

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМЫ СПЕКТРОФОТОМЕТРА СФ-20

^{1,2}Д.В. Логвинов, ^{1,2}А.В. Киселев, ¹В.Е. Томин, ¹И.В. Русских, ^{1,2}А.А. Кочанов

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

theretryfrostnova@gmail.com

DEVELOPMENT OF A DIGITAL DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SPECTROPHOTOMETER SF-20

^{1,2}D.V. Logvinov, ^{1,2}A.V. Kiselev, ¹V.E. Tomin, ¹I.V. Russkikh ^{1,2}A.A. Kochanov

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

theretryfrostnova@gmail.com

Аннотация. В работе представлена цифровая приемная система оптико-механического измерительного комплекса — спектрофотометра (СФ-20). Система создана для автоматического измерения характеристик поглощения оптических фильтров в видимом диапазоне длин волн ($\lambda=400\text{--}800$ нм). Рассмотрены основные конструктивные особенности системы и ее возможности. Приводятся результаты калибровки СФ-20 по длинам волн с использованием спектра ртутной лампы. Изучены факторы, влияющие на точность спектрофотометрических измерений. Представлены тестовые измерения оптических фильтров.

Ключевые слова: спектрофотометр, длина волны, оптические фильтры, спектрофотометрические измерения, спектр ртутной лампы.

Abstract. We present a digital acquisition system of an opto-mechanical measuring complex — spectrophotometer (SF-20). The system is designed to automatically measure the absorption characteristics of optical filters in the visible wavelength range ($\lambda=400\text{--}800$ nm). The main design features of the system and its capabilities are considered. The wavelength calibration of the instrument is done with the help of a mercury lamp spectrum. Factors affecting the accuracy of spectrophotometric measurements were studied. Presented are the test measurements of the optical filters.

Keywords: spectrophotometer, wavelength, optical filters, spectrophotometric measurements, spectrum of a mercury lamp.

ВВЕДЕНИЕ

Спектрофотометр СФ-20 создан Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО) в 1982 г. для измерения и регистрации коэффициентов пропускания и оптической плотности различных прозрачных веществ, а также измерения спектров излучения источников в ультрафиолетовой среде, видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Спектрофотометр имеет два измерительных канала и оснащен двойным монохроматором, имеющим дисперсию (0.75–2.56 нм/мм) и широкий спектральный диапазон (200–2500 нм). Основным принципом работы СФ-20 является метод измерения отношения двух световых потоков (фотометрия); светового потока, прошедшего сквозь исследуемый образец (U2-канал), к световому потоку сквозь образец сравнения (U1-канал) [Техническое описание и инструкция по эксплуатации]. Данный принцип работы относится к двухлучевому режиму СФ-20. Измеряемой величиной в этом случае является коэффициент пропускания света фильтром на разных длинах волн. Также имеется однолучевой режим, где задействован один канал вместо двух, при этом измеряется интенсивность светового потока прошедшего через один канал.

ЦИФРОВАЯ ПРИЕМНАЯ СИСТЕМА СФ-20

Нами была выполнена модернизация приемной системы СФ-20, которая заключалась в замене графического бумажного самописца на цифровую приемную систему, позволяющую автоматически выполнять регистрацию сигналов с аналоговых выхо-

дов спектрофотометра и проводить математическую обработку спектра исследуемого образца с записью графика в цифровой формат.

Для решения задачи была разработана печатная плата (рис. 1), которая осуществляет согласование аналоговых сигналов измерительных выходов СФ-20 с микроконтроллером. Плата включает в себя следующие основные функциональные блоки: (1) микросхема «триггер Шмитта», которая используется для преобразования прямоугольных импульсов измерительных каналов; (2) микросхема инвертирующего усилителя для работы с сигналом ФЭУ. С помощью микроконтроллера ATmega осуществляется передача измеренных сигналов на ПК, где происходит их последующая математическая обработка. Приемная система имеет следующие параметры: частота дискретизации АЦП~7 КГц с разрядностью АЦП–10 Бит; пропускная способность интерфейса UART 500 кБод/с [DataSheet Atmega328]. На рис. 2 представлены сигналы спектрофотометра, полученные на ПК с помощью печатной платы и микроконтроллера. Красные и синие прямоугольники — сигналы переключения каналов, черная кривая — сигнал с ФЭУ.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ПОСТРОЕНИЕ СПЕКТРОВ

В двухлучевом режиме работы СФ-20 измеряется коэффициент пропускания фильтра, который является мерой его прозрачности:

$$T=U_2/U_1 \quad (1)$$

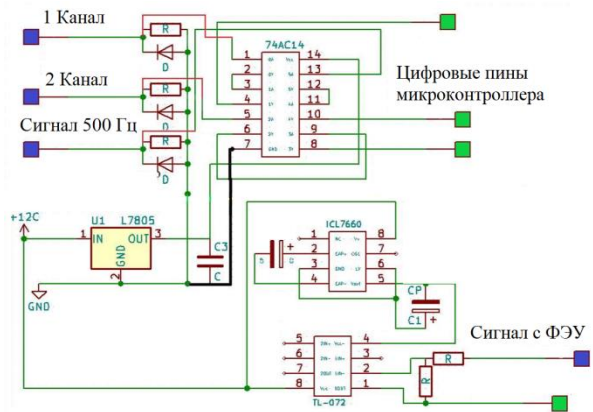


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема платы для формирования сигналов с управляющих и измерительных каналов

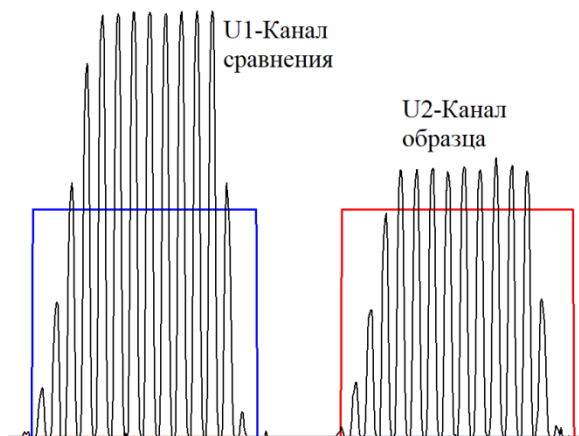


Рис. 2. Пример оцифрованных сигналов с выходов СФ-20

Также может быть оценена оптическая плотность фильтра — мера непрозрачности, равная десятичному логарифму отношения потока излучения U_2 , падающего на слой вещества, к потоку прошедшего излучения U_1 , ослабленного в результате поглощения и рассеяния [Palmer et al., 2014]. Оптическая плотность вычисляется по формуле:

$$D = \log(1/T). \quad (2)$$

Величины (1) и (2) могут быть измерены для каждой длины волны в диапазоне (400–800 нм). Диапазон измеряемых длин волн ограничен характеристиками приемной системы и будет расширен в будущем. Движение по длине волны в СФ-20 осуществляется за равные промежутки времени и имеет заданную скорость в нм/сек. Переход от моментов измерений к длинам волн осуществляется умножением скорости сканирования на временной дискрет, при этом применяется калибровочный коэффициент (K), учитывающий отклонение скорости сканирования от ее паспортных значений.

КАЛИБРОВКА СФ-20 ПО ДЛИНАМ ВОЛН

Проверка функционирования оптической системы и оценка некоторых ошибок измерений осуществлялась с помощью ртутно-гелиевой лампы ДРГС-12 в рамках однолучевой схемы измерения. ДРГС-12 широко используется в качестве калибровочного

источника излучения линейчатого спектра в диапазоне длин волн 226.2–1083.0 нм [ГОСТ Р 8.889-2015]. Так, калибровка скорости сканирования производилась путем применения коэффициента

$$K = S_1/S_2, \quad (3)$$

где S_1 и S_2 — расстояния между двумя измеренными и эталонными линиями ртутной лампы в спектре. Юстировка сферических зеркал произведена путем фокусирования на щели зеленой спектральной линии 546.1 нм. Пример цифровой записи спектра ртутной лампы представлен на (рис. 3) Вертикальные линии — эталонные линии спектра ртутной лампы, взятые из [Технический паспорт, 2013]; кривые — измерения СФ-20.

ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСТОВЫХ ОБРАЗЦОВ ФИЛЬТРОВ

С помощью СФ-20 нами были произведены измерения двух оптических фильтров: (1) тестовый фильтр с заданной полосой пропускания в области 549 нм; (2) фиолетовое неодимовое стекло ПС7 [Каталог цветного стекла, 1967]). Для неодимового стекла, аналогичные измерения были выполнены на японском спектрофотометре Hitachi 3400. Полученные результаты представлены на рис. 4 и 5. Для неодимового стекла ПС7 дано также сравнение с известным стандартом [ГОСТ 9411-91, черт. 59]. Как видно из рис. 5, эталонный спектр (черная кривая) практически идентичен измеренному спектру СФ-20 (красная кривая). Небольшие отличия наблюдаются на краях спектра Измерения Hitachi-3400 дают в целом заниженные значения коэффициента пропускания ~5 % по отношению к эталону.

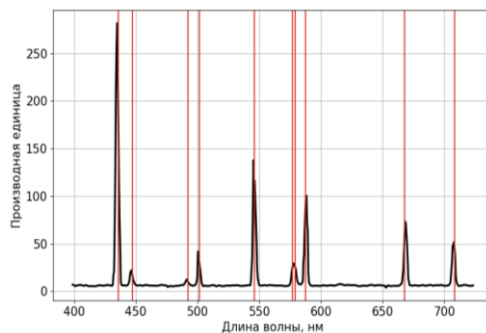


Рис. 3. Спектр ртутной лампы ДРГС-12, измеренный с помощью спектрофотометра СФ-20

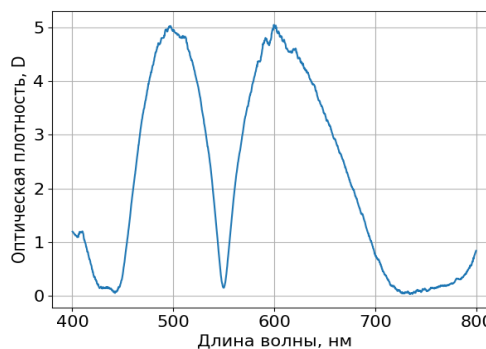


Рис. 4. Спектр поглощения света тестового образца фильтра (1)

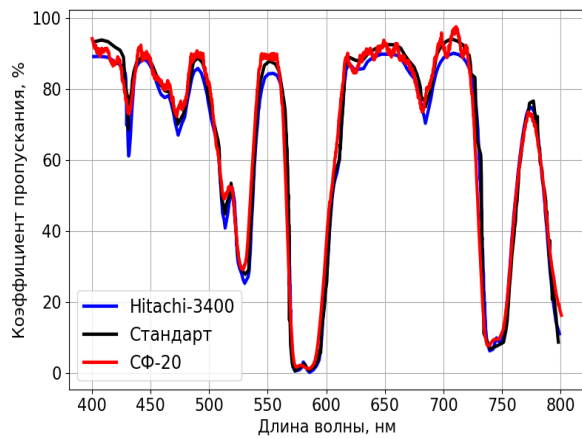


Рис. 5. Сравнение спектров фиолетового стекла ПС7 (2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена модернизация приемной системы спектрофотометра СФ-20. Цифровой процесс измерений позволил существенно упростить алгоритм исследования характеристик изготавливаемых оптических фильтров для нужд обсерваторий ИСЗФ СО РАН. Тестовые измерения с помощью новой системы регистрации показали хорошие результаты в срав-

нении с эталонными образцами и подтвердили правильность принятых технических решений. Дальнейшая модернизация приемной системы СФ-20 будет заключаться в расширении исследуемого диапазона длин волн с текущих 400–800 нм до 200–2500 нм.

Работа выполнена в рамках программы базового финансирования ФНИ. П.16.3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 8.889-2015. Государственная система обеспечения единства измерений.
- Каталог цветного стекла, издательство «Машиностроение». Москва. 1967. 62 с.
- Лампа ДРГС-12: Технический паспорт. М., 2013.
- Спектрофотометр СФ-20: Техническое описание., 1982.
- Palmer C. Diffraction Grating Handbook. New York: Newport Corporation., 2014.
- DataSheet ATmega328, URL: <https://www.microchip.com/www/products/en/ATmega328> (дата обращения 20.05.2019).