i(t, \lambda)$ неизвестна, известны лишь ее значения при определенных значениях температуры: $t_1 \dots t_j$. Поскольку алгоритм вычисления функции $s(t, \lambda, p)$ описан выше, достаточно построить семейство функций $p_i(t, \lambda)$ по значениям $p_{i,j}(\lambda)$, где $p_{i,j}(\lambda) = p_i(t_j, \lambda)$.

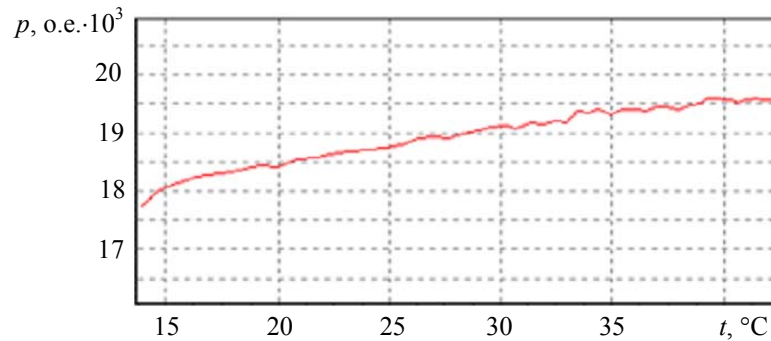


Рис. 5

Экспериментально установлено, что значение $p_i(t, \lambda)$ можно искать в виде квадратичной функции, т.е.

$$p_i(t, \lambda) = At^2 + Bt + C. \quad (1)$$

Параметры A , B , C выбираются как точка минимума функционала

$$I[p_i] = \sum_{j=1}^m (p_i(t, \lambda) - p_{i,j}(\lambda))^2.$$

Точка минимума функционала $I[p_i]$ определяется из соотношений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial A} I[p_i] &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial B} I[p_i] &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial C} I[p_i] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Выражения (2) представляют собой систему из трех уравнений с тремя неизвестными и решаются по методу Крамера.

Таким образом, определив коэффициенты A , B и C , можно подставить их в уравнение (1) и получить полную зависимость свойств приемника от температуры.

Заключение. В результате применения методики алгоритмической коррекции погрешностей измерений удалось значительно повысить качество входящего в состав прибора „Кедр“ спектрофотометра и уменьшить погрешность измерения спектральных характеристик, что позволило обеспечить существенное повышение достоверности идентификации пород древесины с 15 до 90 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин А. А., Смирнова Е. В., Смирнов А. П. К вопросу идентификации пород древесины с применением методов анализа спектров // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2010. № 2. С. 5—11.
2. Колгин Е. А., Ухов А. А., Воронин А. А. и др. Спектрометрическое устройство для идентификации пород древесины // Петербург. журн. электроники. 2008. № 2(55)—3(56). С. 116—120.
3. Воронин А. А., Митрофанов С. С. Исследование нелинейности позиционно-чувствительного приемника фирмы “Hamamatsu” // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 4. С. 47—50.

4. Латыев С. М. Компенсация погрешностей оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1985.

Сведения об авторах

- Андрей Анатольевич Воронин** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов;
E-mail: v-electronics@mail.ru
- Елена Викторовна Смирнова** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов;
E-mail: smirnova-elen@yandex.ru
- Ильдар Николаевич Фаизов** — студент; Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра высшей алгебры и теории чисел; E-mail: ildar_faizov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
16.02.10 г.