

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^{*,*}, М. Н. Нерсисян^{*,**}, О. Л. Айвазян^а

*^аИнститут 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.

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.

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

Для управления ДФС-24 и сбором информации использовалась плата USB-6002 (Low-Cost Data Acquisition (DAQ) USB Device) фирмы National Instruments [10], которая устанавливалась 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 хранилище ПТЭ [11].

Рис. 2. Принципиальная схема блока управления скоростями сканирования спектра.

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).

3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработка программного обеспечения (ПО) осуществлялась в среде LabView. Изображение пользовательского интерфейса программы представлено в хранилище ПТЭ [11]. 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.

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 спектрометреДФС-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

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 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 ($25000\text{--}12500\text{ см}^{-1}$) 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 хранилище ПТЭ [11]. 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 РАН в рамках научного проекта №21Т-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., Ткачѳв А.В., Гунбин А.В., Гунпиус А.А. // ПТЭ. 2021. № 3. С. 88. <http://doi.org/10.31857/S0032816221020257>
4. Giméneз 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](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. <https://www.iet.ras.ru/>

12. *Каминский А. А.* Лазерные кристаллы. Москва: Наука, 1975.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

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

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

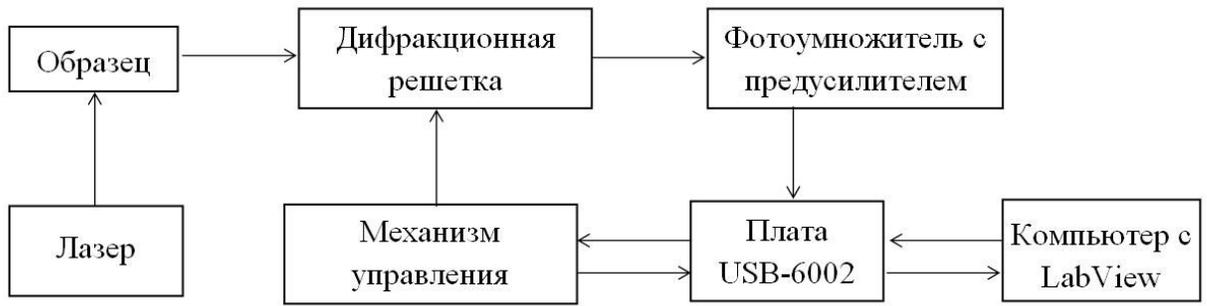


Рис.1

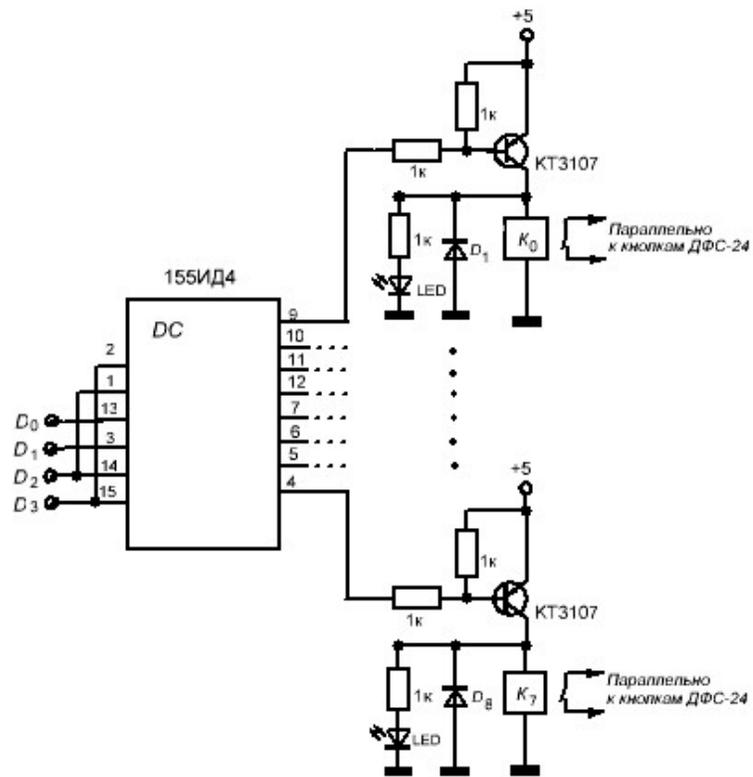


Рис.2

AUTOMATION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE DFS-24 SPECTROMETER BASED ON LABVIEW

©2024. A. A. Khachaturova*, M. N. Nersesyan**, O. L. Ayvazyan

*Institute for Physical Research,
National Academy of Sciences of Armenia,
0203, Ashtarak-2, Armenia*

Keywords: spectroscopy, monochromator, wavelength, photomultiplier, reference, LabView

Abstract: The article solves the actual problem of automation of spectroscopic measurements based on the DFS-24 spectrometer. A universal system has been developed, which consists of a control unit, a data acquisition and recording unit, and a user interface. All tasks and corresponding mechanisms associated with the use of the spectrometer are controlled through an interface developed in the LabVIEW environment. The use of digital processing and control methods allows increasing the resolution of the resolving spectral power of the device and recording weak signals. The results of using the developed control system are presented.

REFERENCES

2. Filatov A.L., Byshevsky-Konopko O.A., Yaremenko N.G., Karachevtseva M.V., Korablev E.M. // *Instruments and Experimental Techniques*. 2022. V. 65. № 1. P. 80. <http://doi.org/10.1134/S0020441222010031>
3. Zhurenko S. V., Tkachev A. V., Gunbin A. V., Gippius A. A. // *Instruments and Experimental Techniques*. 2021. V. 64. № 3. P. 427. <https://link.springer.com/article/10.1134/S0020441221020202>
4. Giménez A.J., Farías R.F., Yáñez-Limón J.M. // *Journal of Applied Research and Technology*. 2014. V. 12. № 1. P. 139. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)71613-X](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 LatinAmerican 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. // *Procedia Computer Science*. 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>