

Е. С. Воропай, М. П. Самцов, А. Е. Радько, К. Н. Каплевский,  
П. П. Першукевич, М. В. Бельков, Ф. А. Ермалицкий

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ СДЛ-2

При разработке и исследовании новых материалов для квантовой электроники необходимо получать информацию о спектрах, лежащих в диапазоне длин волн от вакуумного ультрафиолета до нескольких микрон. Для решения подобных задач традиционно использовались люминесцентные спектрометрические комплексы производства ЛОМО (г.Санкт-Петербург) различных модификации, в том числе модели СДЛ-2. Спектрометры типа СДЛ-2 до настоящего времени имеются в ряде научных организаций. По своим базовым оптическим параметрам они вполне сопоставимы с приборами аналогичного уровня зарубежных производителей, уступая, однако, им по уровню автоматизации. Модернизация спектрометра, эксплуатируемого в ИМАФ НАН Беларуси (1990 г. выпуска), обусловлена стремлением более полного использования его потенциальных возможностей, которые ограничены морально и технически устаревшей системой управления и регистрации, состоящей из диалогово-вычислительного комплекса ДВК-3 и программируемого устройства управления спектральными приборами (УУП СП). УУП СП включает в себя: делитель сигналов (Д), служащий для ослабления сигналов в 10 раз; контроллер электроавтоматики (КЭА), служащий для управления всеми шаговыми двигателями и связи с реперными устройствами (РУ) обоих монохроматоров; два вычислителя (один (ВЧС-1) – для связи с ДВК-3, второй (ВЧС-2) – приемник сигналов с детекторов).

Основной целью модернизации было осуществление управления спектрометром с помощью персонального компьютера (ПК) IBM PC, что, естественно, предполагало и создание нового интерфейсного блока управления (БУ). Конкретными задачами в ходе создания БУ были следующие: разработка структурной схемы БУ; разработка функциональной схемы БУ с использованием новой элементной базы; разработка нового программного обеспечения (ПО), допускающего производить простым путем его коррекцию. При создании нового БУ естественным было стремление к сохранению блоков и узлов, а также функциональных возможностей базового прибора, которые зарекомендовали себя с лучшей стороны в процессе эксплуатации. Блок-схема модернизированного спектрометра СДЛ-2 представлена на рис. 1.

В блоке управления размещены регистрирующие устройства и интерфейсные платы. Посредством БУ обеспечивается: управление механиз-

мами сканирования шаговыми двигателями развертки (ШДР) монохроматоров возбуждения (МДР-12) и регистрации (МДР-23), приводами шаговых двигателей светофильтров (ШДА1 и ШДА2) каналов возбуждения и регистрации; управление приводами (ШДА3) механизма переключения зеркала, направляющего световой поток на выбранный приемник излучения (ФЭУ-100, фотодиод (ФД), фоторезистор (ФР) или ФЭУ-62); считывание информации с регистрирующих устройств (два 20-разрядных счетчика для регистрации импульсов с ФЭУ-100 и ФЭУ-62, 24-разрядный АЦП для регистрации сигналов с фотодиода или фоторезистора); первичную обработку спектральной информации и её сохранение; вывод данных в цифровой или графической форме на экран монитора или печатающее устройство; управление и обмен информацией с управляющим ПК по последовательному асинхронному интерфейсу.

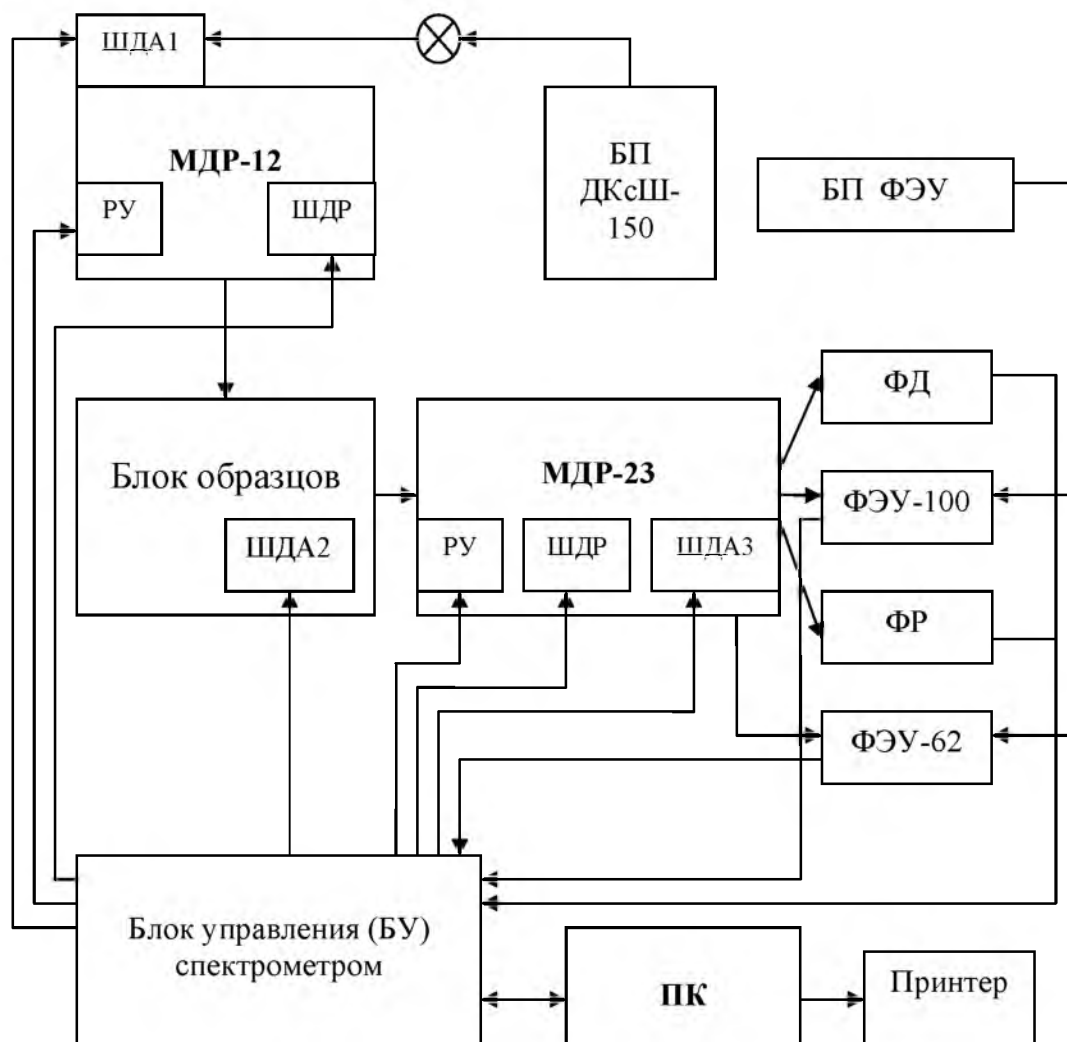


Рис. 1. Структурная схема спектрометра СДЛ-2

Размеры блока управления – 200х300х400 мм, максимальная потребляемая мощность – 140 Вт. В качестве источника питания ФЭУ используется автономный блок - источник высокого напряжения HVPS-320 (разработка ПК ОДО «Спецприбор»). Для охлаждения ФЭУ и подсчета числа импульсов сохранены прежние блоки.

В качестве основного узла для регистрации и управления монохроматором разработано устройство на базе репрограммируемого микроконтроллера семейства MSC-51. Данный контроллер обладает широким набором периферийных возможностей (flash-ROM память объемом 8 Кбайт с гарантией 1000 циклов перезаписи), прост в отладке и программировании. На контроллер возложены функции приема сигналов канала регистрации, формирования управляющих последовательностей для шагового двигателя монохроматора и обеспечения связи с компьютером. В данном устройстве присутствуют следующие структурные элементы: микроконтроллерное ядро, осуществляющее управление всем аппаратным комплексом; интерфейсная часть, отвечающая за обмен данными между персональным компьютером и устройством (реализация интерфейса заложена изготовителем в самом микроконтроллере); силовая часть управления шаговым двигателем, реализованная на четырех транзисторных ключах (сканирование, выбор его скорости, плавный разгон и торможение шагового двигателя осуществляется путем выбора подходящего режима в программе управления сканированием); модуль регистрации (в спектрометре оба ФЭУ работают в режиме счета фотонов).

Для обеспечения большого динамического диапазона канала регистрации (около  $10^6$ ) режим счета однофотонных импульсов в микроконтроллере реализован в два этапа: сначала регистрируемые импульсы поступают на внешний 4-х разрядный счетчик-предделитель, а затем на встроенный в микроконтроллер 16-ти разрядный счетчик. Информация с предделителя считывается в контроллер, который осуществляет «стыковку» полученных кодов.

Основными достоинствами такой системы являются: высокая гибкость (поскольку управляющая программа, находящаяся в микроконтроллере, легко может быть изменена даже без извлечения самого микроконтроллера); компактность; относительная простота реализации.

По командам с ПК устройство управления обеспечивает формирование управляющих сигналов для монохроматоров, выполнение цикла регистрации импульсов за заданный промежуток времени, а также передачу информации в ПК.

Длина волны излучения и возбуждения определяется по числу шагов шагового двигателя ШДР, отсчитанных с помощью РУ от контрольного репера. Число шагов шагового двигателя между периодическими реперами.

рами контролируется. Длина волны контрольного репера задается по показанию механического счетчика. Контроль за сменой дифракционных решеток осуществляется по сигналу от соответствующих микропереключателей на контроллер электроавтоматики.

Функциональная схема БУ приведена на рис. 2. БУ конструктивно разделен на несколько блоков, реализующих отдельные функции и собранных на отдельных платах. Все платы в составе БУ питаются от общего блока питания.

Плата А1 - плата контроллера. Она является основной платой, на которой сосредоточено управление всем комплексом. На плате расположены следующие блоки: А1.1 - микроконтроллер семейства MSC-51 (AT89S8252), связанный с ПК по последовательному интерфейсу. Для согласования уровней сигналов микроконтроллера и интерфейса применена микросхема-преобразователь ADM202E. Микроконтроллер имеет встроенную память программ и данных, а также возможность изменения содержимого памяти без извлечения из системы, что облегчает отладку и

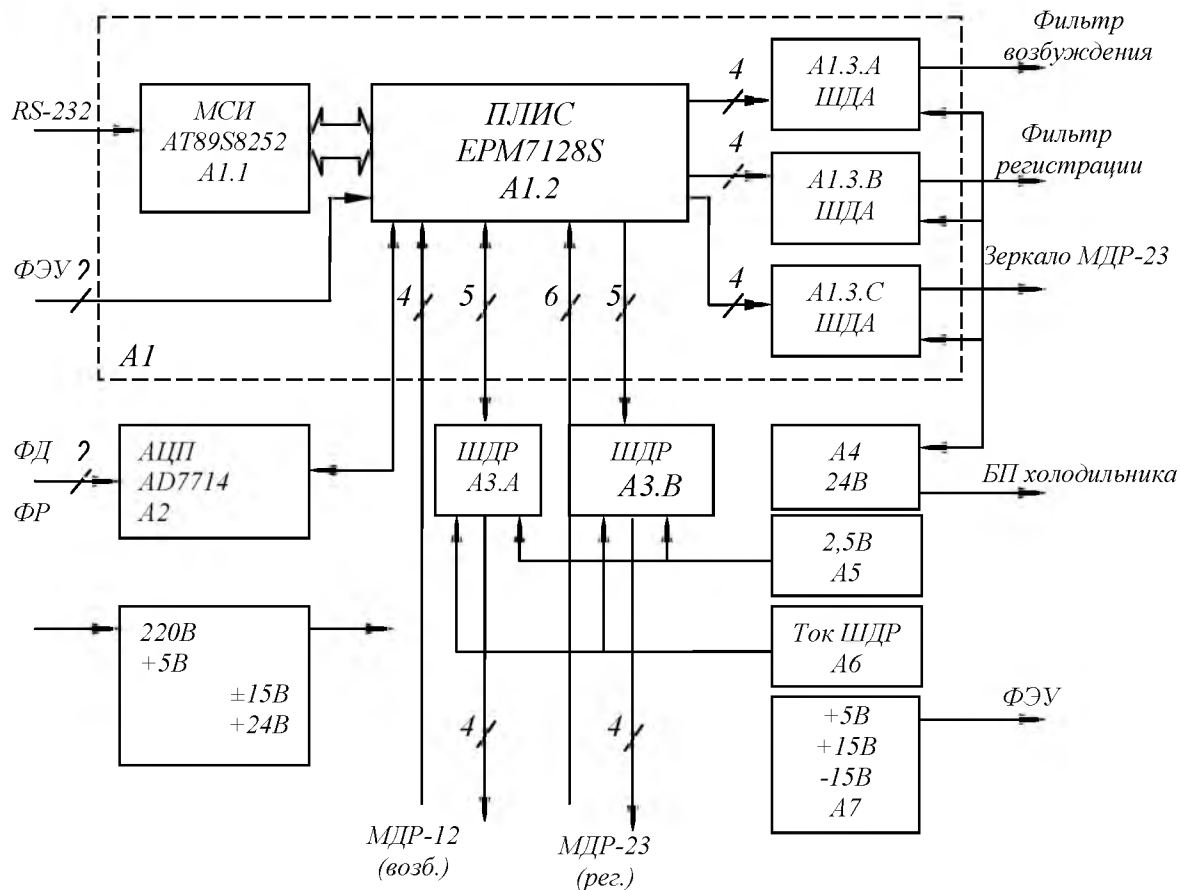


Рис. 2. Функциональная схема блока управления спектрометром

доработку программного обеспечения в случае изменения требований к системе. Блок А1.2 - программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) серии EPM7128S. Реализует предварительную обработку сигналов с/на микроконтроллер. Эти два элемента формируют все управляющие сигналы для других частей схемы. Так, ПЛИС обрабатываются входные импульсы с обоих ФЭУ, при этом для обеспечения запаса по разрядной сетке и скорости счета, к 16-ти разрядам счетчиков в составе микроконтроллера добавлены 4 разряда на ПЛИС. За счет организации двух независимых каналов счета появляется возможность путем добавления в систему еще одного ФЭУ и небольшой модификации программного обеспечения вывести и регистрировать сигнал опорного канала. Через эту же ПЛИС анализируются состояния датчиков (положения и установленных дифракционных решеток) в составе монохроматоров и формируются временные диаграммы управления шаговыми двигателями монохроматоров и приводов. Блоки А1.3 (А-С) коммутируют обмотки шаговых двигателей типа ШДА, которые управляют светофильтрами каналов возбуждения и регистрации (ШДА1 и ШДА2) и зеркалом выбора ФЭУ (ШДА3). Для питания двигателей используется напряжение +24 В с блока А8, подаваемое через ключи на полевых транзисторах поочередно на обмотки нужного двигателя. В состоянии покоя все обмотки отключены для уменьшения разогрева двигателей.

Плата А2 - плата АЦП. Содержит 24-х разрядный сигма-дельта АЦП AD7714, принимающий по командам с платы контроллера сигналы с аналоговых входов InA1 или InA2 (предусилители фотодиода и фоторезистора). Такой АЦП выбран, с одной стороны, с запасом по разрядной сетке для обеспечения возможности статистической обработки сигнала в целях увеличения динамического диапазона, с другой стороны, – в связи с наличием встроенного цифрового фильтра, позволяющего эффективно бороться с помехами от осветительной сети на частоте 50 Гц.

Платы А3(А и В) - платы управления ШДР. Содержат силовые цепи управления обмотками шаговых двигателей ШДР-711 монохроматоров МДР. В состоянии покоя на обмотки двигателей подается пониженное напряжение около 2,5 В с блока А5, обеспечивающее надежную фиксацию положения при минимальном потреблении энергии. Во время движения двигатели питаются от блока А6. Плата А4 - плата преобразователя 20 В. Формирует управляющее напряжение +20В для блоков питания холодильников ФЭУ. Напряжение +20В получается из +24В параметрическим стабилизатором IN7820. Плата А5 - плата питания подмагничивания. Формирует напряжение 2,5 В для питания ШДР в режиме простоя. При этом ток обмоток двигателей составляет около 1 А, чего доста-

точно для четкой фиксации положения двигателя при разумном разогреве обмотки за счет рассеяния на омическом сопротивлении. Плата А6 – плата питания ШДР. Формирует ток 3 А при напряжении от 6 В до 20 В. Это требуется для устранения зависимости сопротивления обмоток от частоты вращения двигателя, когда при повышении скорости вращения повышается индуктивное сопротивление и при фиксированном напряжении ток (а вместе с ним и крутящий момент) падает, что приводит к возникновению сбоев при позиционировании. Блок А7 – плата фильтров. Содержит фильтры для подавления помех по цепям питания предусилителей. Блок А8 – блок питания системы. Обеспечивает напряжения +5 В для питания логических схем и преобразователей питания ШДР, +15 В и -15 В питания предусилителей, и +24 В для плат А6 и А4, а также для питания ШДА.

Программное обеспечение (ПО) предназначено для управления спектрометрическим комплексом «Люмоскан», а также для сбора, обработки и отображения спектральной информации. Программа написана на языке программирования Object Pascal в среде разработки Delphi фирмы Borland для работы на компьютерах класса IBM под управлением операционной системой Windows 98/Me/2000/XP. Программа обеспечивает проведение регистрации скорректированных спектров люминесценции и возбуждения люминесценции, в процессе сканирования производит автоматическую установку и смену светофильтров перед монохроматорами возбуждения и регистрации, а также управляет направлением светового потока на выбранный фотоприемник в заданном спектральном диапазоне. Кроме этого, программа осуществляет оперативную обработку и сохранение экспериментальных данных, а также просмотр ранее полученных результатов.

Выведение спектральных данных в графическом и цифровом виде на экран происходит в режиме реального времени, это позволяет оперативно контролировать процесс измерения. Графопостроитель обеспечивает возможность выделения и просмотра в увеличенном виде любой части спектра, а также определение с помощью маркера, управляемого манипулятором мышь, положение и интенсивность спектральной полосы. Зарегистрированный спектр можно вывести на печать или сохранить на диске. Сохранение данных производится в текстовом файле.

Загрузка программы осуществляется с любого носителя, на котором в корневом каталоге или в отдельной папке должны храниться exe-файл исполняемой программы, а также служебный ini-файл и файлы калибровок. В начале выполнения программы производится ввод текущего положения монохроматора из ini-файла, который содержит не только положение

монохроматора в конце последнего сеанса работы, но и длину волны возбуждения, а также идентификатор последовательного порта связи ПК с управляющим устройством. В случае необходимости предусмотрена установка монохроматора в исходное положение с помощью концевых датчиков. Для устранения мёртвого хода в механизме монохроматора подход к заданной длине волны осуществляется всегда с одной стороны.

При загрузке программы происходит тестирование соединения компьютера с комплексом и в случае его отсутствия на экран выводится сообщение об ошибке соединения. После тестирования соединения на экране монитора одно за другим появляются диалоговые окна с запросом «ПОЛОЖЕНИЕ МДР-12» и «ПОЛОЖЕНИЕ МДР-23», в них выводится последнее положение счетчика длины волны монохроматора установленное в ходе предыдущего сеанса работы прибора, а также информация о типе используемой дифракционной решетки. В случае несовпадения выведенного положения монохроматора с показаниями счетчика МДР-12 или МДР-23 реальное положение монохроматоров вводится с помощью клавиатуры.

Разработанное программное обеспечение расширяет возможности установки. В результате модернизации увеличено количество режимов работы спектрометра. Реализована возможность работы как в режиме сканирования одного из монохроматоров, так и при одновременном сканировании обоих. Программное пошаговое управление сканированием монохроматорами позволяет в зависимости от требований эксперимента задавать величину шага и времени экспозиции в каждой точке (в исходном варианте возможно было только непрерывное сканирование с несколькими фиксированными скоростями). Это позволило значительно улучшить соотношение сигнал/шум, а также повысить точность установки монохроматоров при сканировании, особенно при малом шаге. Для обеспечения возможности развития и оптимизации программного обеспечения разработана стандартная библиотека программного интерфейса, позволяющая получать полный доступ к командам управления спектрометром. Возможность задания любых пределов сканирования позволяет расширить рабочие диапазоны дифракционных решеток и избегать их замены на фиксированной длине волны.

Таким образом, в процессе модернизации спектрометра СДЛ-2 нами осуществлена оригинальная разработка недорогого управляющего устройства и программного обеспечения, которые также можно использовать для одноканальных спектральных приборов на базе отечественных монохроматоров типа МДР-12, МДР-23, МДР-6 и любых совместимых фотоприёмников.