

На правах рукописи

Гнеушев Роман Юрьевич

**МЕТОД И УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ НОСА**

Направление 12.04.04 – Биотехнические системы и технологии
Направленность «Фотоника и электроника в медико-биологической практике»

АВТОРЕФЕРАТ

Магистерской выпускной квалификационной работы

Орел, 2022

Работа выполнена на кафедре приборостроения, метрологии и сертификации
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник
научно-технологического центра
биомедицинской фотоники
Новикова Ирина Николаевна

Официальный рецензент: кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики», старший преподаватель,
факультет прикладной оптики, (г. Санкт-Петербург)
Маргарянц Никита Борисович

Защита состоится 8 июля 2022 года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной
экзаменационной комиссии по адресу: 302020, РФ, г. Орел Наугорское шоссе, 29.

С выпускной квалификационной работой можно ознакомиться на кафедре
приборостроения, метрологии и сертификации ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени И.С. Тургенева»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Болезни ЛОР-органов входят в состав болезней органов дыхания, являющихся ведущими заболеваниями среди населения. Ежегодно 20 % людей в мире страдают заболеваниями пазух носа, это более 10 млн человек в России. По статистике, на долю подобных патологий, а также патологий полости носа приходится более 50 % от общего числа больных с заболеваниями ЛОР-органов. Среди заболеваний полости носа преобладают гнойные заболевания околоносовых пазух: острые синуситы 32 % и хронические синуситы 25 %. В 2018 г. 28,9 млн человек в США сообщили о диагнозе синусит за предыдущий 12-месячный период, что составляет 11,6 % взрослого населения. В Европе синусит поражает 10,9 % населения.

Также актуальной является проблема диагностики воспалительных заболеваний пазух носа (ВЧП) у детей, так как существует трудность диагностики, связанная с анатомическими особенностями строения околоносовых пазух и спецификой ответных реакций детского организма на локальные очаги инфекции.

В связи с тем, что заболевания ВЧП затрагивают все возрастные группы, и особенно трудоспособную часть населения, государство тратит на лечение таких больных порядка 60 млрд. рублей в год. Поэтому безболезненная и своевременная диагностика патологии ВЧП является одной из ключевых проблем современной отоларингологии.

Применение технологии цифровой диафаноскопии, основанное на оптическом зондировании области исследования и регистрации обратно рассеянного излучения, имеет преимущества по сравнению со стандартно применяемыми в практике ЛОР-врача методами, за счёт отсутствия таких недостатков как наличие артефактов при ультразвуковом исследовании, высокое радиационное воздействие при компьютерной томографии (КТ) и относительно низкая доступность магнитно-резонансной томографии (МРТ). При этом диагностическая информация может быть получена путём анализа регистрируемых изображений рассеяния света в режиме реального времени за счёт быстрой цифровой обработки регистрируемых данных.

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы является повышение достоверности диагностики патологий (синуситы, кисты, опухолевые растяжения) ВЧП за счёт разработки метода и устройства цифровой диафаноскопии.

Задачи исследования:

- 1) обзор и анализ существующих методов диагностики патологий ВЧП;
- 2) разработка метода и устройства цифровой диафаноскопии для неинвазивной диагностики ВЧП условно здоровых добровольцев и пациентов с патологиями;
- 3) разработка метрологического обеспечения и технического обслуживания устройства цифровой диафаноскопии;
- 4) разработка методики экспериментального исследования ВЧП методом цифровой диафаноскопии;
- 5) проведение научно-исследовательской работы по применению

экспериментальной установки цифровой диафаноскопической системы, проведение предварительных экспериментальных исследований и экспериментального обоснования достоверности получаемых результатов с применением предлагаемого устройства для диагностики патологий ВЧП.

Объектом исследования является метод и устройство цифровой диафаноскопии для диагностики патологий ВЧП.

Предметом исследования является метод и алгоритм диагностики патологий ВЧП, параметры, влияющие на диагностическую информацию о наличии патологий в ВЧП, принцип построения и проектно-конструкторские решения по созданию устройства цифровой диафаноскопии, а также его метрологическое обеспечение и постпродажное обслуживание.

Методы исследования. При выполнении исследований применялись методы математической статистики, теория алгоритмов и математической обработки сигналов.

Научная новизна заключается в том, что при решении поставленных задач исследования предложены:

1) метод диагностики патологий ВЧП, основанный на методе цифровой диафаноскопии, отличающийся использованием источников излучения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах;

2) зависимости изменения интенсивности излучения при прохождении через ВЧП излучений с длиной волны 650 нм, 850 нм и 980 нм от анатомических и гендерных особенностей человека, а также наличия патологических образований в ВЧП, основанные на имитационной модели, которая базируется на численном стохастическом методе Монте-Карло, отличающаяся тем, что учитываются анатомические параметры человека, а также значения оптических характеристик патологических образований;

3) принцип построения устройства цифровой диафаноскопии для диагностики патологических заболеваний ВЧП, отличающийся наличием светодиодного аппликатора анатомической формы с источниками излучения 650 нм и 850 нм, КМОП-камерой с спектральной чувствительностью в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, блоком управления и регулировки яркости светодиодного аппликатора, а также специализированным программным обеспечением обработки получаемых изображений.

Практическая значимость:

1) предложен принцип построения устройства цифровой диафаноскопии, дающей возможность проведения безопасной и безболезненной диагностики патологий ВЧП, а также возможность оценки динамики изменения протекающих патологических процессов в рамках проводимой терапии и анализа её эффективности;

2) разработана экспериментальная установка, включающая приборную реализацию, ПО для обработки получаемой диагностической информации, а также методику применения для проведения диагностики ВЧП.

Личный вклад автора заключается в проведении обзора текущего состояния вопросов диагностики патологий ВЧП, выполненной с помощью

цифровой диафаноскопической системы, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе полученных данных и оформлении результатов, формулировке требований к разрабатываемому устройству, разработке устройства цифровой диафаноскопии.

Положения, выносимые на защиту:

1) предложенный метод диагностики патологий ВЧП, основанный на просвечивании ВЧП излучением красного и ближнего инфракрасного диапазонов, и регистрации картин рассеяния света цифровой камерой с последующей обработкой получаемых изображений, предоставит возможность принять решение о наличии или отсутствии патологии в ВЧП;

2) предложенный принцип построения устройства цифровой диафаноскопии для оценки состояния ВЧП предоставляет возможность их достоверной диагностики;

3) предложенная методика контроля технического состояния мощности излучения светодиодного аппликатора цифровой диафаноскопической системы, обеспечивает защиту пациента от опасного для глаз инфракрасного излучения.

Степень достоверности и апробации результатов. Апробация результатов работы проводилась на базе оториноларингологического отделения Клинического центра челюстно-лицевой, реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии Университетской клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова (г. Москва) и в ООО «Диагностический медицинский центр» (г. Орёл).

Материалы исследования доложены и обсуждены на 8 международных и 4 всероссийских конференциях, в том числе: Международная конференция Saratov Fall Meeting (2019-2021 – Саратов, Россия), Международная конференция European Conferences on Biomedical Optics (2021 – Мюнхен, Германия), Всероссийский конгресс молодых учёных (2020-2021 – Санкт-Петербург, Россия), Международная конференция Photonics Europe (2020 – Страсбург, Франция), Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ» (2020 – Владимир-Суздаль, Россия); Всероссийская научно-техническая конференция молодых учёных и специалистов «Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы» (2019-2020 – Рязань, Россия); Международная научно-техническая конференция «Современные Технологии В Задачах Управления, Автоматики И Обработки Информации» (2021– Россия); Научно-практическая конференция с международным участием посвящённая 35-летию ФГБУ «ГНЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина ФМБА России» «ЛАЗЕРЫ В МЕДИЦИНЕ 2021» (2021 – Москва, Россия), XX съезд оториноларингологов России с международным участием (2021 – Москва, Россия).

Публикации:

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 4 публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных Web Of Science и Scopus, в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа изложена на 206 страницах, содержит 76 рисунков, 37 таблиц, 32 формулы. Она состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников, включающего 124 наименования и 14 приложений.

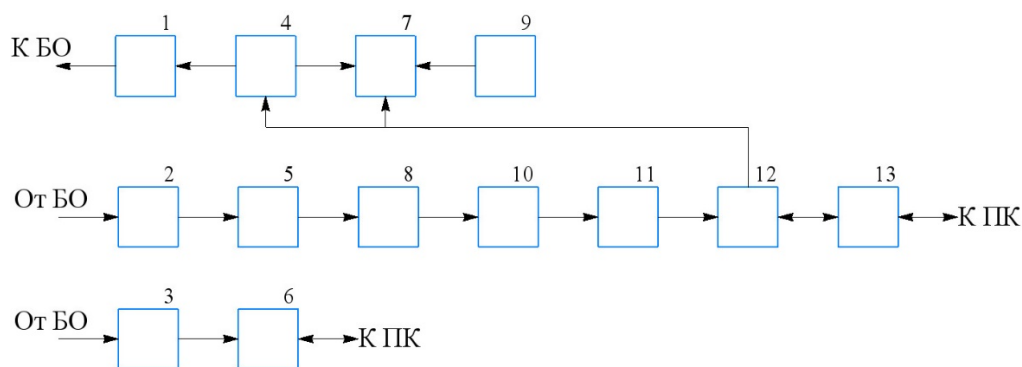
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, определён объект и предмет исследования, а также научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приводится медико-биологическое описание объекта исследования, проводится обзор методов диагностики патологий ВЧП.

Проведённый анализ общего состояния проблемы диагностики патологий пазух носа показал, что каждый из существующих методов диагностики имеет ряд недостатков, ограничивающих их применение такие как наличие артефактов, высокое радиационное воздействие, высокая стоимость как оборудования, так и исследования. Вследствие чего применение метода цифровой диафаноскопии является перспективным в области диагностики ВЧП, так как имеет ряд преимуществ такие как безопасность, безболезненность, низкая себестоимость, нетребовательность к квалификации медицинского персонала.

Разработано техническое задание, включающее технические требования, предъявляемые к разрабатываемому устройству. Разработана структурная схема, представлена на рисунке 1, и электрическая принципиальная схема, а также математическое описание устройства.



- 1 – светодиодный аппликатор; 2 – фотодиод; 3 – объектив камеры; 4 – блок регулировки яркости; 5 – ПТН; 6 – КМОП камера; 7 – драйвер светодиодного аппликатора; 8 – неинвертирующий усилитель; 9 – блок питания; 10 – фильтр нижних частот; 11 – АЦП; 12 – микроконтроллер; 13 – интерфейс связи с ПК

Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Проведено математическое описание и расчёт канала измерения мощности источника излучения и его точности, по итогу которого предел приведённой суммарной погрешности составляет не более 1,5 %. Проведён выбор элементов канала измерения мощности, а также КМОП-камеры с

наибольшей светочувствительностью в спектральном диапазоне излучения светодиодного аппликатора. Рассчитаны значения показателя средней наработки на отказ, составляющее 36190 ч, и вероятности безотказной работы, составляющее 94,6 % за 2000 ч. Представлены анализ параметров печатной платы, её разработка и трассировки. Представлены общие требования безопасности и эффективности разрабатываемого устройства.

Во второй главе проведено описание контроля метрологических характеристик и технического обслуживания разрабатываемого устройства. Так как устройство не относится к перечню, указанному приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 16 ноября 2020 г. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений», то формой государственного контроля для устройства является контроль технического состояния (КТС). Составлена локальная поверочная схема, схема подключения при проведении КТС, требования к проведению КТС, выбраны необходимые средства для проведения КТС, а также составлен технологический регламент технического обслуживания разрабатываемого устройства.

В третьей главе проведено описание метода цифровой диафаноскопии, экспериментальной установки её блоков и основных технических характеристик, а также методики проведения исследований ВЧП.

Метод цифровой диафаноскопии для диагностики ВЧП заключается в просвечивании пазух низкоинтенсивным излучением видимого и ближнего инфракрасного диапазонов и визуализации картины его рассеяния.

Излучение от помещённого в ротовую полость светодиодного аппликатора проходит через ВЧП, а также прилегающие к ним ткани и фиксируется камерой. Регистрация картины рассеяния осуществляется последовательно при включённом и выключенном состоянии источников излучения красного и ближнего инфракрасного диапазонов, а также при одновременном их включении и выключении. Далее сигнал, регистрируемый камерой, передаётся на ПК для дальнейшей цифровой обработки.

Полученный выходной результат цифровой обработки отображают в виде двумерного распределения картин рассеяния света, поделённого на 14 цветовых кластера, условно разделённых на 4 класса с соответствующими им диагностическими баллами от 0 до 3, где 0 – низкое поглощение света, 3 – высокое поглощение света.

Таким образом метод цифровой диафаноскопии для диагностики патологий ВЧП заключается:

- зондировании светодиодным аппликатором, помещённым в ротовую полость, ВЧП двумя источниками излучения красного и ближнего инфракрасного диапазона;
- регистрация картины рассеяния света, прошедшего через ВЧП, цифровой КМОП-камерой;
- обработка зарегистрированных картин рассеяния света в зависимости от распределения интенсивности для красного и ближнего инфракрасного

диапазонов;

– представление результата в виде изображения двумерного распределения картины рассеяния цвета, разделённого на 14 цветовых сегмента, по результатам которого принимается решение о наличии или отсутствии патологии в ВЧП.

Общий вид и схема экспериментальной установки при проведении исследований представлена на рисунке 2.

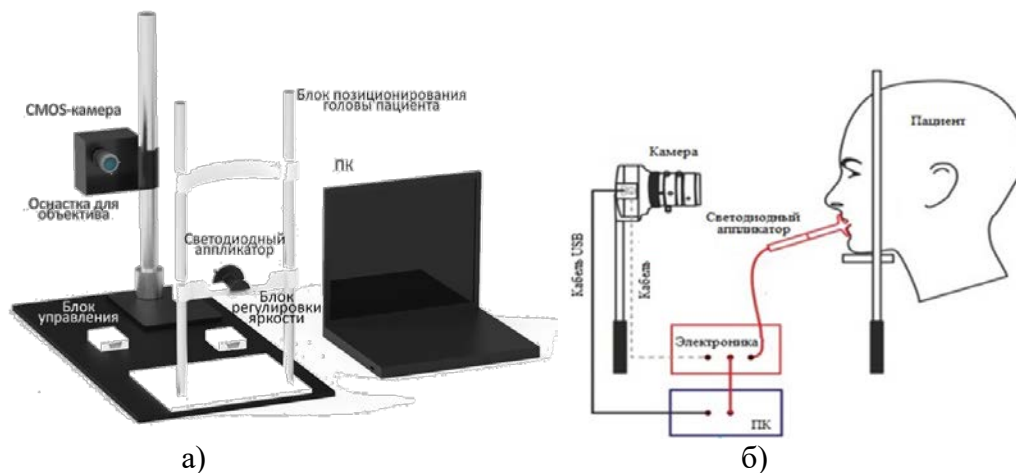


Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной дифрактометрической установки (а) и схема при проведении исследований (б)

Проведены предварительные экспериментальные исследования на 20 условно здоровых добровольцах и 15 пациентах с подозрением на воспаление ВЧП в ООО «Диагностический медицинский центр» (г. Орёл, Россия). Исследования проводились в соответствии с установленными протоколами. Испытуемые находились в сидячем положении. После введения предварительно продезинфицированного светодиодного аппликатора в полость рта испытуемого, его голова помещалась в устройство позиционирования головы пациента, а затем вместе с CMOS-камерой накрывалась защитным экраном. Излучение от помещённого в ротовую полость светодиодного аппликатора проходит через ВЧП и фиксируется камерой. Далее происходит обработка полученных картин рассеяния света с их окрашиванием в зависимости от интенсивности излучения пришедшей на детектор камеры. Полученный выходной результат цифровой обработки отображают в виде двумерного распределения, разделённого на 14 произвольных цветовых сегментов (от зеленого к черному) с 4 диагностическими показателями, наложенного на простое изображение с камеры без обработки. Когда цвет шкалы близок к зеленому, наблюдается слабое поглощение света. При цвете, близком к красному, поглощение света сильнее.

Чтобы учесть влияние времени экспозиции камеры на картину рассеивания света, изображения записывались при 40 различных временах экспозиции камеры в диапазоне от 0 до 40 мс (с шагом в 1 мс). На рисунке 3 представлены обработанные изображения двух условно здоровых

добровольцев (мужчины и женщины одной возрастной группы) с одинаковым временем экспозиции камеры 20,7 мс для длин волн зондирующего излучения 650 нм и 850 нм. В исследовании пациентов результаты измерений дополнительно сравнивались с T2-взвешенными изображениями при МРТ-исследованиях, которые проводились на 1Т МРТ-сканере серии Magnetom, Siemens.

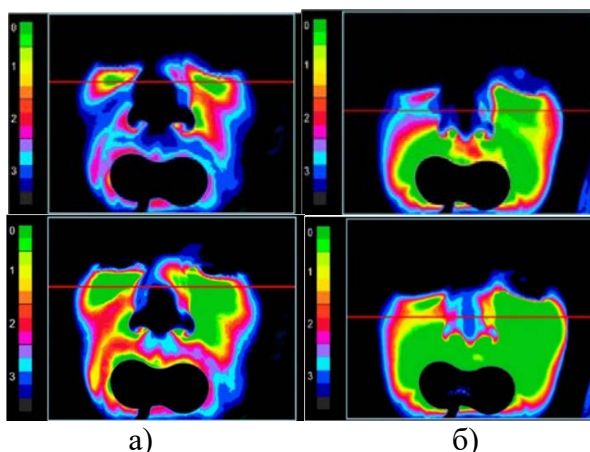


Рисунок 3 – Обработанные изображения условно здорового добровольца мужчины (а) и женщины (б): (сверху) 650 нм; (снизу) 850 нм

Предварительные экспериментальные исследования с использованием соответствующего метода МРТ подтвердили чувствительность метода цифровой диафаноскопии в выявлении патологических изменений в ВЧП. На рисунке 4 приведены примеры T2-взвешенных МРТ-изображений и изображений, зарегистрированных и обработанных методом цифровой диафаноскопии.

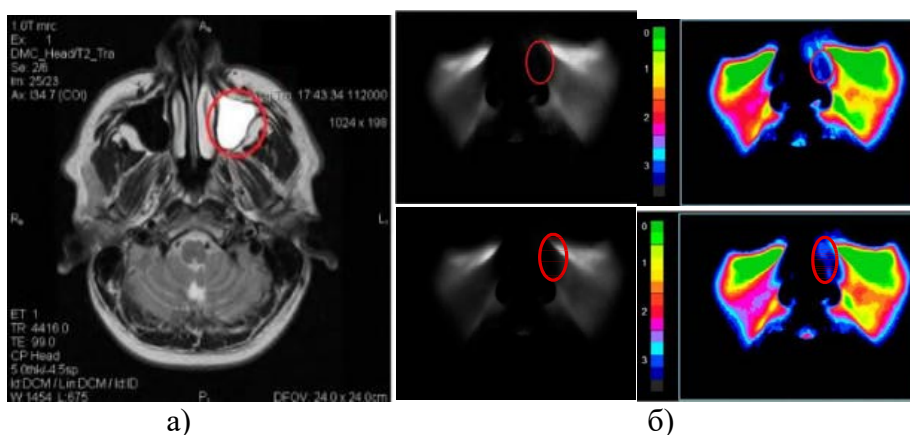


Рисунок 4 – T2 взвешенное МРТ изображение (а) и изображения, зарегистрированные и обработанные с помощью метода цифровой диафаноскопии (б) для пациента (мужчина) при длинах волн излучения 650 нм (сверху) и 850 нм (снизу)

Данные, полученные при испытаниях с участием условно здоровых добровольцев, показали, что изменение времени экспозиции камеры не оказывает существенного влияния на результат диагностики. Поэтому дальнейший анализ экспериментальных данных проводился при времени

экспозиции камеры 20,7 мс.

Анализ зарегистрированных и обработанных изображений, полученных при цифровой диафаноскопии, показал, что область кисты характеризуется наименьшей интенсивностью по сравнению с другими структурами, что можно объяснить сильными поглощающими свойствами кистозной жидкости в ближнем инфракрасном диапазоне.

Для выявления закономерности изменения рассеяния света и параметров зондирующей и измерительной частей прототипа устройства с анатомическими и гендерными особенностями исследуемой области, а именно с различиями в структуре кожи, толщине костной ткани черепа и размерах пазух, использовалось имитационное моделирование, базирующееся на численном стохастическом методе Монте-Карло с использованием объектно-ориентированной модели МК. Схема разработанной модели представлена на рисунке 5.

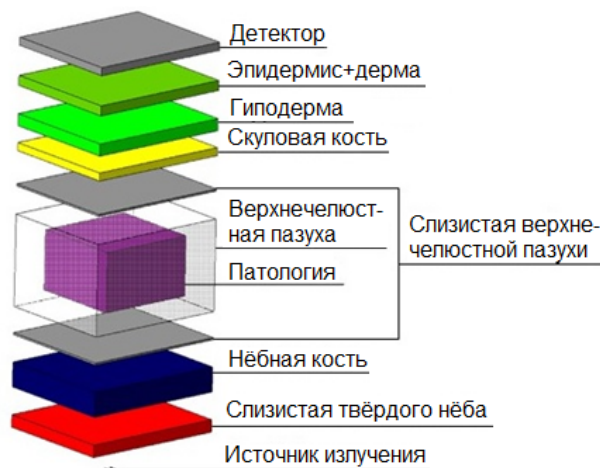


Рисунок 5 – Схема разработанной модели ВЧП

Поскольку объект исследования имеет достаточно сложную организацию, для установления закономерности ослабления зондирующего сигнала от анатомических и гендерных особенностей исследуемой области разработана упрощённая модель ВЧП. В данной модели объект-среда представлена 8 основными слоями, а также дополнительным слоем в форме патологического изменения. Рассмотрены оптические свойства эпидермиса, дермы, костной ткани, слизистых оболочек и патологий в виде кистозной жидкости и опухоли. Поскольку размеры и толщины слоёв исследуемой области варьируются в зависимости от пола и возраста, с целью упрощения разработанной модели, толщины слоёв усреднены в рамках одного пола.

Результаты моделирования показали уменьшение интенсивности излучения на детекторе (мощность излучения) при его прохождении через биологические ткани с патологией и при разных значениях толщины костной ткани и кожи.

Результаты моделирования распространения зондирующего излучения представлены на рисунке 6.

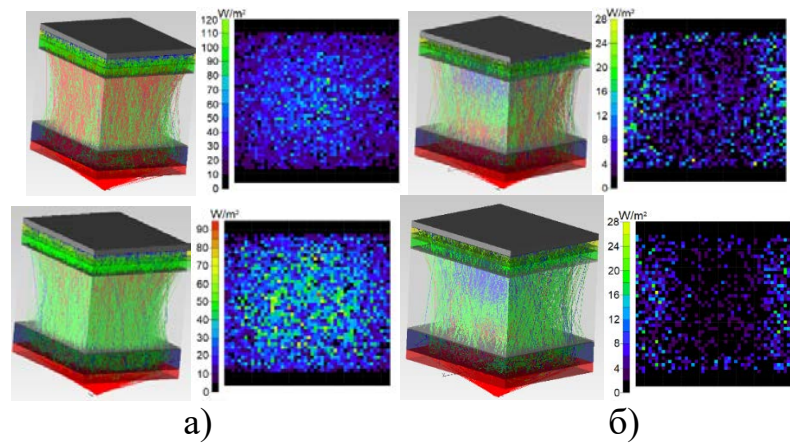


Рисунок 6 – Результаты моделирования распространения зондирующего излучения через ВЧП мужчины без патологий (а) и с опухолью (б) на длине волны 650 нм (вверху) и 850 нм (внизу)

По результатам моделирования построены графические зависимости мощности светового потока, пришедшего на детектор камеры от толщины подкожной жировой ткани у мужчин и у женщин, представленные на рисунке 7.

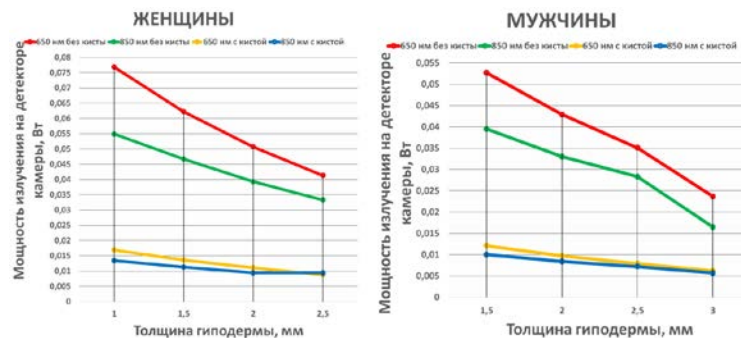


Рисунок 7 – Зависимость мощности светового потока, пришедшего на детектор камеры, для разных длин волн от толщины подкожной жировой ткани и наличия кисты в ВЧП

Из построенных графических зависимостей видно, что в области ближнего ИК-диапазона спад интенсивности светового потока имел более выраженный характер как у мужчин, так и у женщин. Добавление в моделируемый объект патологического изменения в виде кистозного образования, приводило к ещё более выраженному снижению сигнала. Полученный результат наглядно демонстрирует связь регистрируемого сигнала с оптическими характеристиками области исследования, а также анатомическими особенностями пациентов.

Проведена модернизация экспериментальной установки. Для регулировки яркости светодиодного аппликатора создан соответствующий блок регулировки. Данный блок позволяет регулировать яркость светодиодного аппликатора, измерять ток, напряжение и рассчитывать потребляемую мощность светодиодным аппликатором отдельно для каналов 650 нм и 850 нм. Реализовать данные возможности позволило программное обеспечение, созданное для данного блока.

Из-за возникшей проблемы с нехваткой максимальной мощности излучения аппликатора при исследовании условно здоровых добровольцев мужчин, что связано с их анатомическими особенностями (толщина костей, кожи и размер пазух), принято решение внести изменения в блоки управления и блоки регулировки яркости светодиодного аппликатора. Пример зарегистрированной картины рассеяния света до и после внесения изменений представлены на рисунке 8.

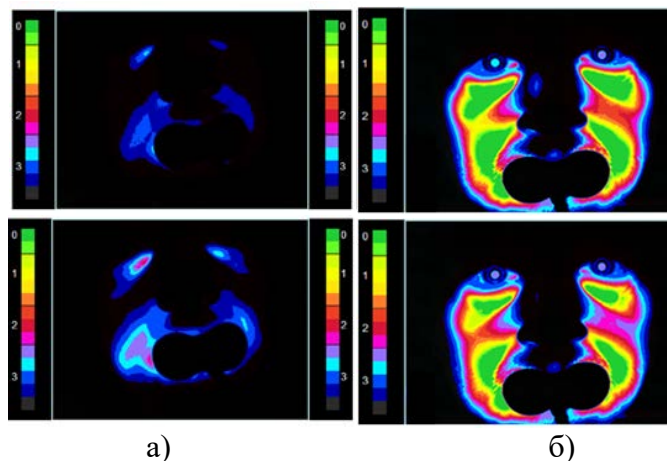


Рисунок 8 – Зарегистрированная картина рассеяния света условно здорового добровольца мужчины до внесения изменений (а) и после внесения изменений в блок управления и блок регулировки яркости при значениях потребляемой мощности светодиодного аппликатора 750 мВт и временем экспозиции 60 мс (б): 650 нм (сверху); 850 нм (снизу)

В разработанной ранее численной модели ВЧП введены допущения, а именно, в качестве оптических характеристик кистозной жидкости ВЧП использовались характеристики кистозной жидкости тканей молочной железы, при этом моделирование для случая гнойного синусита не проводилось. С целью устранения вышеуказанного допущения проведено спектрофотометрическое исследование при помощи комплекса Shimadzu UV 2600 (Япония) с модулем интегральной сферы. Спектр поглощения гнойного содержимого и график зависимость изменения мощности излучения на детекторе камеры от наличия различных патологий в пазухах носа для длины волны 980 нм представлен на рисунке 9.

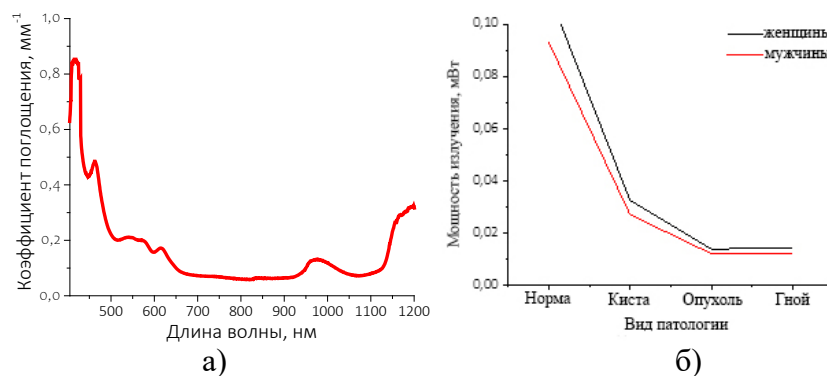


Рисунок 9 – Спектр поглощения гнойного содержимого (а) и зависимость изменения мощности излучения на детекторе камеры от наличия различных патологий в ВЧП для длины волны 980 нм (б)

Экспериментальным путём получены параметры диффузного отражения R_d и пропускания T гнойного содержимого. При помощи специализированного программного обеспечения, использующее метод добавления-удвоения, рассчитаны коэффициенты поглощения μ_a и рассеяния μ_s .

Анализ полученных данных показал, что максимальное поглощение гнойного синусита наблюдается на длине волны 980 нм. Исходя из этого проведено численное моделирование с использованием данной длины волны и коэффициентов поглощения и рассеяния каждого биологического слоя.

Как видно на графике наибольшее поглощение происходит для случая гнойного содержимого и опухоли. Исходя из полученных данных проведен поиск светодиодных излучателей. Выбраны светодиодные излучатели EDC980D-1100 980 нм и EDC630V-1100 630 нм фирмы USHIO (Япония).

Для создания нового светодиодного аппликатора с источниками излучения на 630 нм и 980 нм разработана 3D модель аппликатора и спроектированы формы для его отливки. Пример двух частей формы для отливки приведён на рисунке 10.

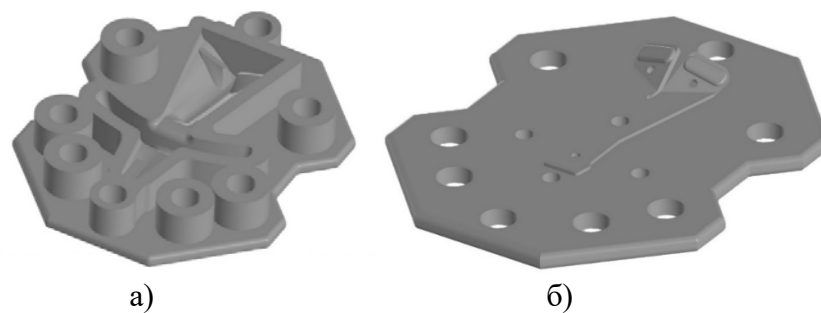


Рисунок 10 – Нижняя (а) и верхняя (б) часть для отливки верхней половины аппликатора

Форма для отливки изготовлена с применением технологии 3D печати. В качестве материала выбран ABS пластик, печать производилась на 3D принтере Ultimaker 2+. В качестве медицинского силикона можно использовать тёмный и прозрачный силикон SILASTIC MDX4-4210 или схожий по характеристикам. Заливка силиконовой смеси производится через специальные отверстия.

Из-за невозможности редактирования существующего алгоритма обработки получаемых картин рассеяния света, решено создать новый алгоритм с возможностью внесения новых функций в обработку изображений. Алгоритм программы для окрашивания изображения, полученного во время проведения исследования цифровой диафаноскопии, написан на высокоуровневом языке программирования Python с использованием OpenCV (Open Source Computer Vision Library) библиотеки компьютерного зрения с открытым исходным кодом. Также расчёт оптимизирован под расчёты при помощи ядер видеочипа для повышения скорости расчётов. В алгоритме реализована функция ручного и автоматического определения шага

градуировки 18-ти цветовых сегментов, число цветовых сегментов также может быть изменено. Ручное изменение шага позволяет косвенно регулировать интенсивность изображения. Пример цифровой обработки диафаноскопического изображения при помощи нового алгоритма представлена на рисунке 11.

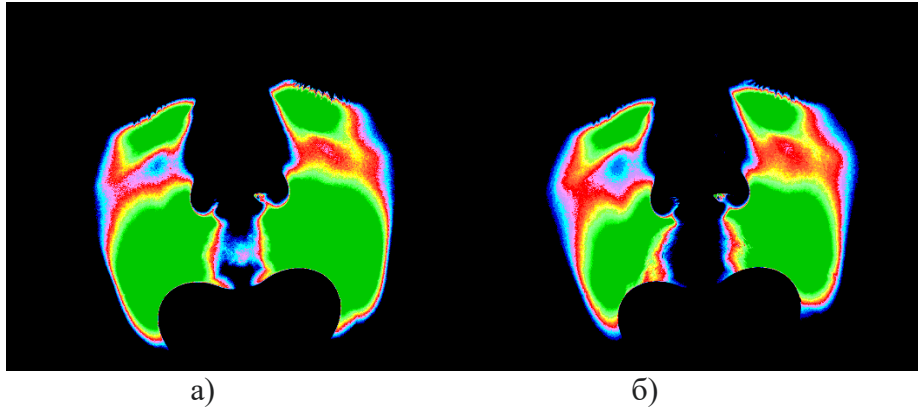


Рисунок 11 – Пример цифровой обработки диафаноскопического изображения добровольца мужчины: (а) 650 нм; (б) 850 нм

Для подтверждения безопасности метода цифровой диафаноскопии необходимо определить предельные допустимые дозы излучения аппликатора. Устройство цифровой диафаноскопии имеет два источника излучения на длинах волн 650 нм и 850 нм. Опасным для человека является излучение, не входящее в видимый диапазон длин волн, поэтому расчёт пределов облучения проводится только для 850 нм, то есть для инфракрасного излучения. Для определения предельной дозы излучения используется ГОСТ Р МЭК 62471-2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность». Измерены значения энергетической освещенности светодиодного аппликатора при разных значениях измеряемой длины волны. Измерения проводились при помощи оптического измерителя энергии и мощности Thorlabs PM400. Далее построен графи спектральной энергетической освещенности светодиодного аппликатора, представленный на рисунке 12.

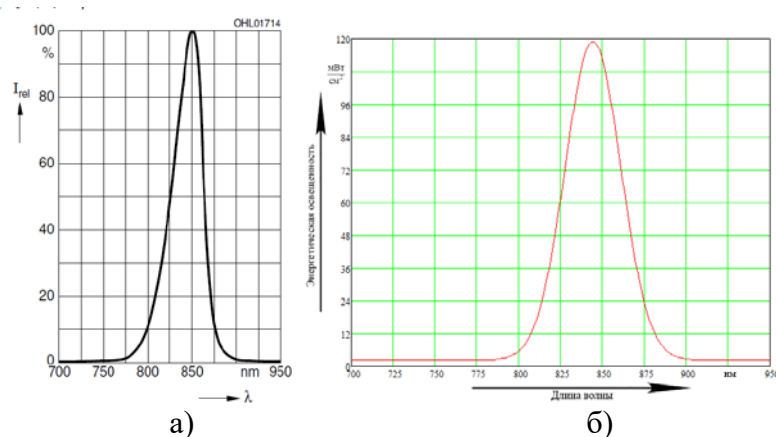


Рисунок 12 – График относительного спектрального излучения (а) и спектральной энергетической освещенности (б) светодиода OSRAM F3453A

Используя формулы, представленные в ГОСТ Р МЭК 62471-2013, рассчитан предел облучения опасным для глаз инфракрасным излучением, во избежание теплового повреждения роговицы и возможных замедленных воздействий на хрусталики глаз (катарактогенезис) облучение глаза ИК излучением E_{IR} , Вт·м⁻², в диапазоне длин волн от 780 до 3000 нм не более 1000 с:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda \leq 18000t^{-0.75}, \quad (1)$$

где E_{λ} – спектральная энергетическая освещенность, Вт·м⁻²·нм⁻¹;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Расчётное значение E_{IR} для светодиодного аппликатора в диапазоне от 780 нм до 930 нм равно 51940 Вт·м⁻², что меньше предельного значения. При длительности импульса 0,2 с данное значение равно 60186,6 Вт·м⁻², что подтверждает безопасность метода цифровой диафаноскопии.

В заключении сформированы основные выводы по результатам работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1) проведен анализ общего состояния проблемы диагностики патологий ВЧП, который показал перспективность внедрения технологии цифровой диафаноскопии для решения вопросов диагностики и контроля проводимого лечения;

2) разработан метод диагностики патологий ВЧП, основанный на просвечивании ВЧП и регистрации картин рассеяния света цифровой камерой с последующей математической обработкой получаемых изображений;

3) предложен принцип построения устройства цифровой диафаноскопии для проведения диагностики патологий ВЧП;

4) разработана методика контроля технического состояния и технического обслуживания цифровой диафаноскопической системы;

5) разработана методика экспериментального исследования ВЧП методом цифровой диафаноскопии;

6) проведены экспериментальные исследования с применением экспериментальной установки цифровой диафаноскопической системы и сравнение полученных результатов с данными МРТ исследований, которые доказали достоверность получаемых результатов с применением предлагаемого устройства для диагностики патологий ВЧП.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях

1 **Gneushev R.** Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology / Bryanskaya E., Novikova I., Dremin V., Gneushev R.,

Bibikova O., Dunaev A., Artyushenko // *Diagnostics V. Vol. 11; №77; 2021, pp. 1-13.*

2 **Gneushev R.** Simulation of the effect of purulent content of the maxillary sinuses on the transillumination signal / Bryanskaya E., Gneushev R., Novikova I., Dremin V., Dunaev A. // *Proc. SPIE. – 2021. – 11845. – P. 118450U.*

3 **Гнеушев Р.Ю.** Цифровая диафаноскопия в диагностике патологических образований верхнечелюстных пазух / Брянская Е. О., Гнеушев Р.Ю., Новикова И. Н., Шураев Б.М., Дремин В. В., Дунаев А. В. // *Лазерная медицина. – 2021. – Т. 25, № 3S. - С. 57-58.*

4 **Gneushev R.** Brightness controller optimization for the digital diaphanoscopy system / Bryanskaya E. O., Gneushev R. Y., Novikova I. N., Dremin V. V., Dunaev A. V. // *European Conferences on Biomedical Optics 2021 (ECBO) Proc. SPIE. – 2021. – 11919. – P. 119191Z.*

Прочие публикации

1 **Гнеушев Р.Ю.** Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы / Брянская Е.О., Гнеушев Р.Ю. Дремин В.В., Новикова И.Н. // *Биомедсистемы-2020: сб. тр. XXXIII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 9-11 декабря 2020г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. – С. 125-128.*

2 **Гнеушев Р.Ю.** Возможности метода цифровой диафаноскопии в диагностике патологий верхнечелюстных пазух / Брянская Е. О., Гнеушев Р.Ю., Новикова И. Н., Шураев Б.М., Дремин В. В., Дунаев А. В. // *Материалы XX съезда оториноларингологов России. – ООО «Полифорум Групп». – Санкт-Петербург, 2021. – С. 9.*

3 **Гнеушев Р.Ю.** Модернизация параметров светодиодного аппликатора цифрового диафаноскопа на основе спектральных характеристик гнойного синусита / Брянская Е. О., Гнеушев Р.Ю., Новикова И. Н., Дремин В. В., Дунаев А. В. // *Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXX Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2021 г., Алушта. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – С. 178-179.*