

УДК 53.07;535.23; 537.632

МНОГОЦЕЛЕВАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ И МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лагунов И.М., Лагунов С.И., Фадеева Т.А.

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: lagunov.igor@gmail.com, tatyana.fadeyeva@gmail.com*

В статье рассмотрена автоматизированная система, предназначенная для проведения оптических и магнитооптических исследований. Система выполнена на базе микропроцессорного блока, в состав которого входят аналоговые и цифровые узлы сбора экспериментальных данных и управления шаговыми двигателями.

Ключевые слова: физический эксперимент, автоматизация научных исследований, оптика, магнитооптика.

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения статистически значимых физических исследований, особенно с динамически изменяющимися параметрами, необходимо многократное повторение эксперимента по одной методике и на одном образце. Такие исследования возможно проводить только с помощью современных автоматизированных систем, сопряженных с персональным компьютером [1, 2].

Автоматизация экспериментальной установки необходима и при проведении экспериментов в ручном режиме, так как, например, для оптических систем требуется динамическая прецизионная многошаговая подстройка различных электромеханических узлов [3], что дополнительно повышает роль субъективного фактора, по сравнению с экспериментами, в которых осуществляется простой съем экспериментальной информации с датчиков и приборов. Работа в ручном режиме также выполняется во время поискового эксперимента при определении порядков физических величин и границ диапазонов их изменения.

Для выполнения научных и учебных экспериментов в Таврическом национальном университете имени В.И. Вернадского совместно кафедрами экспериментальной физики и общей физики была разработана и изготовлена многоцелевая автоматизированная система для оптических и магнитооптических исследований АСМОИ. Система адаптирована под методики проведения экспериментов по изучению эволюции сингулярностей [4], например, таких как распределение интенсивности и поляризации лазерного излучения прошедшего через вещество или оптическое волокно, а также для исследований магнитооптических эффектов Фарадея, Коттона-Мутона и др. [5].

В целом, система состоит из персонального компьютера, микропроцессорного блока, видеокамеры, силовой части управления электромеханическими узлами и набором датчиков.

В отличие от традиционных вариантов автоматизации эксперимента на базе встроенных слотов PCI, ISA [6, 7] в персональный компьютер, данная система базируется на отдельном микропроцессорном блоке, что позволяет использовать в ней не только стационарный персональный компьютер, но и переносные (типа notebook, netbook), имеющие последовательные интерфейсы обмена информацией с внешними устройствами [8].

1. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ АСМОИ

При разработке АСМОИ функциональность и характеристики ее различных узлов определялись методиками проведения экспериментов в области измерения эволюции картины распределения сингулярностей и магнитооптических эффектов. Архитектура системы основана на микропроцессорном блоке, выполненном на базе ядра AVR микроконтроллера ATmega 32 фирмы Atmel [9, 10]. Основные технические характеристики микропроцессорного блока АСМОИ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики микропроцессорного блока АСМОИ

№	Технический параметр	Единица измерения	Характеристика; численное значение
1.	Базовый микроконтроллер	-	AVR, ATmega 32 (Atmel)
2.	Тактовая частота	МГц	16
3.	Протокол связи блока управления с компьютером	-	RS232, USB2.0
4.	Тип жидкокристаллического дисплея	-	алфавитно-цифровой, 16x2
5.	Наличие подсветки	-	имеется
6.	Тип подсветки дисплея	-	внутренняя
7.	Наличие сторожевого таймера для защиты от сбоев в работе	-	имеется
8.	Разрядность аналого-цифрового преобразования	разр.	24, 12, 10
9.	Разрядность цифро-аналогового преобразования	разр.	12, 8
10.	Число аналоговых каналов ввода	шт.	4
11.	Диапазон изменения входного аналогового сигнала	В	0 ... +10, - 5...+5
12.	Число цифровых каналов ввода	шт.	4

13.	Диапазон изменения цифрового входного сигнала	В	-12 ... +12
14.	Число аналоговых выходных сигналов	шт.	2
15.	Диапазон изменения напряжения аналогового выходного сигнала	В	0 ... 10
16.	Диапазон изменения тока аналогового выходного сигнала	А	0 ... 1
17.	Число цифровых выходных сигналов	шт.	4
18.	Тип цифрового выходного сигнала	-	открытый сток
19.	Максимальное напряжение на коллекторе цифрового выходного сигнала	В	100
20.	Диапазон изменения тока цифрового выходного сигнала	А	0 ... 10
21.	Число шаговых двигателей	шт.	до 4
22.	Тип шаговых двигателей	-	ДШИ-200
23.	Угловая точность позиционирования (шаговый режим, без редукторов)	град	1.8
24.	Напряжение сети питания блока	В	220
25.	Частота сети питания	Гц	50
26.	Габариты	мм	235x220x100
27.	Масса	кг	1.5

Функциональная схема аппаратной части микропроцессорного блока АСМОИ показана на рис. 1.

Внутренняя архитектура микропроцессорного блока построена с использованием 2-х проводного интерфейса обмена I2C [8, 11] между модулями, что позволяет сам блок оперативно модернизировать (с помощью плат расширения) для решения различных экспериментальных задач или с учетом изменения методики эксперимента.

Режимы работы и выбранная текущая информация с датчиков выводится по внутреннему параллельному интерфейсу связи из микроконтроллера в жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей WinStar WH1602. Встроенный дисплей представляет собой модуль с отдельным микропроцессором (типа KS0066), постоянной и оперативной памятью. В постоянной памяти помещен встроенный знакогенератор символов латиницы и кириллицы, а также спецсимволов, согласно кодировке КОИ-8. Оперативная память используется как текущее видеоОЗУ. Также в оперативной памяти могут быть размещены битовые матрицы символов, которых нет во встроенном знакогенераторе для их оперативного отображения на дисплее.

Аналоговая информация с датчиков экспериментальной установки поступает в модуль аналогового сигнала, который выполнен на базе операционных усилителей. Назначение данного блока – принять аналоговую информацию от внешних источников (через буферные каскады), а затем отмасштабировать до диапазона работы аналого-цифровых преобразователей АЦП. Диапазоны работы АЦП

определяются величиной опорных сигналов, которые также вырабатываются в модуле аналогового сигнала. Отмасштабированный аналоговый сигнал оцифровывается и далее передается по последовательному интерфейсу обмена в персональный компьютер.

Для выходного аналогового сигнала информация формируется в микроконтроллере согласно алгоритму работы и далее передается по внутреннему последовательному интерфейсу связи SPI (Serial Port Interface) байтовыми послылками (по два байта: команда, байт данных) в цифроаналоговые преобразователи ЦАП. Выходы ЦАП буферизованы мощными операционными усилителями.

Выходной цифровой сигнал из микроконтроллера поступает на мощные транзисторные ключи, выполненные на полевых транзисторах с изолированным затвором и малым сопротивлением открытого канала.

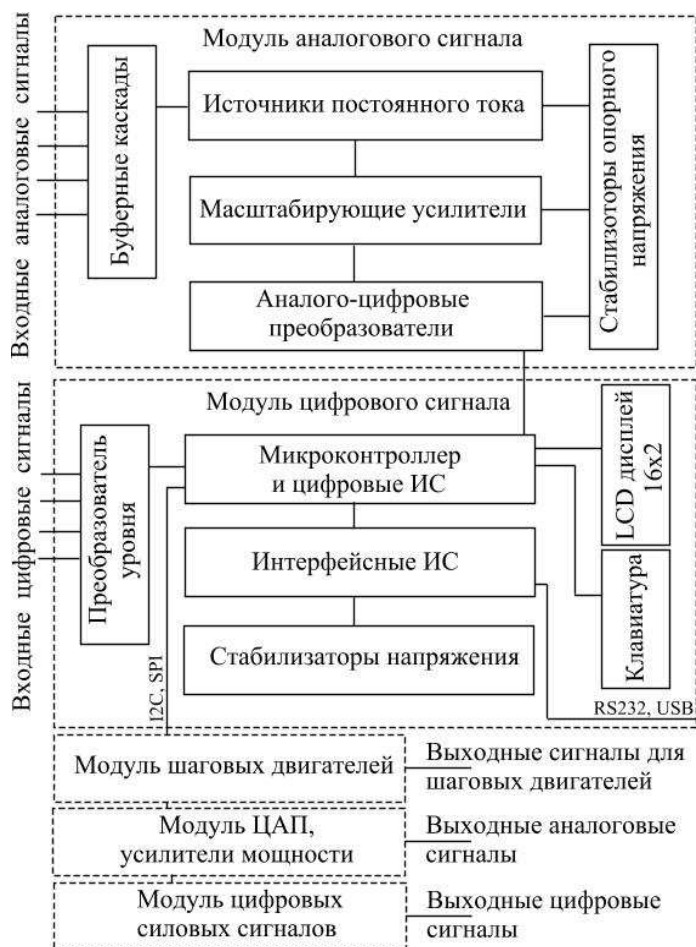


Рис. 1. Функциональная схема аппаратной части микропроцессорного блока АСМОИ.

Встроенный в блок управления источник стабилизированного питания вырабатывает напряжения, необходимые для питания аналоговой и цифровой электроники (+3.3В, +5В), подсветки дисплея (+4.2В), а также обмоток шаговых двигателей (+21В).

Цифровые данные для шаговых двигателей поступают от ведущего микроконтроллера в соответствующий модуль с ведомым микроконтроллером по 2-х проводному внутреннему интерфейсу и далее на драйвера шаговых двигателей, которые формируют необходимые сигналы и отслеживают токовую нагрузку. Стабилизация токов обмоток шаговых двигателей осуществляется в этом же модуле с помощью многоканальных микросхем токовой стабилизации. Отслеживать диапазон вращения шагового двигателя в данной экспериментальной установке целесообразно (но не обязательно), поэтому в ней имеется возможность установки датчиков конечного положения, информация с которых поступает на цифровые входы блока управления.

Технические характеристики используемых шаговых двигателей ДШИ-200 электромеханической части АСМОИ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики ДШИ-200 электромеханической части АСМОИ

№	Технический параметр	Единица измерения	Численное значение
1.	Напряжение питания	В	21
2.	Частота отработки шагов	шаг/с	5000
3.	Номинальный шаг	град	1,8
4.	Потребляемый ток	А	1,5
5.	Вращающий момент	Н*м	0,06
6.	Момент инерции нагрузки	кг*м ²	1e-6
7.	Масса	кг	0,39
8.	Габаритные размеры	мм	58x58x60

На лицевой панели микропроцессорного блока (см. рис. 2, а) расположен жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей (2 строки по 16 символов), а также 7-ми кнопочная клавиатура, что удобно для локального отображения информации и ручного управления электромеханической частью экспериментальной установки при испытании и настройки ее отдельных частей (в момент подготовки к эксперименту).

На обратной панели микропроцессорного блока (см. рис. 2, б) расположены:

- переключатель «Сеть» для включения/выключения блока;
- разъем сетевой для подключения блока в сеть питания 220В;
- разъем последовательного интерфейса RS232 (9-контактный) для связи блока с персональным компьютером;
- разъем последовательного интерфейса USB2.0-B;

- разъем входных аналоговых сигналов (аналоговые датчики);
- разъем входных цифровых сигналов (датчики конечного положения движения электромеханических частей);
- разъем выходных аналоговых сигналов (например, для работы печей при нагреве образца или элементов Пельтье при его охлаждении во время проведения температурных исследований);
- разъем выходных цифровых сигналов (вкл/выкл лазера, видеокамеры, исполнительных реле и других исполнительных механизмов);
- разъем управления шаговыми двигателями электромеханической части системы.



Рис. 2. Микропроцессорный блок АСМОИ: а) вид со стороны лицевой панели; б) вид со стороны разъемов управления, съема и передачи информации.

Предусмотрена возможность установки дополнительных разъемов для расширения (модернизации) АСМОИ.

Предварительные испытания показали, что данные технические параметры электромеханической части достаточны для их применения в составе АСМОИ.

2. ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ АСМОИ

При работе с автоматизированной системой используется различное программное обеспечение. Данное программное обеспечение является многоуровневым (рис. 3.), что отражает сложность функционирования АСМОИ. В качестве уровней программного обеспечения выбраны соответствующие этапы работы с экспериментальными данными.

Программа первого уровня написана на языке Assembler микроконтроллера микропроцессорного блока (Atmel; система команд на базе ядра AVR-RISC), ее алгоритм обеспечивает работу самого блока и осуществляет:

- прием управляющей информации от персонального компьютера;
- сканирование аналоговых и цифровых датчиков;
- оцифровку полученной от датчиков информации;
- отображение промежуточной и служебной информации на жидкокристаллическом дисплее;

- опрос клавиатуры микропроцессорного блока;
- управление экспериментальной установкой в ручном режиме;
- управление аналоговыми и цифровыми выходными сигналами;
- управление движением шаговых двигателей;
- передачу полученной и служебной информации в персональный компьютер;
- выдачу системных звуковых сигналов (например, готовность к работе после внутреннего тестирования, достижения границ диапазонов перемещения по координатам и т.д.).



Рис. 3. Функциональная схема взаимодействия программ АСМОИ.

На рис. 4 показана основная часть функциональной схемы алгоритма работы микропроцессорного блока. Из функциональной схемы видно, что после начальной инициализации внутренних регистров микроконтроллера программа находится в цикле опроса событий, проходящих по алгоритму проведения эксперимента согласно выбранной методики.

Программа второго уровня является программой персонального компьютера и необходима для взаимодействия исследователя с экспериментальной установкой через стандартные элементы ввода-вывода операционной системы Windows. Программа написана на языке C++Builder и выполняет следующие действия:

- взаимодействие с пользователем через различные визуальные интерфейсные компоненты (система закладок; кнопки; скроллинги; элементы выбора, типа radiobutton, checkboxes и т.д.);
- визуализацию выбранных режимов и текущего состояния работы;
- выбор диапазона перемещения и величины шага смещения для шаговых двигателей автоматизированной системы;



Рис. 4. Функциональная схема алгоритма работы микропроцессорного блока.

- ручное позиционирование шаговых двигателей с помощью соответствующих программных движков;
- визуализацию изображения, получаемого от видеокамеры в режиме реального времени;
- сохранение изображения с видеокамеры в файл (в ручном и автоматическом режимах);
- выбор номера и типа последовательного порта обмена информацией с микропроцессорным блоком;
- выбор параметров обмена информацией по последовательному интерфейсу с микропроцессорным блоком управления: скорость обмена.

Программа второго уровня выполнена по типу работы пользователя с закладками, реализующими определенный набор действий:

- работа в полуавтоматическом режиме с клавиатуры компьютера (данный режим целесообразно применять для отладочных действий с экспериментальной установкой);
- работа в автоматическом режиме (данный режим удобен для получения массива экспериментальных данных по конкретной методике с учетом заранее установленного шага перемещения по координатной сетке или поворота оптического поляризатора);
- выбор параметров интерфейса обмена информацией микропроцессорного блока с компьютером (работа с полями данной закладки проводится при начальной инициализации всей автоматизированной системы или при необходимости смены параметров обмена).

Данная программа сохраняет полученные экспериментальные данные в файл в табличной форме, для их дальнейшей обработки программой третьего уровня.

Программа третьего уровня представляет собой программу обработки экспериментальных данных (может быть выполнена в любом математическом пакете, типа MatLab, MathCAD), полученных с помощью автоматизированной системы. Данная программа написана на языке высокого уровня и включает в себя набор математических функций для обработки получаемого изображения и других данных.

Программа третьего уровня выполняет следующие действия:

- загружает изображения в формате BMP или JPG;
- задает значения интенсивности, для определения координаты вихря;
- строит эллиптические линии равной интенсивности;
- определяет координаты вихря как сумму координат всех точек эллипса (свойства кривой эллипса);
- определяет центр пучка как сумму координат этих вихрей;
- визуализирует полученные данные в виде графиков функциональных зависимостей физических величин;
- создает *.dat файл с экспериментальными данными.

Экспериментальные данные, обработанные программой третьего уровня программного обеспечения АСМОИ, могут быть распечатаны (для отчетов и научных статей), а также сохранены для дальнейших научных исследований.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Тестирование автоматизированной системы проходило на экспериментальной установке по исследованию эволюции сингулярностей [4], функциональная схема которой показана на рис. 5.

Свет от гелий - неоновый лазер с длиной волны 0.63 мкм при помощи 20-ти кратного объектива фокусируется на кристалле ниобата лития, ось которого ориентирована вдоль оси пучка. После данного кристалла, при помощи 8-ми кратного объектива, луч расширяется и попадает на 20-ти кратный объектив, который фокусирует пучок на втором кристалле. Второй 8-ми кратный объектив коллимирует свет и проецирует его на фокусирующую систему, состоящую из 2-х 8-ми кратных объективов, один из которых установлен на автоматизированной подвижке. Параллельный пучок света проходит через $\lambda/4$ пластину, поляризатор и проецируется на фоточувствительный элемент ССД-камеры, которая подключена к персональному компьютеру.

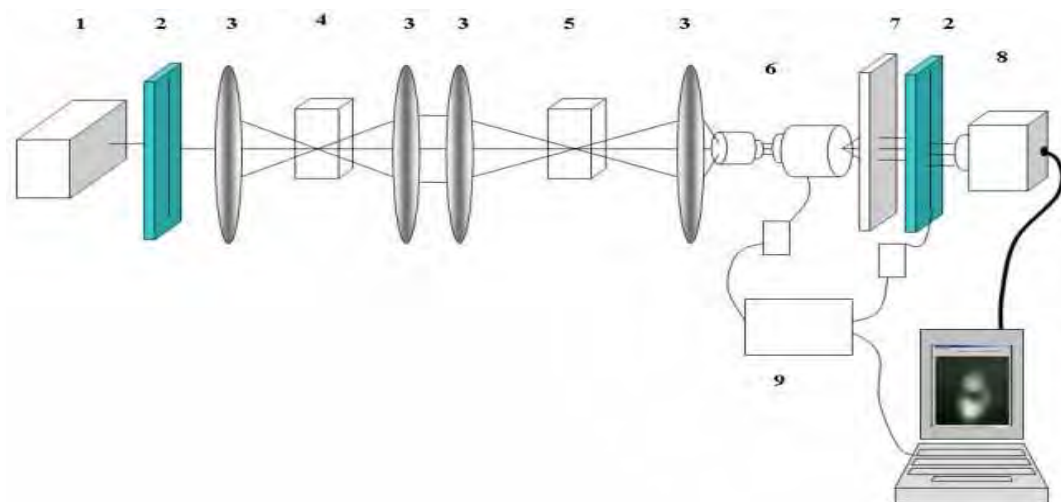


Рис. 5. Функциональная схема экспериментальной установки: 1- лазер, 2 - поляризатор, 3 – линза, 4 – кристалл LiNbO₃, 5- кристалл SiO₂, 6-система микрообъективов, 7 - $\lambda/4$ - пластина, 8 - CCD камера, 9 - микропроцессорный блок.

Тестирование работы АСМОИ проводилось при ее минимальной конфигурации, т.е. осуществлялось управление электромеханической частью экспериментальной установки (работа шаговых двигателей) и получение изображения с помощью ССД-камеры.

С помощью автоматизированной системы была получена серия фотоснимков оптических вихрей (рис. 6).

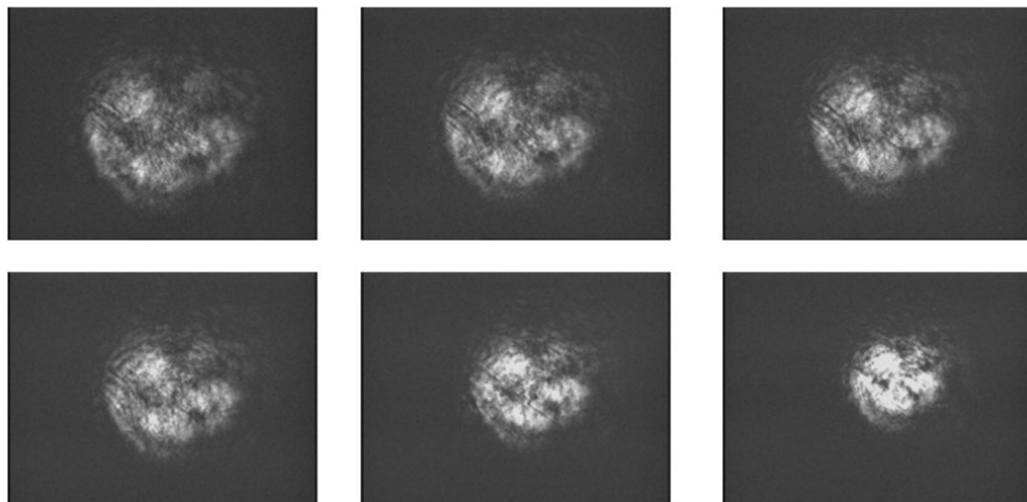


Рис. 6. Экспериментальные данные, полученные при тестировании АСМОИ.

Данная серия соответствует линейной поляризации, электрический вектор которой ориентирован под углом 45^0 к оси лабораторной системы координат. В результате обработки экспериментальных данных получены траектории оптических вихрей, возникающие при фокусировке лазерного пучка прошедшего систему двух одноосных кристаллов, второй из которых обладает слабой гироскопией. Исследование траектории показало, что вихри при приближении к фокусу испытывают только радиальное сближение, азимутальное кручение не обнаружено.

Полученные экспериментальные данные, приведенные на рис. 6, позволяют сделать вывод о работоспособности разработанной и изготовленной автоматизированной системы.

В настоящий момент АСМОИ проходит испытания в составе экспериментальной установки лаборатории функциональных материалов и волоконной оптики Таврического национального университета имени В.И. Вернадского в рамках научно-исследовательской работы № госрегистрации 0109U001358.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в Таврическом национальном университете имени В.И. Вернадского была разработана и изготовлена автоматизированная система для проведения физических экспериментов в области оптических и магнитооптических исследований.

Учитывая универсальность элементов АСМОИ, данную систему можно также рекомендовать для проведения учебных занятий по изучению оптических и магнитооптических явлений. Система АСМОИ может быть использована для проведения учебных занятий по дисциплинам «Автоматизация научных

исследований», «Сингулярная оптика», «Нелинейная оптика», «Магнитооптика», «Физика магнитных явлений».

В дальнейшем предполагается тестирование системы и проведение научных экспериментов в расширенном варианте ее функционирования, что позволит выполнять эксперименты по более сложным методикам.

Список литературы

1. Бержанский В.Н. Автоматизированная система управления и регистрации экспериментальных данных в физическом эксперименте /Бержанский В.Н., Власова Т.А., Лагунов И.М. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского, серия «Физико-математические науки». – 2010. – Т.23 (62), №3.- С. 193-201.
2. Lagunov I.M. Automated System for thermo-, galvano-, magnetic researches / Lagunov I.M., Vlasova T.A. // International Conference “Functional Materials” ICFM-2011. – Crimea, Partenit. – 2011. – С. 122.
3. Fadeyeva T.A. Quadrefringence of the vortex beams in birefringent crystals / Fadeyeva T.A., Rubass A.F., Volyar A.V. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, серия «Физико-математические науки». – 2010. – Т.23 (62), №1, Ч.1. - С. 30-56.
4. Лагунов С.И. Автоматизация процесса фокусировки светового пучка генерируемого системой одноосных кристаллов / Лагунов С.И. // Дипломная работа на соискание квалификационного уровня «Магистр» по специальности «Физика». – Симферополь: Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, 2006. – 80 с.
5. Звездин А.К. Магнитооптика тонких пленок / Звездин А.К., Котов В.А. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 192 с.
6. Костров Б.В. Архитектура микропроцессорных систем / Костров Б.В., Ручкин В.Н. – М.: Изд-во Диалог-МИФИ, 2007. – 304 с.
7. Мікропроцесорна техніка: Підручник за ред. Т.О.Терещенко. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – 440 с.
8. Лапин А.А. Интерфейсы. Выбор и реализация / Лапин А.А. – М.: Техносфера, 2005. – 168 с.
9. <http://www.atmel.com>.
10. Хартов В.Я. Микроконтроллеры AVR / Хартов В.Я. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2007. – 240 с.
11. Семенов Б.Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях / Семенов Б.Ю. – М.: Соломон-Р, 2002. – 190 с.

Лагунов І.М. Багатоцільова автоматизована система для оптичних та магнітооптичних досліджень / Лагунов І.М., Лагунов С.І, Фадєєва Т.А. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Фізико-математичні науки. – 2011. – Т. 24(63), №2. – С. 175-186.

У статті розглянута автоматизована система, яка призначена для проведення оптичних та магнітооптичних досліджень. Система розроблена на базі мікропроцесорного блоку, до складу котрого належать аналогові та цифрові вузли збору експериментальних даних та управління кроковими двигунами.

Ключові слова: фізичний експеримент, автоматизація наукових досліджень, оптика, магнітооптика.

Lagunov I.M. Multipurpose automated system for optical and magneto-optical researches / Lagunov I.M., Lagunov S.I., Fadeyeva T.A. // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2011 – Vol. 24(63), No.2 – P. 175-186.

The article deals an automated system designed for the optical and magneto-optical researches. The system is based on the microprocessor unit, which includes analog and digital nodes. This nodes collect experimental data and the control of stepper motors.

Keywords: physical experiment, automation of scientific research, optics, magneto-optics.

Поступила в редакцию 01.09.2011 г.