ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, 2025, № 2, с. 66–70

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 535.243; 681.518.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРА ДФС-24 НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ LABVIEW

© 2025 г. А. А. Хачатурова[a], *, М. Н. Нерсисян[a], **, О. Л. Айвазян[a]

[a] Институт физических исследований Национальной академии наук Армении
Армения, 0203, Аштарак-2

** e-mail: annakhachatur70@gmail.com*

*** e-mail: manuk_nersisyan@yahoo.com*

Поступила в редакцию 03.08.2024 г.
После доработки 08.10.2024 г.
Принята к публикации 16.12.2024 г.

Рассматривается актуальная проблема автоматизации спектроскопических измерений на базе спектрометра ДФС-24. Разработана универсальная система, состоящая из блока управления, блока сбора и регистрации данных и пользовательского интерфейса. Все задачи и соответствующие механизмы, связанные с применением спектрометра, контролируются через интерфейс, разработанный в среде LabVIEW. Использование цифровых методов обработки и управления позволяет увеличить разрешающую спектральную способность приборов и делают доступной регистрацию слабых сигналов. Представлены результаты применения разработанной системы управления.

DOI: 10.31857/S0032816225020068, **EDN:** GJFLVF

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основные эксплуатационные и метрологические параметры спектрометров соответствуют мировому уровню развития и внедрения системы спектрометрии. Основные преимущества у современных спектральных приборов связаны с использованием персонального компьютера (ПК) и возможностью цифровой обработки полученных спектров.

В связи с изложенным выше была поставлена задача разработать систему автоматизации процесса получения спектров комбинационного рассеяния (КР) и люминесценции на спектрометре советского образца ДФС-24. Такой подход может быть использован для того, чтобы заменить аналоговую систему управления и регистрации сигналов на цифровую, давая тем самым возможность использовать математические методы обработки результатов, полученных при изучении спектров комбинационного рассеяния.

Модернизации спектрометра ДФС-24 посвящено мало работ. В работе [1] осуществлена автоматизация спектрометра ДФС-24 для приведения его характеристик в соответствие с требованиями, предъявляемыми к современным спектральным приборам такого класса. В качестве ключевого элемента автоматизации спектрального комплекса использовалась 12-битная плата L-305 (разработка ЗАО “Л-КАРД”). Для обеспечения управления установкой с помощью ПК была написана специальная программа в среде Delphi.

Наша работа посвящена автоматизации ДФС-24, где используются программа LabVIEW с большими функциональными возможностями и 16-битная плата, что дает возможность увеличить динамический диапазон измерений. Кроме этого, в работах [2–8] модернизируются и автоматизируются морально устаревшие спектрометры других моделей различными методами.

2. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Спектрометр ДФС-24 предназначен для получения и регистрации спектров комбинационного рассеяния света, возбуждаемых с помощью

лазера [9]. Исследуемый образец помещается в осветительную систему и освещается источником возбуждения. Рассеянное образцом излучение направляется в монохроматор и разлагается в спектр, который поступает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Детектирование света осуществляется с помощью ФЭУ-79. В спектрометре используется двойной монохроматор со сложением дисперсии. Монохроматор обладает высокой разрешающей способностью и имеет рабочий диапазон длин волн от 400 до 850 нм. Диспергирующим элементом служат две одинаковые дифракционные решетки 1200 штр./мм.

Сканирование спектра осуществляется путем поворота дифракционных решеток, которые установлены на одном поворотном столике и одновременно поворачиваются от синхронного электродвигателя, вращение которого передается на винт синусного механизма. В спектрометре используются два датчика с кулачками, которые замыкают контактные группы, управляющие впечатыванием отметок на диаграммную ленту. Один из контактных датчиков срабатывает через каждые 0.1 нм, другой – через 1 нм.

Цель автоматизации работы спектрометра ДФС-24 заключалась в том, чтобы программно управлять скоростями сканирования спектра и работой электродвигателей, а также регистрировать интенсивность спектра цифровым способом. Структурная схема измерительной системы показана на рис. 1. В блок “Механизм управления” входят электромагнитные муфты скоростей, электродвигатель и синусный механизм для вращения дифракционной решетки.

Для управления ДФС-24 и сбором информации использовалась плата USB-6002 (Low-Cost Data Acquisition (DAQ) USB Device) фирмы National Instruments [10], которая инсталлировалась в USB-порт компьютера. Плата имеет 4 дифференциальных канала аналогового ввода, а также 13 цифровых портов ввода/вывода. Имеющийся на плате аналого-цифровой преобразователь (АЦП) осуществляет 16-разрядное преобразование. Диапазон рабочих напряжений АЦП составляет от +10 В до −10 В. Уровни напряжения входного и выходного цифровых портов соответствуют стандартным TTL-уровням. Максимальная скорость сканирования 50 кГц/с.

Для управления электромагнитными муфтами скоростей и реперными сигналами длин волн (0.1 и 1 нм) был разработан блок управления (БУ), принципиальная схема которого приведена на рис. 2. Расположенные в БУ 8 релейных переключателей (K_0–K_7) подключаются параллельно контактам кнопочных переключателей скоростей двигателей на рабочей панели спектрометра. Замыкание контактов реле имитирует нажатие соответствующих клавиш панели управления. Также в блоке имеется светодиодная индикация скоростей и срабатывания контактных датчиков (реперов) в режиме через каждые 0.1 или 1 нм. Принципиальные схемы расположенных в БУ блоков регистрации реперных сигналов и управления электродвигателями представлены в Приложении [11] (рис. 1, 2).

Первые 4 бита (D_0–D_3) 13-битового цифрового выходного порта модуля сбора данных USB-6002 выделены для управления скоростями электродвигателей. В спектрометре предусмотрены 7 скоростей работы электродвигателя: с 1 по 5 – скорости для медленного мотора, а 6 и 7 – для быстрого мотора. Оба двигателя могут управляться с помощью однопроводной цепи. Двигатель механически связан с дифракционной решеткой, отвечающей за изменение длины волны в спектрометре. Для управления двигателями (медленным или быстрым) выделены 2 бита (D_4, D_5) цифрового выходного порта платы USB-6002. Для регистрации и подсчета реперных импульсов были задействованы два цифровых входа D_6 и D_7 (соответственно для реперов 0.1 и 1 нм).

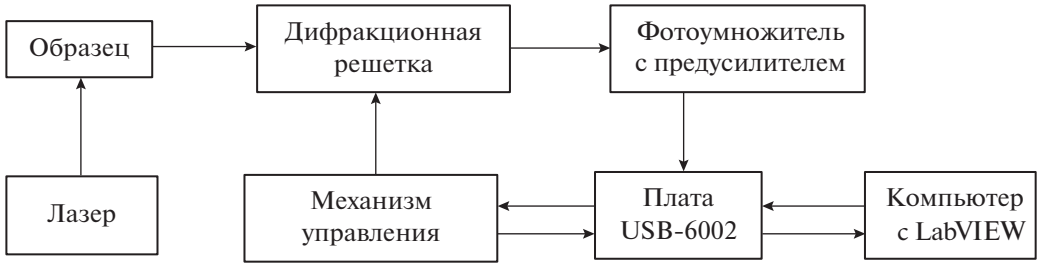

Рис. 1. Структурная схема системы управления спектрометром ДФС-24.

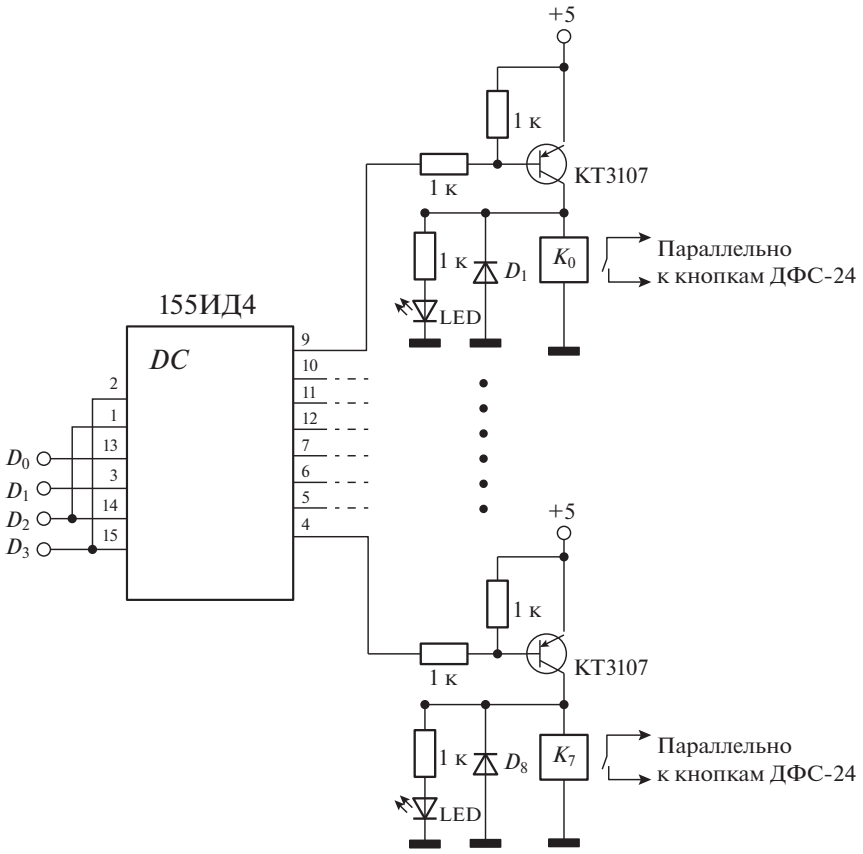

Рис. 2. Принципиальная схема блока управления скоростями сканирования спектра. D_1–D_8 – 1N4001, K_0–K_7 – HRS4H-S-DC5.

3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработка программного обеспечения (ПО) осуществлялась в среде LabVIEW. Изображение пользовательского интерфейса программы представлено в Приложении [11] (рис. 3). Программа выдает на цифровых выходах платы USB-6002 необходимый для соответствующей скорости двигателя цифровой код, который через релейные контакты БУ с помощью электромагнитных муфт управляет скоростью сканирования спектра.

Регистрация спектра происходит по следующему алгоритму: с лицевой панели программы пользователь может установить необходимые параметры: режим (значения для реперов 0.1 или 1 нм); начальная и конечная длины волны; скорости сканирования (1–7); режим мотора (медленный, быстрый, стоп) и направление движения мотора (прямой или обратный ход), а также время регистрации сигналов. После запуска программы включается двигатель спектрометра и происходит регистрация сигнала с ФЭУ.

Для того чтобы выставить желаемое начальное значение длины волны вручную, в программе предусмотрен ручной режим выбора длины волны, для чего элемент управления “Выбор мотора” ставится в положение “Стоп мотор”, а элемент “Скорости мотора” в положение “Manual” (Ручной), после чего можно устанавливать желаемую длину волны с панели спектрометра. Также в программе предусмотрен режим полного отключения (режим Off) – в нем двигатели отсоединены от коробки скоростей. Цифровые коды на цифровых выходах платы USB-6002 для управления выбором скоростей сканирования спектра, ручного режима и режима полного отключения мотора приведены в табл. 1.

Информация о текущей длине волны $\lambda_{тек}$ и количестве посчитанных реперных сигналов высвечивается на индикаторах “Счетчик импульсов” и “Текущая длина волны”.

Данные, полученные в результате работы программы, записываются в текстовый файл или в xls-файл, имя которого автоматически присваивается программой или задается вручную

Таблица 1. Необходимый цифровой код на цифровых выходах USB-6002 для управления выбором скоростей сканирования спектра и для режимов полного отключения и ручной установки длин волн на спектрометре ДФС-24

Номер скорости	1	2	3	4	5	6	7	Ручной режим (manual)	Режим полного отключения (off)	Цифровые выходы
Цифровой код	0	1	0	1	0	1	0	1	x	D_0
	0	0	1	1	0	0	1	1	x	D_1
	0	0	0	0	1	1	1	1	x	D_2
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	D_3

с лицевой панели программы. Для удобства предусмотрено чтение ранее записанных файлов с индикацией на графике. Полученные кривые на экранах Spectrogram и Oscilogram являются графическими отображениями зависимостей интенсивности излучения от длины волны (измеряемой в нм или $см^{-1}$) и изменения сигнала с течением времени соответственно.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система цифрового управления и цифровой регистрации спектров высокого разрешения на базе спектрометра ДФС-24. При этом в кинематическую схему ДФС-24 не были внесены никакие изменения, т. е. сохранился стандартный режим его работы. Были разработаны аппаратная и программная части на основе программы LabVIEW с использованием твердотельного непрерывного лазера с диодной накачкой (модель MLL-N-473A-500 мВт) с длиной волны 473 нм. Управление спектрометром полностью реализовано в среде программирования LabVIEW, которая совместима с Windows 10 и Windows 11. Полученное ПО позволяет проводить измерения в полном диапазоне длин волн (400–800 нм) или частот (25 000–12 500 $см^{-1}$) спектрометра ДФС-24. Результат измерения может быть представлен как зависимость интенсивности излучения от длины волны (нм), или волнового числа ($см^{-1}$), или энергии (эВ). Эта система представляет интерес для исследования спектров люминесценции и комбинационного рассеяния.

Для подтверждения правильной работы разработанной системы управления и сравнения результатов было проведено измерение спектров КР кристаллов $PbMoO_4$ (молибдат свинца) и YAG–Nd (алюмоиттриевый гранат с неодимом). Частотный спектр кристалла YAG–Nd представлен в диапазоне от 100 до 1600 $см^{-1}$. Графики полученных спектров приводятся в Приложении [11] (рис. 4, 5). Анализ результатов тестирования показал, что полученные экспериментальные данные полностью совпадают с представленными в литературе результатами разных авторов [12].

В результате удалось улучшить функциональные возможности базового ДФС-24. Расширился динамический диапазон измерений, что повысило точность измерения интенсивности, добавились возможности получать данные в оцифрованном виде и проводить дальнейшую математическую обработку полученных результатов, одновременно регистрировать спектры люминесценции и КР, а также сравнивать полученные спектры с имеющейся базой данных КР-спектров.

Получение данных в оцифрованном виде и использование реперных сигналов спектрометра ДФС-24 для определения текущей длины волны дают возможность непрерывного контроля длины волны с точностью 0.1 нм, которого нет в других методиках измерения КР-спектров (например, при использовании шагового двигателя).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Представленные исследования проводились в рамках бюджетного финансирования, а также при поддержке Комитета по науке РА в рамках научного проекта №21T-2F024 “Исследование полупрозрачных темно-серых обсидианов из армянских месторождений под воздействием гамма-облучения”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козлов Н.П., Орешин О.М.* // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2008. № 2 (61). С. 288.
2. Филатов *А.Л., Бышевский-Конопко О.А., Яременко Н.Г., Карачевцева М.В., Кораблев Е.М.* // ПТЭ. 2022. № 1. С. 97. http://doi.org/10.31857/S0032816222010037

3. *Журенко С.В., Ткачёв А.В., Гунбин А.В., Гиппиус А.А.* // ПТЭ. 2021. № 3. С. 88. http://doi.org/10.31857/S0032816221020257
4. *Giménez A.J., Farías R.F., Yáñez-Limón J.M.* // J. Appl. Res. Techn. 2014. V. 12. № 1. P. 139. https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)71613-X
5. *Kraminin S.P., Zobov E.M., Zobov M.E.* // J. Appl. Spectrosc. 2015. V. 82. P. 307. http://doi.org/10.1007/s10812-015-0103-2
6. *Estudillo-Ayala J., Moreno J.L., Rojas-Laguna, Roberto, Martin -Vela J., Alvarado-Mendez E., et al.* // Proc. SPIE, 5th Iberoamerican Meeting on Optics and 8th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Their Applications. 2004. V. 5622. P. 1033. https://doi.org/10.1117/12.591172
7. *Zinchenko T., Pecherskaya E., Golubkov P., Artamonov D., Kozlov G., Shepeleva Y.* // Proced. Comp. Sci. 2020. V. 167. P. 477. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.262
8. *Villanueva-López V., Pacheco-Londono L.C., Haibach F.G. and Hernández-Rivera S.P.* // J. Instrum. 2021. V. 16. P. T05005. https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/05/T05005
9. Спектрометр ДФС-24. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Ю-34.14.216 ТО. 1984.
10. Руководство по эксплуатации USB-6002. https://www.ni.com/pdf/manuals/374371a.pdf
11. Приложение. https://www.iet.ras.ru
12. *Каминский А.А.* Лазерные кристаллы. Москва: Наука, 1975.