

# ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 621.+621.391+535.84

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Р.А.Макаров, А.Г.Сизых\*

*В настоящей работе создана и автоматизирована установка для измерения спектрально-кинетических характеристик оптических сред. В качестве спектрального блока использован промышленный прибор КСВУ-23 после проведенной нами модернизации его программных и функциональных характеристик. На установке выполнены исследования биоломинесцентной системы и ее компонентов, а также тонкопленочных образцов жестких растворов ксантеновых красителей в биополимерной матрице желатина. Приведены результаты измерений, демонстрирующие явления переноса энергии электронного возбуждения и проявления эффектов межмолекулярного взаимодействия в биферментной биоломинесцентной системе и ее компонентах, кинетические закономерности формирования светоиндуцированных решеток в жестком растворе зозина К в желатине в интерференционном поле лазерного излучения.*

Условия проведения современного физического эксперимента предъявляют высокие требования к техническому оснащению лабораторий. Управление установками в реальном времени, контроль параметров эксперимента, многоканальный сбор и предварительная обработка данных — все это задачи, решаемые с помощью автоматизированных систем управления и сбора информации, которые в настоящее время стали стандартным оборудованием физических лабораторий. Трудно представить современный физический эксперимент без автоматизированных систем управления и сбора данных. В настоящее время многие крупные производители электронных компонентов (Texas Instruments, Analog Devices, Maxim) выпускают специализированные микросхемы, содержащие аналоговые мультиплексоры, АЦП и ЦАП высокой разрядности. Применение таких микросхем позволяет существенно уменьшить количество внешних дискретных элементов, упростить и ускорить процесс проектирования и сборки, улучшить соотношение цена/качество системы. Применение встроенных перепрограммируемых микроконтроллеров позволяет создавать очень гибкие, малогабаритные, мобильные, обладающие высоким быстродействием системы автоматизации. Кроме того системы, построенные на базе микроконтроллеров, могут без применения внешнего управляющего компьютера производить накопление и обработку данных и выбирать определенный алгоритм работы, что существенно уменьшает поток данных и ограничивает нагрузку на шину, по которой происходит взаимодействие систем управления и сбора данных между собой и с хост-компьютером. Используемые интерфейсы RS485, RS232, IC2, PCI, USB обеспечивают оптимальный режим обмена данными между компонентами системы. В некоторых устройствах встроены адаптеры интерфейса Ethernet, благодаря чему возможен удаленный контроль за процессами и создание распределенных систем автоматизации. Современные платы сбора информации имеют функции программной или автоматической установки диапазонов, автокалибровки, компенсации шумов.

Программное обеспечение систем для управления и цифрового ввода данных в персональный компьютер (PC), обладая интуитивно-понятным пользовательским интерфейсом, обеспечивает не только контроль за аппаратной частью устройств, но обработку, и анализ полученных сигналов. Большинство программ, поставляющихся разработчиками аппаратных средств автоматизации, представляет собой набор из драйверов и пользовательского интерфейса с реализацией наиболее простых и часто используемых алгоритмов управления и сбора данных. Для реализации индивидуальных потребностей пользователю необходимо создание собственного программного продукта. Поставляемые драйверы позволяют разрабатывать уникальные приложения для каждого конкретного устройства как в специализированных пакетах (LabView, LabWindows /CVI), так и в большинстве современных сред программирования (Visual C, Delphi, ...) для различных операционных систем. Перепрограммирование встроенных микроконтроллеров дает пользователю возможность изменять по собственному желанию алгоритмы работы устройства и начальной обработки сигналов. Повышение гибкости и функциональности аппаратных и программных средств автоматизации позволяет

\* © Р.А.Макаров, А.Г.Сизых, Красноярский государственный университет, uderey@lan.krasu.ru, sizykh@lan.krasu.ru, 2004.

расширить спектр решаемых задач, увеличить продуктивность работы, снизить временные и финансовые затраты на проведение экспериментов.

Зарубежные производители предлагают широкий выбор средств автоматизации, включая аппаратные системы управления и сбора данных, датчики, силовую периферию, программное обеспечение. Однако сложность сервисного обслуживания в России и высокая стоимость изделий делают их менее привлекательными. Условия гарантии на такие изделия предполагают сопряжение и использование аппаратных средств одного изготовителя, что исключает возможность наиболее оптимальным образом спроектировать и собрать оригинальную функциональную схему.

В настоящее время наибольшее распространение получили 12, 16-битные системы оцифровки сигнала с сигма-дельта преобразованием и 16/32 каналами аналогового ввода и 16 каналами цифрового ввода/вывода. Наиболее распространенные системы, применяемые для автоматизации физического эксперимента, можно разделить на несколько категорий:

- 1) платы, встраиваемые в PC на стандартной шине PCI или ISA;
- 2) внешние платы, подключаемые к PC, с интерфейсом USB, RS232/424, LPT, не поддерживающие расширение, и платы модульной конструкции с возможностью расширения функциональности;
- 3) автономные устройства.

Устройства первой категории, благодаря использованию внутренней высокоскоростной шины, являются одними из наиболее быстродействующих (Iotech ADAC/5500 [1], Data Translation DT3010 [2]). К их недостаткам стоит отнести ограниченные функциональные возможности, влияние наводок от внутренних цепей PC.

Вторая категория плат автоматизации наиболее распространена и нашла повсеместное применение благодаря большому разнообразию таких устройств. На выбор предлагаются платы различного уровня от простых одноканальных АЦП /ЦАП, подключаемых к параллельному порту персонального компьютера (Symmetric Research PAR1CH [3]), до сложных систем управления и сбора данных со встроенным процессором и множеством цифровых и аналоговых портов ввода/вывода и возможностью (в случае модульной конструкции) подключения дополнительных блоков различного назначения [3].

Третью категорию представляют законченные измерительные комплексы, которые для контроля, сбора, обработки, анализа и отображения сигналов не требуют подключения внешнего управляющего хост-компьютера, например Azonix  $\mu$ MAC1050 [4].

В результате возросшего за последнее время спроса на недорогие и функциональные средства автоматизации измерений и управления появилось много российских производителей [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], ориентирующихся как на внутренний рынок, так и на зарубежный. В результате появились изделия, по своим параметрам не уступающие зарубежным аналогам, а во многих случаях и превосходящие (L-Card E440 [6,14]). Кроме того, стоимость отечественной продукции существенно ниже.

В настоящей работе осуществлены модернизация КСВУ-23 и автоматизация лабораторного оптического комплекса, состоящего из блока для измерения спектров и характеристик оптических регистрирующих сред. Модернизация КСВУ-23 была произведена в связи со сложностью в адаптации к новым задачам, негибким программным обеспечением, недостаточным быстродействием, нестабильностью в работе. В качестве средства автоматизации были выбраны плата управления и сбора информации (ПР), разработанная и изготовленная в Новосибирском государственном техническом университете [15], и IBM-совместимый персональный компьютер.

Установка для измерения спектральных и кинетических характеристик (рис. 1) включает:

- 1) модернизированный спектрально-вычислительный комплекс на базе КСВУ-23;
- 2) лазерные источники света (аргоновый лазер ЛГ-106 М, гелий-неоновый лазер ЛГН-208 Б, полупроводниковый лазер ИЛПН-500, волноводный СО<sub>2</sub>-лазер);
- 3) блок для записи светоиндуцированных решеток и измерения их характеристик.

## **1. Модернизированный спектрально-вычислительный комплекс**

В промышленном исполнении спектрально-вычислительный комплекс (КСВУ-23 М) был предназначен для записи спектров пропускания и люминесценции образцов. Управляющая схема комплекса базировалась на устаревшем компьютере ДВК-3 и негибком программном обеспечении.

Модернизация прибора состояла в подключении управляющих и регистрирующих блоков к плате расширения, работающей совместно с персональным компьютером, и создании нового программ-

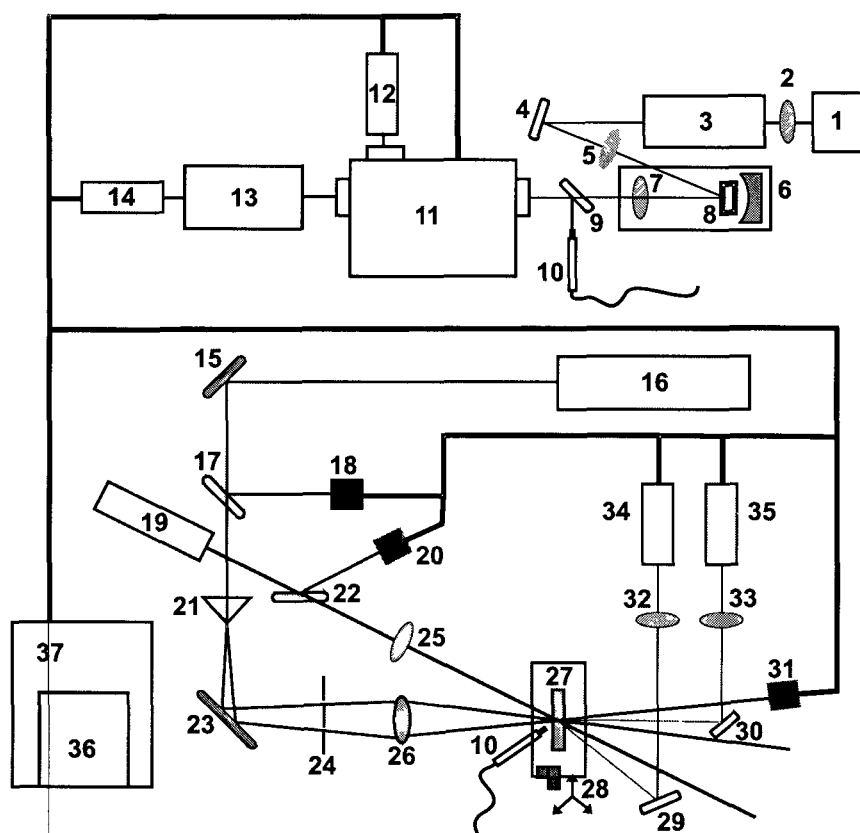


Рис. 1: Схема оптико-спектрального комплекса: 1 — ртутная лампа; 2, 5, 7, 25, 26, 32, 33 — линзы; 3 — монохроматор МУМ-1; 4, 9, 15, 23, 29, 30 — зеркала; 6 — зеркальный конденсор; 8 — держатель образцов; 9 — зеркало; 10 — световод; 11 — монохроматор МДР-23; 12, 14, 34, 35 — ФЭУ; 13 — камера образцов для регистрации спектров пропускания; 16 — Ar-лазер; 17, 22 — стеклянные пластинки; 18, 20, 31 — фотодиоды; 19 — He-Ne-лазер; 21 — бипризма Френеля; 24 — диафрагма; 27 — образец; 28 — столик с трехкоординатным микрометрическим перемещением; 37 — IBMPC-совместимый компьютер с платой расширения 36

ного обеспечения, что позволило выполнять запись спектров в непрерывном режиме, а также величин пропускания и интенсивности люминесценции на фиксированной длине волны с разрешением по времени от 10 мкс в диапазоне от 190 до 1200 нм [16]. В состав модернизированного комплекса входят монохроматор МДР-23, многоканальная система управления и сбора данных (плата расширения), блоки питания, IBM-совместимый компьютер. В качестве фотоприемников сохранены фотоэлектронные умножители (ФЭУ-62 и ФЭУ-100). Следует отметить, что в результате модернизации расширены функции прибора, но при этом не утрачены возможности промышленного образца. Для регистрации слабых свечений биолюминесценции и регистрации спектров фотолюминесценции тонкопленочных образцов и жидких растворов собран специальный осветитель. В состав осветителя входят: ртутная лампа СВД-120 А (1), держатель образцов (8) и сферический зеркальный конденсор (6), снабженные юстировочными винтами, монохроматор МУМ-1 (3), поворотное зеркало (4) и линзы для фокусировки излучения на образец (5) и проекции свечения (7) образца на щель монохроматора (11). Перестройка монохроматора обеспечивается шаговым двигателем с управлением от компьютера. Срабатывание первого или второго датчика соответствует перестройке либо на один, либо на десять нанометров. Программно реализована новая функция перестройки монохроматора на доли нанометра с помощью отсчета фазовых импульсов с коррекцией по герконовому датчику шага 1 нм. Для контроля за конечными положениями дифракционной решетки монохроматора установлены два кнопочных концевых датчика, также подключенные через оптронную развязку на цифровые входы ПР. Фотоумножители (34, 35) позволяют регистрировать свечение в разных спектральных диапазонах: ФЭУ-62 — 0,37 — 1,15 мкм, ФЭУ-100 в диапазоне 0,17 — 0,83 мкм, соответственно. Высоковольтный блок питания ФЭУ имеет два независимых канала, управляемых

внешним сигналом. Диапазон выходных напряжений каждого канала 0...2000 В. Для управления выходным напряжением используются два канала ЦАП платы расширения. Фотодиоды ФД-24 (18, 20, 31) используются для контроля за уровнем мощности источников возбуждения (ртутная лампа, аргоновый и гелий-неоновый лазеры) и записи кинетических зависимостей величины пропускания в экспериментах с тонкопленочными твердыми растворами красителей. Для фотодиодов собран отдельный стабилизированный блок питания.

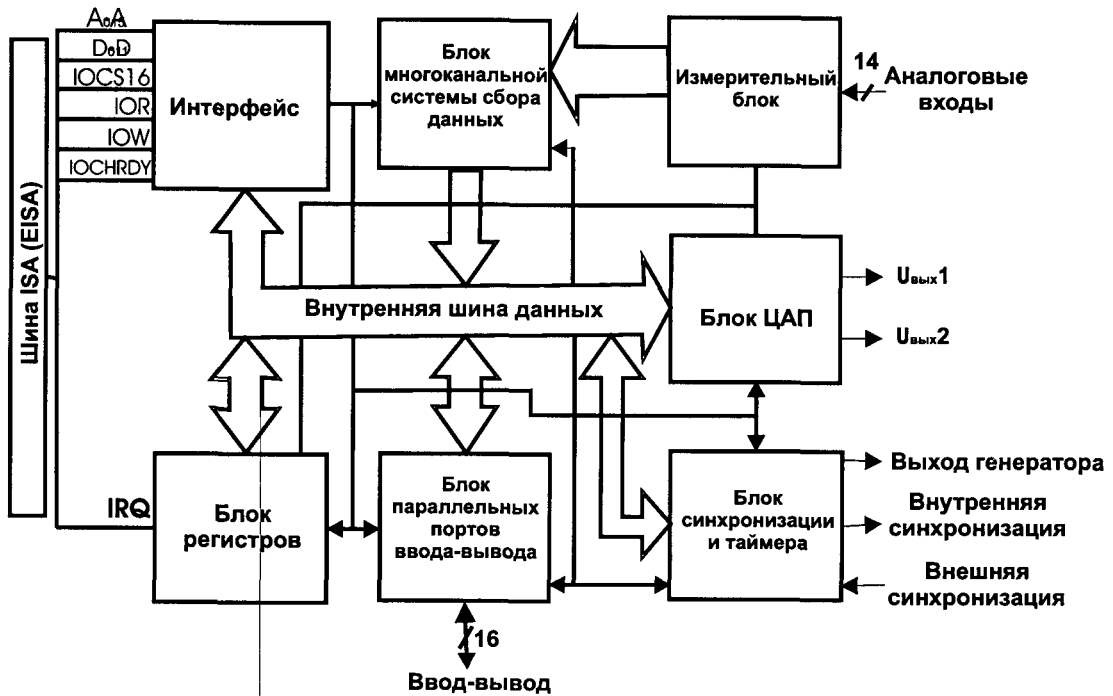


Рис. 2: Функциональная схема платы расширения [15]

Плата расширения (рис. 2) содержит в себе интерфейс шины ISA, блок регистров, АЦП, ЦАП, блок синхронизации и таймера, блок параллельных портов ввода-вывода. Технические характеристики платы расширения указаны в публикации [15].

## 2. Источники света

Кроме источников света, входивших в состав осветителя промышленного образца (дейтериевая лампа ДДС-30 и лампа накаливания ОП-33-0,3), в модернизированном комплексе (рис. 1) используются: аргоновый лазер ЛГ-106 М, одномодовый с перестройкой по длинам волн генерации  $\lambda = 488, 514,5$  нм и др. (16) (возбуждение спектров фотолюминесценции, запись светоиндуцированных решеток), ртутная лампа СВД-120 А (1) (возбуждение спектров фотолюминесценции), гелий-неоновый лазер ЛГ208 Б (19) (зондирование состояния светоиндуцированной решетки по дифракционной эффективности), полупроводниковый лазер ИЛПН-500 и волноводный СО<sub>2</sub>-лазер (на схеме не показаны) предназначены для накачки образцов в инфракрасном диапазоне спектра 1,06 мкм и 10,6 мкм, соответственно.

## 3. Блок для исследования характеристик светоиндуцированных решеток

Блок для исследования характеристик светоиндуцированных решеток. Оптическая схема. Луч от аргонового лазера (16) с помощью зеркала (15) направляется на бипризму Френеля (21), которая делит волновой фронт на две части. Далее отраженные зеркалом (23) лучи, пройдя через двойную диафрагму (24), собираются линзой (26), формируя интерференционное поле в объеме образца (27). Держатель (28) имеет трехмерный механизм позиционирования, позволяющий выполнить точную

ориентацию образца относительно луча. Каждый из двух лучей дифрагирует на светоиндуцированной решетке, записанной в образце. Фотодиод ФД-24 К (31), установленный после образца, позволяет зарегистрировать сигнал пропускания одного из двух записывающих решетку лучей, а ФЭУ-100 (35) — сигнал в первом порядке дифракции на длине волны генерации аргонового лазера. Одновременно измеряется дифракционная эффективность в первом порядке дифракции на длине волны  $\lambda = 632,8$  нм гелий-неонового лазера (19). Дифрагированный луч направляется на фотоумножитель ФЭУ-62 (34) с помощью зеркала (29) и линзы (32). Мощность лучей аргонового и гелий-неонового лазеров контролируется фотодиодами ФД-24 К (18, 20). Волоконный световод (10) и зеркало (9) позволяют подать сигнал люминесценции на входную щель монохроматора МДР-23 и осуществить синхронную регистрацию света люминесценции на фиксированной длине волны или периодическую запись спектра в процессе формирования светоиндуцированной решетки в образце. Таким образом, рассматриваемый блок позволяет одновременно регистрировать до шести оптических сигналов.

### **Описание программного обеспечения**

Для настройки и управления спектральным вычислительным комплексом и начальной обработки полученных данных написаны два пакета программного обеспечения: первый на языке программирования C++, второй — на языке Паскаль. В оба пакета включены сервисные программы для тестирования и настройки платы, программы, непосредственно работающие с платой расширения, программы для математической обработки полученных данных. Программное обеспечение имеет функции настройки электронной части платы расширения, управления в режиме сбора информации (записи спектров, оцифровки сигналов), накопления, усреднения, вычитания шумов, нормировки на интенсивность источника возбуждения, внесения аппаратных поправок в форму спектра люминесценции, контроля за амплитудой входного сигнала, отображения времени каждого измерения и всего эксперимента и др.

Пакет программ на C++ состоит из базовой библиотеки управления платой, программы общего тестирования платы расширения, программы тестирования и настройки ЦАП, программы тестирования и настройки управления шаговыми двигателями монохроматора, программы управления записью спектров. Базовая библиотека содержит описания символических команд и портов, адреса устройств платы и процедуры инициализации и управления работой. С помощью этих функций производится обращение ко всем портам платы, установка режимов работы внешних устройств на плате (установка режимов работы портов ввода-вывода; выбор способа синхронизации; работа с таймерами; установка коэффициентов усиления; опрос флагов; работа с прерываниями и пр.). Объектная структура базовой библиотеки позволяет легко добавить новые программные классы и методы, если это необходимо. Основная программа предназначена для проверки работоспособности всех программно-доступных портов платы сбора данных. В ее состав входят функции, выполняющие проверки отдельных блоков системы. В каждой функции предусмотрен выбор проверки каждого режима работы данного блока с помощью системы меню. Проверка режимов работы заключается в циклической записи данных, предварительно введенных с клавиатуры, в порты платы, которые проверяются в данный момент, при этом происходит периодическое чтение регистра флагов. Прекращение проверки происходит при нажатии любой клавиши. Тестируются: порты ввода-вывода, система синхронизации и таймера, регистр выбора канала, регистры управления коэффициентами усиления усилителей.

Благодаря объектно-ориентированному коду имеется возможность простого изменения — усовершенствования программ в связи с требованиями конкретного эксперимента или при внесении изменений в конструкцию установки (подключении внешних устройств, дополнительных датчиков).

Пакет программ на Pascal содержит основной модуль, содержащий описания портов ввода/вывода платы, адреса устройств, команды инициализации и работы с платой и программу управления комплексом, объединяющую в себе возможности тестирования и регистрации. Отличительными особенностями данного пакета являются более удобный по сравнению с программами на C++ пользовательский интерфейс и отсутствие объектно-ориентированного кода, так как опыт работы с программами на C++ показал, что в данном случае объекты излишне усложняют текст программы, а преимущества объектного кода мало используются при управлении аппаратной частью системы. Однако для написания пользовательского интерфейса в программе отображения и начальной обработки спектров применен объектный код TurboVision. В программах управления КСВУ имеется возможность записи данных без перестройки монохроматора, что позволяет регистрировать кинетику процессов в оптических средах, определять нестабильность источников излучения.

### **Применение установки**

Созданная установка была использована для проведения нескольких научно-исследовательских

работ, иллюстрация которых приводится ниже.

### 1. Изучение механизмов переноса энергии электронно-колебательного возбуждения в биолюминесцентной системе

Исследовалось поведение биолюминесцентной биферментной системы люцифераза + НАДН:ФМН-оксидоредуктаза при добавлении в нее акцепторов энергии электронного возбуждения в двух случаях. В первом случае акцепторная добавка имела уровни первого синглетного возбужденного состояния, расположенные выше первого синглетного состояния эмиттера бактериальной биолюминесценции. В качестве таких акцепторов использовались ароматические соединения 1,4-бис (2-5-фенилоксазолил) бензол (РОРОР) и п-бис (о-метилстерил) бензол (MSB). В этих экспериментах было установлено, что сенсibilизированная люминесценция указанных акцепторов возникает за счет безызлучательного переноса энергии с высоковозбужденных уровней эмиттера, имеющих энергии в интервале  $26000 - 27000\text{см}^{-1}$  [17].

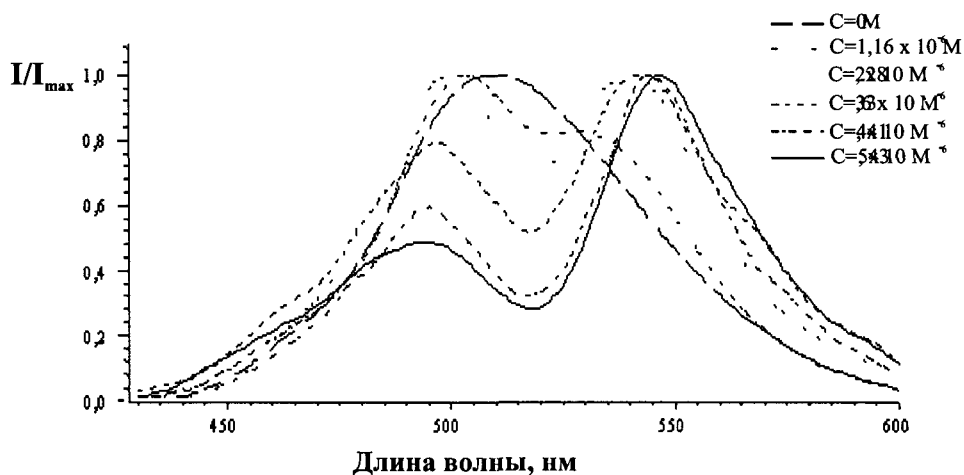


Рис. 3: Спектры сенсibilизированной люминесценции биолюминесцентной системы с добавками эозина с концентрациями в интервале  $0 - 5,41 \cdot 10^{-6}$

Во втором случае возбужденные состояния акцепторной добавки располагались ниже первого синглетного состояния эмиттера. К таким акцепторам относится ряд ксантовых красителей — флуоресцеин, эозин, эритрозин. Взаимодействие таких молекул с эмиттером биолюминесцентной системы приводит к появлению их сенсibilизированной люминесценции в более длинноволновой области относительно спектра биолюминесцентного свечения. Примером таких измерений являются спектры, приведенные на рис. 3. Спектры представлены в нормированном варианте. Из рисунка видно, что спектр биолюминесценции без добавок красителя представляет собой широкий контур с максимумом на длине волны 505 нм. При добавлении эозина в интервале концентраций  $0 - 5,4 \cdot 10^{-6}$  Моль наблюдается снижение относительной интенсивности биолюминесцентного свечения и возрастание интенсивности свечения эозина, спектр которого имеет максимум в области 540 нм. Вероятными механизмами переноса энергии являются как излучательный, так и безызлучательный механизмы.

### 2. Исследование процессов межмолекулярного взаимодействия акцепторов энергии возбуждения с компонентами биолюминесцентной системы

Пример такого исследования приведен на рис. 4, где представлены изменения спектра фотолюминесценции растворов РОРОР в зависимости от времени при добавлении в раствор фермента люциферазы. Возбуждение фотолюминесценции производилось линией ртутной лампы с длиной волны  $\lambda = 366$  нм, выделяемой с помощью монохроматора (рис. 1). В связи с ограниченной растворимостью РОРОР в воде раствор для исследования готовился следующим образом: препарат люциферазы растворялся в фосфатном буфере (концентрация  $10^{-9}$  моль/л), перед съемкой спектра в него добавлялся раствор РОРОР в этиловом спирте в количестве, необходимом для получения конечной концентрации РОРОР,  $5 \cdot 10^{-6}$  моль/л. После смешивания компонентов раствора в кювете регистрировался ряд спектров фотолюминесценции РОРОР в зависимости от времени. Из рис. 4 видно, что в результате взаимодействия молекул РОРОР с люциферазой изменяется форма его спектра фотолюминесценции: возрастает ширина полосы, проявляется колебательная структура в

коротковолновой области.

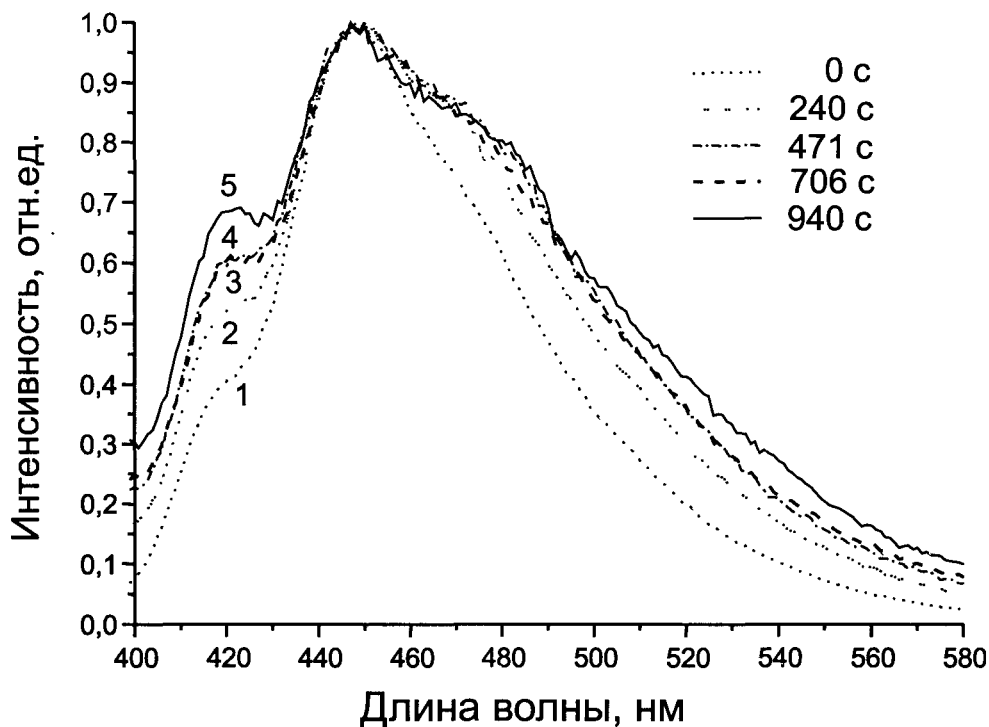


Рис. 4: Изменение спектра флуоресценции РОРОР в растворе этилового спирта в фосфатном буфере в присутствии люциферазы в зависимости от времени (1 – 0 с., 2 – 240 с., 3 – 471 с., 4 – 710 с., 5 – 940 с.)

### 3. Исследование характеристик светоиндуцированных решеток

Проведены исследования спектральных и кинетических закономерностей формирования светоиндуцированных решеток в красителе в тонкопленочных образцах твердых полимерных растворов красителей. Для образцов жестких растворов эозина в желатине запись осуществляется на основе механизма окислительно-восстановительного фотохромизма, являющегося одним из механизмов оптической записи информации. Под действием лазерного излучения происходит обесцвечивание красителя в местах фотореакции. Ранее были исследованы основные черты явления [18] и создана его теоретическая модель [19, 20].

Образцы для исследования готовились путем высушивания на стеклянной подложке водного раствора красителя в желатине. В результате получались однородные по составу плёнки толщиной до 10 мкм. На рис. 5 представлен результат регистрации характеристик формирования светоиндуцированной решетки и продемонстрирован вариант многоканальной записи сигналов.

В процессе формирования решетки (рис. 5) дифракционная эффективность в первом порядке на длине волны аргонового (1) и гелий-неонового (2) лазеров с течением времени возрастает и после прохождения максимума падает, что свидетельствует об эволюции контраста светоиндуцированной решетки. Сигнал пропускания на длине волны генерации Ar-лазера (3) с течением времени возрастает, причем при временах более 100 с это возрастание замедляется, что становится очевидным при учете изменения мощности генерации аргонового лазера. Регистрация мощности генерации лазеров позволяет достаточно полно скорректировать зависимости всех сигналов от времени. После прекращения записи решетки регистрировалась релаксация дифракционной эффективности на двух длинах волн (488 нм и 632,8 нм).

Поскольку первая длина волны попадает в полосу поглощения красителя, а вторая лежит в области его прозрачности, то эти два сигнала несут информацию об амплитудно-фазовой и фазовой составляющих светоиндуцированной решетки соответственно. Релаксация сигналов дифракционной эффективности связана с уменьшением контраста светоиндуцированной решетки. Величина контраста может снижаться вследствие протекания фотохимической реакции в отсутствие интерференционного поля, а также за счет диффузии молекул красителя или фотопродукта. Очевидно, что в сигнале на длине волны аргонового лазера находят отражение обе причины, тогда как на

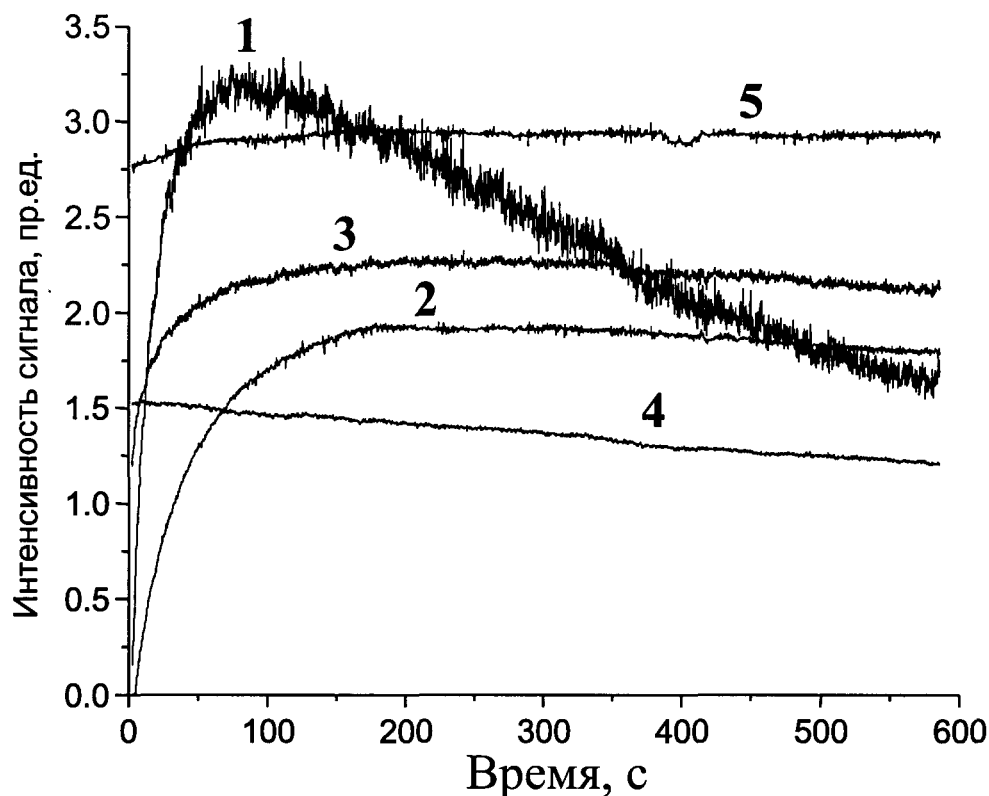


Рис. 5: Результат регистрации характеристик формирования светоиндуцированной решетки: 1,2 – сигналы дифракционной эффективности в лучах Ar- и He-Ne-лазеров соответственно; 3 – сигнал пропускания излучения Ar-лазера; 4,5 – сигналы контроля мощности генерации Ar- и He-Ne лазеров соответственно

длине волны гелий–неонового — только вторая из них.

На рис.6 показаны релаксационные кривые сигналов дифракционной эффективности светоиндуцированной решетки в первом порядке в лучах гелий–неонового (1) и аргонового (2)лазеров.

Рисунок демонстрирует повторный акт записи и релаксации решетки. В начале каждого акта с помощью аргонового лазера записывалась решетка, затем один из лучей аргонового лазера перекрывался, а второй программно периодически включался на время регистрации сигнала в фазе релаксации решетки. По рисунку видим, что релаксация амплитудно-фазовой составляющей решетки происходит быстрее, чем фазовой. На основе этих данных выполнены оценки коэффициентов диффузии молекул красителя и фотопродукта, пользуясь результатами теоретического рассмотрения, выполненного в работе [21], где метод голографической релаксометрии был применен для анализа процесса диффузии тимохинона и его фотопродукта в полимере поли-( $\alpha$ -метилстироле). Интерпретация релаксационных зависимостей производилась на основе двухэкспоненциальной зависимости интенсивности дифрагированного сигнала от времени:

$$I(t) = (a * e^{-t/\tau_1} + b * e^{-t/\tau_2})^2.$$

Согласно работе [21] времена релаксации  $\tau_1$  и  $\tau_2$  связаны с коэффициентами диффузии красителя и его фотопродукта соответственно. Анализ полученных результатов показал, что величины времени релаксации фазовой составляющей решетки в 1,5–2 раза меньше, чем амплитудно-фазовой. Отношение  $\tau_1/\tau_2$  примерно равно 0,1.

Создана автоматизированная установка для спектрально-кинетических измерений. В качестве спектрального блока в установку включён модернизированный нами промышленный спектрометр КСВУ-23. В результате модернизации расширены его функциональные возможности, реализовано программно-гибкое управление прибором и установкой в целом. Продемонстрировано использование установки для исследования спектрально-кинетических характеристик нескольких многокомпонентных молекулярных сред в режиме многоканальной записи сигналов: биферментной биоло-



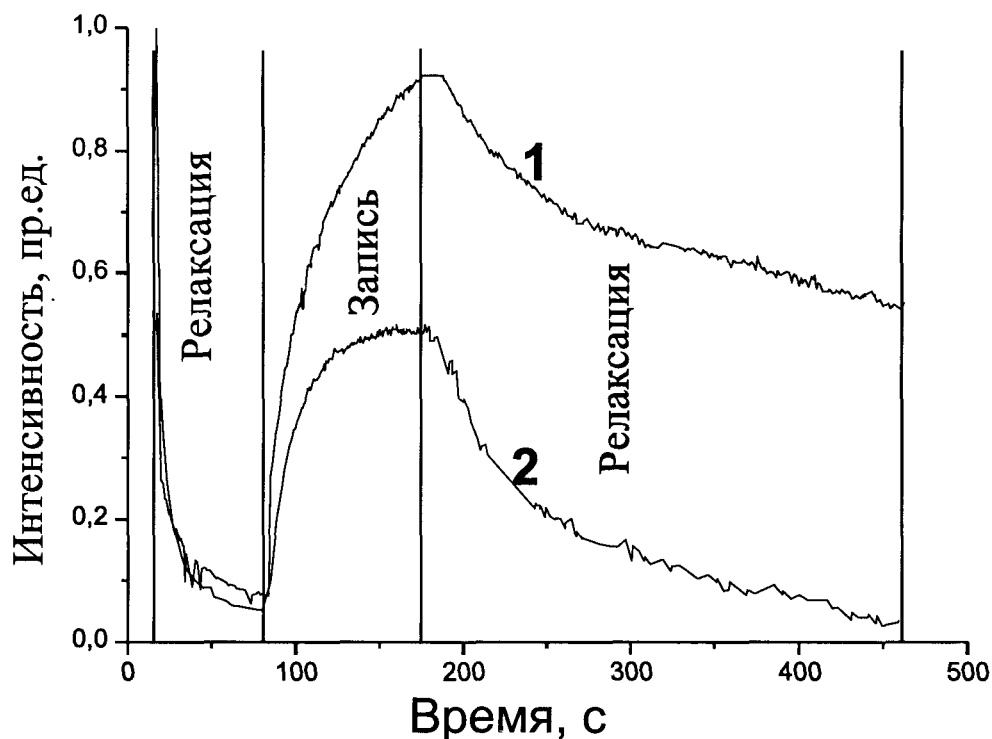


Рис. 6: Релаксационные кривые дифракционной эффективности на длине волны гелий-неонового (1) и аргонового (2) лазеров

минесцентной системы с добавками акцепторов энергии электронного возбуждения, жестких растворов ксантеновых красителей в желатиновой матрице.

## Список литературы

- [1] IOtech: <http://www.iotech.com>
- [2] Data Translation Co: <http://www.datx.com>
- [3] Symmetric Research: <http://www.symres.com>
- [4] Azonix: <http://www.azonix.com>
- [5] ЗАО "Центр Руднев-Шиляев": <http://www.rudshel.ru/russian/index.htm>
- [6] ЗАО L-CARD: <http://l-card.ru>
- [7] "Аурис": <http://www.auris.ru>
- [8] НПФ "МЕТА -ХРОМ": <http://www.meta-chrom.ru>
- [9] НПФ "ЛМТ": <http://lmt.ifmo.ru>
- [10] ViTec: <http://www.vitec.ru>
- [11] Keithley: <http://www.keithley.ru>
- [12] National Instruments: <http://www.ni.com>
- [13] VXI Technology: <http://www.vxitech.com>
- [14] БУТКЕВИЧ В. *Изделия L-CARD: отечественные платы АЦП /ЦАП с сигнальным процессором/* В.Буткевич, В.Невзоров //Электроника НТБ. – 1999. – № 3. – С. 32-33.

- [15] АЛФИМОВ Е.Е. Плата расширения для двухфотонного лазерного спектрометра на базе компьютера IBM PC / Е.Е.Алфимов, Д.Е.Грошев, В.К.Макуха // ПТЭ. – 1998. – № 2. – С. 165-165.
- [16] МАКАРОВ Р.А. Автоматизация измерений спектрокинетических характеристик биолоуминесцентных и оптических регистрирующих сред / Р.А.Макаров, Ю.П.Мешалкин, А.Г.Сизых // Материалы VI международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения – АПЭП –2002”. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – Т. 5. – С. 54-58.
- [17] KUDRYASHEVA N.S. Upper electron-excited states in bioluminescence: experimental indication / N.S.Kudryasheva, E.V.Nemtseva, Yu.P.Meshalkin, A.G.Sizykh // Luminescence. – 2001. – V. 16. – P. 243-246.
- [18] ВОРОБЬЁВ А.А. Образование светоиндуцированных решёток в жёстком растворе эозина в желатине / А.А.Воробьёв, С.А.Колчанова, А.Г.Сизых // Квантовая электроника. – 1992. - Т. 19. - № 3. - С. 304-307.
- [19] СИЗЫХ А.Г. Фотоиндуцированные процессы в твёрдых полимерных растворах красителей в интерференционном поле лазерного излучения / А.Г.Сизых, Е.А.Тараканова // Квантовая электроника. – 1998. – Т. 25. – № 12. – С. 1126-1130.
- [20] СИЗЫХ А.Г. Лазерно-индуцированное восстановление растворённого в полимере красителя с высоким выходом триплетного состояния / А.Г.Сизых, Е.А.Тараканова, Л.Л.Татарина // Квантовая электроника. – 2000. – Т. 30. – № 1. – С. 40-44.
- [21] WANG S.H. Holographic method for investigating the diffusion of dye molecules in the polymer host / S.H.Wang, J.L.Xia // J. Chem. Phys. – 1990. – V. 92. – № 4. – P. 2603-2613.

#### AUTOMATED SETUP FOR SPECTRA-KINETIC MEASUREMENTS

R.A.Makarov, A.G.Sizykh

*In the present work setup for measurement of spectra-kinetic characteristics of various optical environments is set up and computerized. As the spectral block production device KSVU-23 is used. After carrying out of modernization of programs and function characteristics we execute on setup researches of bioluminescent system, its components, and also thin-film samples of rigid solutions of xantene dyes in a biopolymeric gelatinous host. The results of measurements showing the phenomena of transfer energy of electronic excitation and display effects of intermolecular interaction in bifermion bioluminescent system and its components. Kinetic laws of formation light-induced lattices in rigid solution of eosine K in gelatin in an interferential field of laser radiation are investigated.*