ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И.С. Тургенева

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА»
ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра приборостроения, метрологии и сертификации

В.В. Дрёмин, В.В. Шуплецов

БИОМЕДИЦИНСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Дисциплина – «Биомедицинская спектроскопия и визуализация»
Направление – 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»

Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2022

Авторы: канд. техн. наук, доц. каф. ПМиС В.В. Дрёмин
асс. каф. ПМиС В.В. Шуплецов

Рецензент: канд. техн. наук, доц.,
и.о. зав. каф. ПМиС В.В. Марков

Методические указания содержат описание 3 лабораторных работ, охватывающих основные разделы дисциплины. Представлены общие положения по выполнению лабораторных работ, оформлению отчётов, описание занятий с указанием цели, содержания, методики подготовки к работе, порядка выполнения и защиты.

Предназначены студентам, обучающимся по направлению 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» очной формы обучения, изучающим дисциплину «Биомедицинская спектроскопия и визуализация».

Редактор Н.Н. Лысых
Технический редактор А.В. Селихов

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Подписано к печати 24.06.2022 г. Формат 60×90 / 16.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 10 экз.
Заказ №___

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

Общие положения 5

Лабораторная работа №1. Исследование микроциркуляции крови методом лазерной спекл-контрастной визуализации 8

Лабораторная работа №2. Исследование оксигенации и кровенаполнения ткани методом гиперспектральной визуализации 11

Лабораторная работа №3. Исследование функционального состояния биоткани с помощью флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии 15

ЛИТЕРАТУРА 21

Приложение А 23

ВВЕДЕНИЕ

Оптические методы визуализации и спектроскопии биологических объектов характеризуются большим разнообразием приложений в различных медико-биологических исследованиях, наиболее яркие из которых: изучение субклеточных структур с разрешением отдельных молекул, исследование молекулярных процессов на уровне целого организма лабораторных животных, структурная и функциональная клиническая диагностика тканевых слоёв и органов и т.д. Благодаря внедрению в клиническую практику методов диагностической биофотоники появилась возможность наблюдать в режиме реального времени за процессами перемещения веществ в организме, оценивать параметры кровотока, уровень гипоксии, более детально характеризовать метаболизм и при этом вовремя проводить анализ и корректировку различных патологических состояний.

В настоящем методическом указании рассмотрен ряд современных методов биомедицинской спектроскопии и визуализации, позволяющих оценивать состояние биоткани путем анализа параметров микроциркуляции и процессов окислительного метаболизма.

Общие положения

Назначение и структура лабораторных работ

Лабораторные работы направлены на углубление и закрепление теоретических знаний по основным разделам дисциплины «Биомедицинская спектроскопия и визуализация», на получение практических навыков построения экспериментальных систем оптической визуализации для применения в диагностических медицинских целях, решения задач регистрации и обработки сигналов и данных.

Лабораторный практикум содержит 3 лабораторные работы и охватывает наиболее важные вопросы по основным разделам теоретического курса. При выполнении работ используется передовое оптическое оборудование и необходимые к ним комплектующие расположенные в НТЦ биомедицинской фотоники.

Подготовка к выполнению работ

Подготовка к выполнению лабораторной работы заключается в изучении теоретического материала по рекомендуемой литературе и по конспектам лекций. В описании каждой работы даны вопросы для самопроверки. Краткие ответы на эти вопросы должны быть изложены письменно в отчете. Подготовка к работе осуществляется студентом самостоятельно (вне аудиторных занятий). Консультации проводятся преподавателем, ведущим лабораторные занятия в установленном порядке.

На лабораторные занятия студент должен явиться подготовленным с оформленной теоретической частью отчета. Форма контроля – проверка отчетов, зачет по теоретической части работы.

Студент, не сдавший зачет по теоретической части, к выполнению работы не допускается.

Порядок выполнения работ

Каждая работа рассчитана на 4 часа. Таким образом, большинство работ выполняется за одно посещение лаборатории.

При проведении занятий первый час отводится зачету по теоретической части работы. За последующие два часа необходимо выполнить экспериментально – расчетную часть работы, сделать выводы, завершить оформление отчета. Последний час лабораторных занятий отводится зачету по работе.

Оформление отчета по работе

Отчет по работе оформляется каждым студентом индивидуально на листах стандартного формата А4 (210×297), не допускается использовать листы, извлеченные из ученических тетрадей. Форма титульного листа представлена в Приложении А.

Схемы, графики, диаграммы и таблицы необходимо выполнять с помощью специальных приложений на персональном компьютере (MathCad, Matlab, Microsoft Excel, OriginPro и подобные аналоги программ). Подписи графиков экспериментальных и теоретических зависимостей, а также рисунков и диаграмм выполняются шрифтом Times New Roman, 14. Нумерация страниц в отчете сквозная. Формулы заполняются с помощью редактора MathType в едином стиле шрифта с основным документом.

Отчет по теоретической части работы должен содержать изложение цели работы и письменные ответы на вопросы для самопроверки. Ответы следует излагать кратко, по существу. Содержание отчета по экспериментально- расчетной части работы изложено в описании каждой работы.

Небрежно оформленные отчеты к рассмотрению не принимаются.

Краткие сведения по правилам техники безопасности

При работе в учебной лаборатории во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования

студент при выполнении лабораторных работ должен выполнять следующие правила внутреннего распорядка (ПВР) и техники безопасности (ТБ):

1. Приступая в лабораторной к работе, студент должен ознакомиться с ПВР и ТБ, выполнять их и требовать выполнения от товарищей. После ознакомления с ПВР и инструктажа по ТБ студент должен расписаться в журнале.

2. В лабораторию категорически запрещается приносить с собой верхнюю одежду, вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, приводящих к нарушению правил ТБ.

3. При работе с оптическими волокнами (оптические зонды) необходимо обращаться с ними осторожно и не допускать изломов.

4. Не допускайте механических повреждений торца оптического зонда во время проведения экспериментов.

5. Подача лазерного излучения запрещена в отсутствии преподавателя и до того момента, как лица, проводящие эксперимент, не наденут защитные очки (маркировка 730-1085 nm OD5).

6. Не смотрите в торец зонда на лазерное излучение.

7. Исследования методами визуализации проводят в помещении с выключенным освещением.

8. При использовании светофильтров, имеющих маркировку со стрелкой, обращайте внимание на направление стрелки при установке фильтра в держатель. Стрелка на кольце фильтра указывает направление распространения проходящего света.

Лабораторная работа №1. Исследование микроциркуляции крови методом лазерной спекл-контрастной визуализации

Цель лабораторной работы

Получение практических знаний об измерениях тканевой микроциркуляции с помощью метода лазерной спекл-контрастной визуализации.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-5]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля и заполнением столбца «Назначение» в таблице 1. Таблица 1 заполняется по тем комплектующим системы, которые выдал преподаватель для проведения лабораторной работы.

Таблица 1 – Комплектующие для выполнения лабораторной работы

Наименование	Обозначение	Назначение
Лапароскоп	-	
Лазерный источник излучения	Edmund Optics	
Монохромная КМОП-камера	UI-3360CP-NIR-GL Rev 2	
Объектив	-	
Кабель связи «камера-компьютер»	-	
Оптомеханические комплектующие	ThorLabs	

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите метод лазерной спекл-контрастной визуализации.

2. Объясните необходимость использования когерентного лазерного излучения.

3. Опишите диагностические возможности метода лазерной спекл-контрастной визуализации в медицине.

4. Укажите преимущества и недостатки метода лазерной спекл-контрастной визуализации.

5. Дайте определение метода лапароскопии и опишите устройство стандартного лапароскопического оборудования.

6. Опишите потенциал внедрения метода лазерной спекл-контрастной визуализации в лапароскопическую хирургию.

Порядок выполнения работы

Объектом исследования в данной лабораторной работе является внутренняя поверхность кожи пальцев руки человека.

1. Сборка экспериментальной системы (см. Рис. 1).

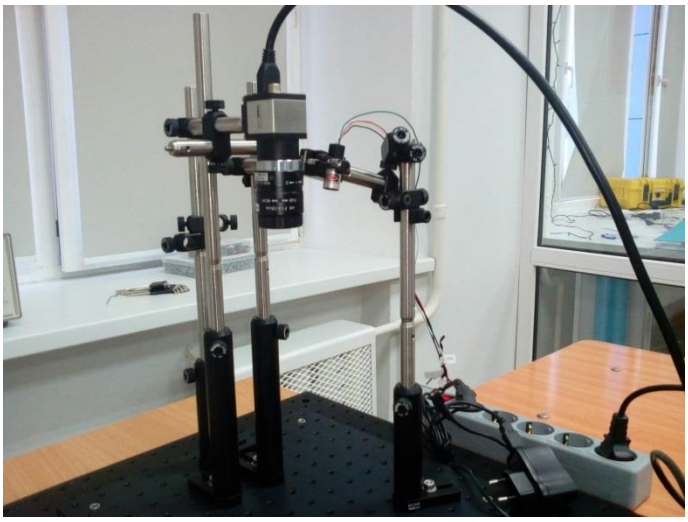

Рисунок 1 – Общий вид системы для регистрации спекл-контрастных изображений

Для сборки экспериментальной системы необходимо подсоединить объектив к КМОП-камере и закрепить их совместно с источником лазерного излучения перпендикулярно по отношению к поверхности измерений.

К камере подсоединяется кабель связи для передачи и записи данных на персональный компьютер. Далее подключите кабель камеры к компьютеру в любой разъем USB3.0 в системном блоке. Для записи данных необходимо запу-

стить специальное программное обеспечение. После настройки программного обеспечения и при соблюдении всех мер безопасности необходимо включить источник лазерного излучения.

После окончания проведения измерений необходимо прекратить подачу лазерного излучения.

2. Экспериментальные измерения.

Провести измерения внутренней поверхности ладони руки до проведения окклюзии среднего пальцев, после 1 минуты окклюзии и через минуту после снятия окклюзии. Окклюзию пальца произвести с помощью эластичной ленты.

3. Регистрация данных с использованием программного обеспечения.

Запустите программу Video Capturing Tool. Откроется два окна – изображение с камеры и настройка параметров. Выставите необходимые параметры в полях: «FPS» – 50; «Color» – Raw; «Exposure» – 9 ms; «Contrast» – Static. Также необходимо указать путь сохранения файлов, которые будут регистрироваться во время записи.

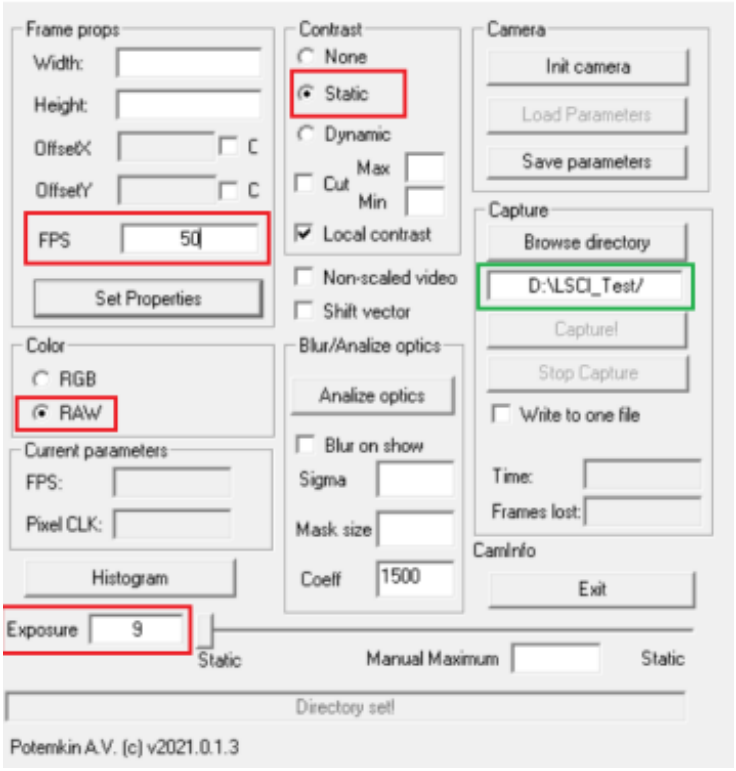

Рисунок 2 – Окно программы Video Capturing Tool

После настройки параметров поместите исследуемый объект в поле зрения объектива и включите подачу лазерного излучения. Убедитесь в том, что объект находится в поле зрения объектива, проверив окно с изображением с камеры. Следите за статичным положения исследуемого объекта. Для начала записи нажмите кнопку «Capture!» в окне параметров. В окне «Time» отображаются секунды, прошедшие с начала записи. Для окончания записи нажмите кнопку «Stop Capture». После окончания эксперимента закройте программу путем закрытия окна настройки параметров.

Обработка зарегистрированных изображений проводиться с использованием программного кода, реализованного на базе программной среды Matlab. Работа с программным кодом осуществляется после выдачи студентам персонального компьютера, алгоритм действий работы по обработке спекл-контрастных изображений осуществляется под контролем преподавателя.

Оформление отчёта

Отчёт по лабораторной работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт по экспериментальной части работы должен содержать заполненную Таблицу 1, структурную схему экспериментальной системы лазерной спекл-контрастной визуализации, зарегистрированные спекл изображения объекта исследования, анализ результатов и соответствующие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа №2. Исследование оксигенации и кровенаполнения ткани методом гиперспектральной визуализации

Цель лабораторной работы

Получение практических знаний об измерении параметров кровенаполнения и тканевой сатурации методом гиперспектральной визуализации.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-2, 6-8]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля и заполнением столбца «Назначение» в таблице 2. Таблица 2 заполняется по тем комплектующим системы, которые выдал преподаватель для проведения лабораторной работы.

Таблица 2 – Комплектующие части системы для лабораторной работы

Наименование	Обозначение	Назначение
Гиперспектральная камера	Specim IQ	
Широкополосный источник излучения	-	
Эталон диффузного отражения	Specim IQ	
Штатив для камеры	-	

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите принцип метода гиперспектральной визуализации.

2. Дайте определение гиперспектральному кубу.

3. Объясните необходимость использования широкополосного галогенного источника излучения.

4. Объясните необходимость использования эталона диффузного отражения.

5. Опишите диагностические возможности метода гиперспектральной визуализации в медицине.

6. Укажите преимущества и недостатки метода гиперспектральной визуализации.

Порядок выполнения работы

Объектом исследования в данной лабораторной работе является внутренняя поверхность кожи пальцев руки человека

1. Сборка экспериментальной системы.

Вся система гиперспектральной визуализации крепиться на штативе-триподе для камеры (см. Рис. 3).

Рисунок 3 – Общий вид гиперспектральной системы визуализации

Крепление камеры к штативу осуществляется с помощью специального зажима, расположенного на задней части камеры. Крепление широкополосного источника осуществляется через специальный крепеж, расположенный на основании штатива. При сборке системы необходимо закрепить камеру и источник излучения перпендикулярно плоскости стола, на котором происходит лабораторное экспериментальное исследование.

2. Экспериментальные измерения.

Провести измерения внутренней поверхности ладони руки до проведения окклюзии среднего пальцев, после 1 минуты окклюзии и через минуту после снятия окклюзии. Окклюзию пальца произвести с помощью эластичной ленты.

3. Регистрация данных с использованием программного обеспечения.

Перед началом работы камеру необходимо включить и подключить к ноутбуку (компьютеру), затем запустить программу Specim IQ Studio (см. Рис. 4).

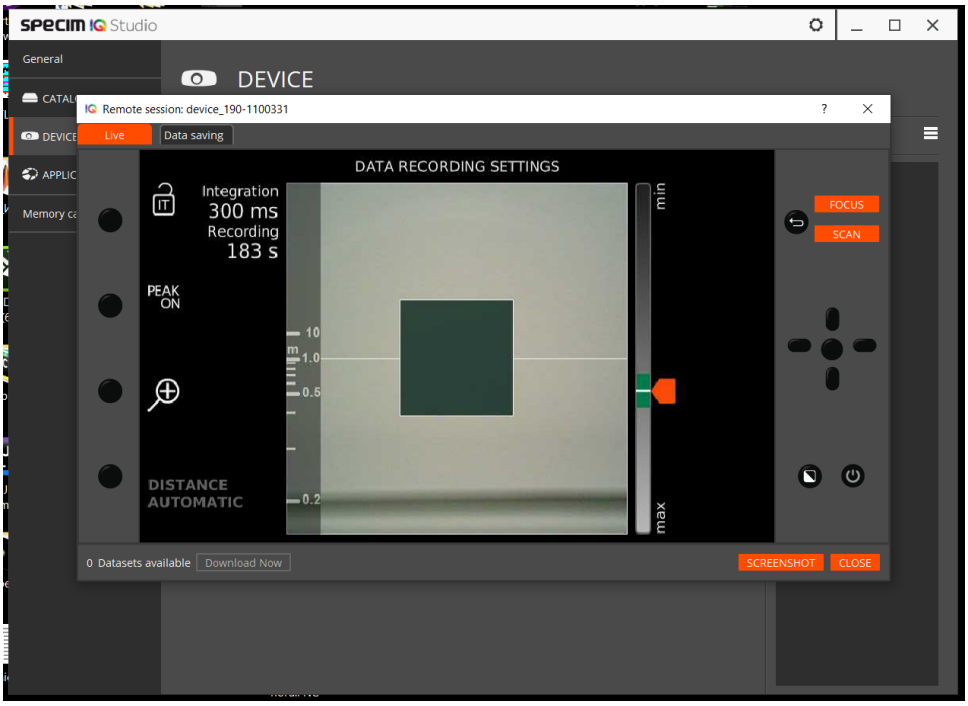

Рисунок 4 – Окно программы Specim IQ Studio

Для управления камерой после открытия программы необходимо перейти во вкладку «Device», затем нажать кнопку «Remote». Для дальнейшей работы с камерой необходимо нажать кнопку Focus. После нажатия кнопки «Focus» появиться окно, где можно настроить ряд параметров регистрации изображения, в том числе время экспозиции. При нажатии кнопки «Peak On» на изображении будет подсвечиваться оранжевым цветом объекты, которые находятся в фокусе камеры. Кнопкой увеличения можно увеличить на экране размер окна с гиперспектральной камерой. После настройки параметров поместите исследуемый объект в поле зрения камеры и включите широкополосный источник. Убедитесь в том, что объект находится в поле зрения, проверив окно с изображением с камеры. Для начала записи необходимо нажать кнопку «Scan». После завершения записи, в окне программы появиться окно о выполнении записи, где зарегистрированные данные необходимо сохранить нажатием кнопки «Save raw».

При проведении экспериментальных лабораторных исследований после регистрации выбранного объекта исследования необходимо провести повторную регистрацию гиперспектральных изображений, предварительно расположив эталон диффузного отражения на измеряемый объект.

Для того чтобы импортировать файл на ноутбук (компьютер), необходимо закрыть окно сохранения и перейти во вкладку «Memory card». Откроется вся база данных на камере, где с помощью кнопки «Import» возможно импортироваться измеренные данные.

Обработка зарегистрированных изображений проводиться с использованием программного кода, реализованного на базе программной среды Matlab. Работа с программным кодом осуществляется после выдачи студентам персонального компьютера, алгоритм действий работы по обработке гиперспектральных изображений осуществляется под контролем преподавателя.

Оформление отчёта

Отчёт по лабораторной работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт по экспериментальной части работы должен содержать заполненную Таблицу 2, структурную схему экспериментальной системы гиперспектральной визуализации, зарегистрированные гиперспектральные изображения объекта исследования, нормированные спектры диффузного отражения объекта исследования, количественно посчитанные показатели тканевой сатурации и кровенаполнения, анализ результатов и соответствующие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа №3. Исследование функционального состояния биоткани с помощью флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии.

Цель лабораторной работы

Получение практических навыков регистрации параметров времени жизни флуоресценции биотканей.

Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к выполнению работы осуществляется по [1-2, 9-11]. Студент допускается к работе с разрешения преподавателя после ответов на вопросы для самоконтроля и заполнением столбца «Назначение» в таблице 3. Таблица 3 заполняется по тем комплектующим системы, которые выдал преподаватель для проведения лабораторной работы.

Таблица 3 – Комплектующие части системы для лабораторной работы

Наименование	Обозначение	Назначение
Лазерный источник	BDS-SM-375-FBC-101	
Монохроматор	MonoScan2000	
Фотодетекторы	HPM-100-40-CMOUNT	
Оптические фильтры MF 479-40 и MF 530-43	ThorLabs	
Модули счета фотонов	SPC	
Коллиматор	ThorLabs	
Волоконно-оптический зонд	-	

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите принцип регистрации времени жизни флуоресценции во временной и частотной области.

2. Напишите параметры, регистрируемые системой времени жизни флуоресценции, и дайте пояснение каждому из них.

3. Объясните необходимость использования лазерного источника излучения.

4. Объясните необходимость использования оптических фильтров.

5. Объясните необходимость использования монохроматора.

6. Опишите диагностические возможности метода флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии в медицине.

7. Укажите преимущества и недостатки метода флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии.

Порядок выполнения работы

Объектом исследования в данной лабораторной работе является предплечье руки человека.

1. Сборка экспериментальной системы.

Экспериментальные исследования в данной лабораторной работе проводятся на уже реализованной системе флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии, располагаемой на базе НТЦ биомедицинской фотоники (см. Рис. 5). Перед началом работы, необходимо открутить все заглушки на выходах детекторов и монохроматора.

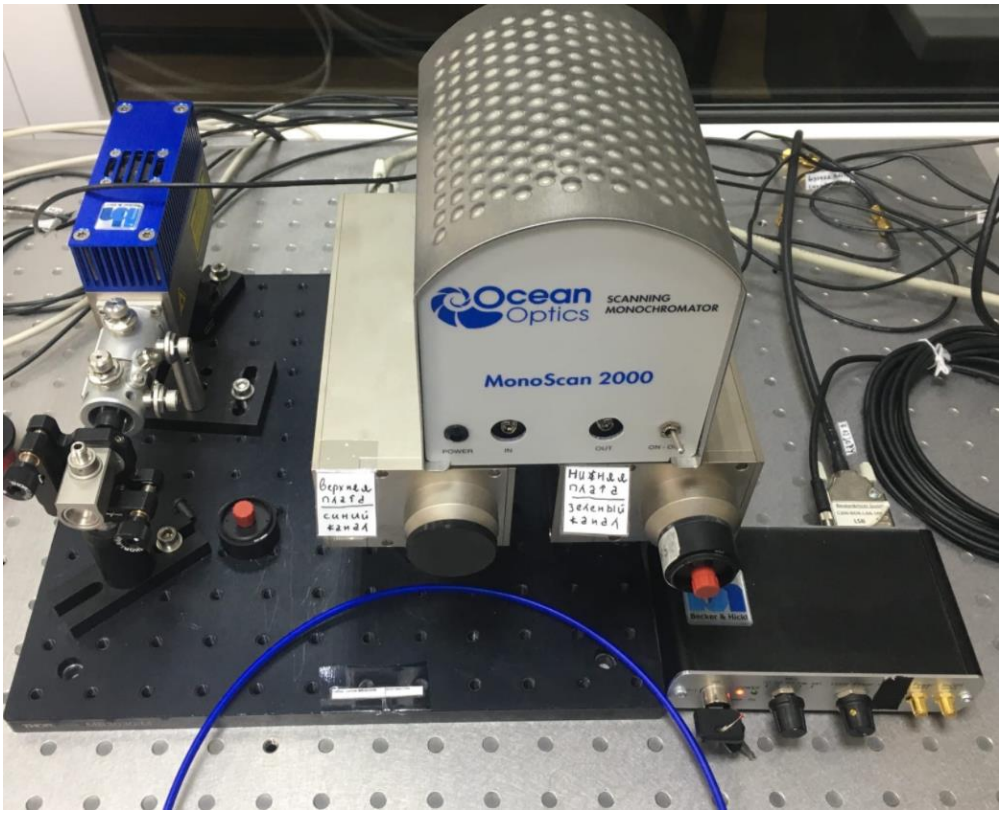

Рисунок 5 – Общий вид системы флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии

Для начала работы необходимо подсоединить выходы оптоволоконного зонда к монохроматору (выход обозначен пометкой «Out»), к выходам двух детекторов. Затем необходимо включить монохроматор, щелкнув тумблер включения на лицевой панели. Для включения лазерного источника необходимо по-

вернуть ключ на блоке управления лазером в горизонтальное положение, затем выкрутить регулятор мощности на необходимые значения, указанные преподавателем. Работа с системой проводиться на стационарном компьютере, с модулями счета фотонов в его конфигурации.

После подготовки системы к работе, необходимо расположить объект исследования на столе и прислонить торец оптоволоконного зонда к измеряемой части предплечья.

2. Регистрация данных с использованием программного обеспечения.

Для управления системой флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии используется программное обеспечение SPCM Software (см. Рис. 6). При запуске, программа отобразит подключенные и исправные детекторы в сплывающем окне. Перед началом измерений необходимо провести настройку системы. В окне M1-SPC в параметре «Cycles» необходимо выставить число регистрируемых спектров – 3. В параметре «Autosave» выбрать значение «On». В параметре «Spec Data Files» выбрать путь сохранения измеряемых кривых времени жизни флуоресценции объекта исследования. В параметре «Collection», отвечающим за время выдержки детекторов, поставить значение 1,9 сек. В параметре «Repeat» поставить значение 2 секунды.

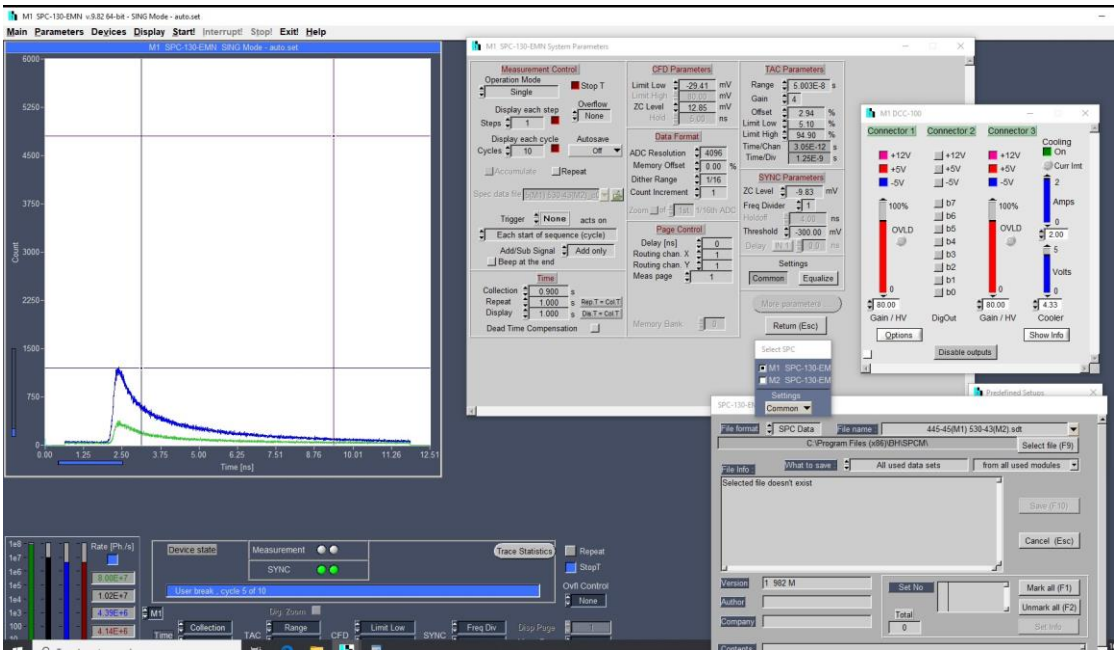

Рисунок 6 – Окно настройки программы SPCM Software

В окне M1 DCC 100 необходимо выставить значения параметров «Gain» по согласованию с преподавателем. При нажатии кнопки «Enable Outputs» происходит открытие детекторов.

По завершению всех настроек необходимо нажать кнопку «Start» для начала записи кривых времени жизни флуоресценции, отображаемых в левой части интерфейса программы.

Для обработки полученных результатов измерения необходимо использовать программу SPC Image (см. Рис. 7).

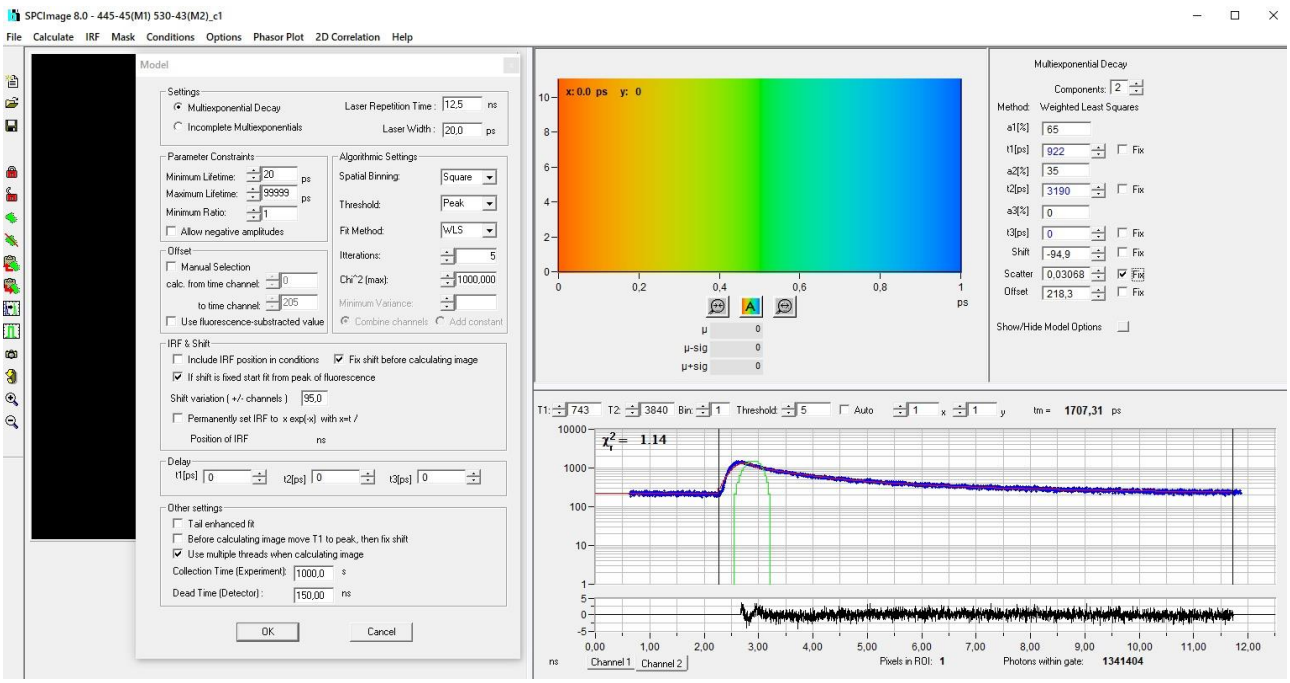

Рисунок 7 – Окно настройки программы SPC Image

Кнопкой «Load» на верхней части интерфейса программы необходимо загрузить измеренные данные. В нижней части программы будут отображены экспоненциальные кривые затухания флуоресценции для двух каналов измерения. Последующая настройка параметров обработки в программе производиться под контролем преподавателя. Для выгрузки рассчитанных параметров времени жизни флуоресценции необходимо нажать кнопку «Export» в правой части интерфейса программы, где всплывающим окном будет предложен выбор экспортируемых значений. В качестве выгружаемых параметров необходимо выбрать: долю первой компоненты α_1 в общей флуоресценции, долю второй

компоненты α_2 в общей флуоресценции, интенсивность флуоресценции первой компоненты α_1, интенсивность флуоресценции второй компоненты α_2, общую интенсивность флуоресценции, время жизни флуоресценции t_1 первой компоненты, время жизни флуоресценции τ_2 второй компоненты.

Оформление отчёта

Отчёт по лабораторной работе оформляется в соответствии с **Общими положениями**. Отчёт по экспериментальной части работы должен содержать заполненную Таблицу 3, структурную схему экспериментальной системы флуоресцентной время-разрешенной спектроскопии, график экспоненциальной кривой затухания флуоресценции, рассчитанные параметры времени жизни флуоресценции, анализ результатов и соответствующие выводы по лабораторной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаев, А.В. Оптическая неинвазивная диагностика в медико-биологической практике: лабораторный практикум [Текст] / А.В. Дунаев, Е.В. Потапова, Е.А. Жеребцов, А.И. Жеребцова, В.В. Дрёмин, И.Н. Маковик. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. – 96 с.

2. Дунаев, А.В. Принципы построения технических средств мультипараметрической оптической диагностики для оценки функционального состояния икроциркуляторно-тканевых систем [Текст] / А.В. Дунаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – Т. 344. – №6. – С. 131-140.

3. Potapova, E. Laser speckle contrast imaging of blood microcirculation in pancreatic tissues during laparoscopic interventions [Text] / E. Potapova, E. Seryogina, V. Dremin, D. Stavtsev, I. Kozlov, E. Zherebtsov, A. Mamoshin, Yu. Ivanov, A. Dunaev // Quantum Electronics. – 2020. – Vol. 50. – №1. – P. 33.

4. Golubova, N. Multimodal laparoscopic system for biological tissue perfusion and metabolism assessment [Text] / N. Golubova, V. Dremin, E. Potapova, V. Shupletsov, A. Dunaev // PROCEEDINGS of the 2021 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – 2021. – P. 241-243.

5. Mizeva, I. Wavelet analysis of the temporal dynamics of the laser speckle contrast in human skin [Text] / I. Mizeva, V. Dremin, E. Potapova, E. Zherebtsov, I. Kozlov, A. Dunaev // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2020. – Vol. 67. – №7. – P. 1882-1889.

6. Lu, Y. Hyperspectral imaging technology for quality and safety evaluation of horticultural products: A review and celebration of the past 20-year progress [Text] / Y. Lu, W. Saeys, M. Kim, Y. Peng, R. Lu // Postharvest Biology and Technology. – 2020. – Vol. 170. – P. 111318.

7. Шуплецов, В.В. Использование модельных образцов кожи человека на основе полиакриламида в задачах гиперспектральной флуоресцентной визуализации и спектроскопии / В.В. Шуплецов, Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.П.

Попов, А.В. Быков, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, И.В. Меглинский // Квантовая Электроника. – 2021. – Vol. 51. – №2. – P. 118-123.

8. Zherebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks [Text] / E. Zherebtsov, V. Dremin, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // Biomedical Optics Express. – 2019. – Vol. 10. – №7. – P. 3545-3559.

9. Becker, W. The bh TCSPC Handbook [Text] / W. Becker. – Becker & Hickl GmbH, 2017.

10. Жеребцов, Е.А. Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях *in vivo*: монография / Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. – 107 с.

11. Zherebtsov, E.A. Fluorescence lifetime needle optical biopsy discriminates hepatocellular carcinoma [Text] / E.A. Zherebtsov, E.V. Potapova, A.V. Mamoshin, V.V. Shupletsov, K.Y. Kandurova, V.V. Dremin, A.Y. Abramov, A.V. Dunaev // Biomedical Optics Express. – 2022. – Vol. 13. – №2. – P. 633-646.

Приложение А

(обязательное)

Форма титульного листа отчёта по лабораторной работе

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кафедра приборостроения, метрологии и сертификации

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(Полное наименование работы)_____

_____

_____

Дисциплина: «_____»

Студент: _____(Ф.И.О.)_____

Группа: _____

Допущен к защите: _____

Отметка о зачете: _____

Орел, 20__