

Педонова Зоя Николаевна

**СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ МЕТОДИК
СОЧЕТАННОЙ ВНУТРИПОЛОСТНОЙ ФИЗИОТЕРАПИИ**

Специальность: 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского
назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук,
Лисицына Лилия Ивановна

Официальные оппоненты: **Сафатов Александр Сергеевич**, доктор технических наук, ФБУН «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» («Вектор», г. Новосибирск), заведующий отделом биофизики и экологических исследований

Новиков Алексей Алексеевич, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ, г. Омск), профессор кафедры «Машиностроения и материаловедения»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» (ФИЦ ФТМ, г. Новосибирск)

Защита состоится «25» декабря 2018 г. в 17 часов на заседании диссертационного совета Д.212.269.09 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" по адресу: 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО НИ ТПУ(<https://portal.tpu.ru/council/916>)

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К.Т.Н.



Шевелева Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время в медицинской практике применяют различные физические поля при лечении самых разнообразных болезней, причем показания к их применению постоянно расширяются. Физиотерапию успешно применяют как в качестве дополнения, так и альтернативы лекарственным средствам. Между тем основной недостаток лекарственных средств заключается в том, что они наряду с полезными целебными свойствами могут вызывать нежелательные или побочные эффекты, многие из которых небезопасны для жизни больных. Характерно, что частота и степень выраженности побочных эффектов непрерывно возрастают по мере увеличения арсенала лекарственных средств. По данным отечественных и зарубежных исследователей у 18-30% больных, принимающих лекарства, отмечены различные проявления побочного действия. Например, частота побочных реакций противомикробной терапии колеблется от 10 до 50%, около 20% пациентов нуждаются в госпитализации для устранения осложнений, вызванных приемом лекарственных средств, а у 0,3% пациентов, принимающих антибиотики, возникает угроза для жизни.

Спектр применения физиотерапевтических методов достаточно велик. Однако в данной работе затронута достаточно узкая область применения физиотерапии – внутрисполостное воздействие, которое применяется в проктологии, гинекологии и урологии. Исследования показывают, что 40 – 60% женщин в активном репродуктивном возрасте страдают гинекологическими заболеваниями. Распространенность заболеваний мочеполовой системы с 1990 года выросла в 2,5 раза по данным Росстата за 2015 г. Актуальность вопроса повышения эффективности лечения урологических и гинекологических заболеваний не вызывает сомнений, т.к. данная область медицинской помощи напрямую влияет на репродуктивную функцию.

Степень разработанности проблемы. В работе (Райгородский Ю.М., 2000) сформулированы принципы оптимальной физиотерапии, одним из которых является сочетанность воздействующих факторов, вызывающая особый интерес ученых и практикующих врачей и приводящая к синергизму смешанных полевых воздействий. И сегодня внимание многих ученых и практикующих врачей направлено на использование смешанных физических полей и создание новых методик и новых физиотерапевтических приборов с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов.

В работе (Райгородский Ю.М., 2000) доказано, что увеличение числа воздействующих факторов приводит к увеличению терапевтической эффективности. В настоящее время активно используются приборы с временным совмещением воздействующих факторов. Вариант реализации смешанных физических полей с пространственным и временным совмещением имеет преимущества как для медицинского работника, так и для пациента. Вариант временного совмещения воздействующих факторов реализуется в различных сочетаниях и в настоящее время используется во

многих областях медицины (при внутриполостном воздействии совмещается максимум 3 - 4 физических фактора), позволяет повысить терапевтическую эффективность и уменьшить продолжительность лечения. Разработка многофункциональных устройств не только с временным, но и с пространственным совмещением различных воздействующих факторов для внутриполостного воздействия является актуальной задачей медицинской техники.

Цель работы.

Разработка многофункционального устройства для проведения медицинских исследований по созданию новых методик сочетанной внутриполостной физиотерапии с пространственным и временным совмещением 5 воздействующих факторов (магнитного и электрического полей, ультразвука, лазерного и теплового излучений).

Основные задачи. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Анализ состояния уровня развития физиотерапевтической техники и методов для внутриполостного воздействия, выбор и обоснование физических терапевтических факторов и их параметров для пространственного и временного совмещения. Выбор принципов построения устройства с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов. Выработка требований к устройству на основании данных ведущих российских и зарубежных научных изданий, в том числе входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, и рекомендаций практикующих урологов.
2. Моделирование и экспериментальные исследования распределения физических полей в биологической модели. Разработка технического задания, блок-схемы и реализация лабораторного макета устройства для внутриполостного воздействия с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов.
3. Исследование лабораторного макета устройства на соответствие требуемым параметрам.
4. Исследование распределения физических полей в биологической модели и фантоме предстательной железы при трансректальном воздействии с помощью разработанного многофункционального устройства. Сравнение полученных результатов с выработанными требованиями.

Научная новизна работы определяется поставленными задачами:

1. Предложена оригинальная конструкция зонда для внутриполостного воздействия, обеспечивающая пространственное и временное совмещение пяти воздействующих факторов: магнитного и электрического полей, ультразвука, лазерного и теплового излучений.
2. Результаты математического моделирования распределений магнитного поля и ультразвуковых колебаний, генерируемых разработанным зондом, подтвердившие, что параметры физических полей на поверхности рабочего зонда соответствуют выбранным.

3. Результаты экспериментальных исследований распределения физических полей со следующими значениями соответствующих параметров (магнитное поле: магнитная индукция – 1 мТл, частота – 50 Гц; электрическое поле: амплитуда – 12 В, частота импульсов в пачке – 2 кГц, длительность пачки импульсов 8 мс, частота следования пачек – 50 Гц; ультразвуковые колебания: интенсивность – 0,16 мВт/см², частота – 1 МГц; лазерное излучение: λ – 0,63 мкм, мощность – 2 мВт; тепловое воздействие: T – 40 °C) в биологической модели предстательной железы (мышцы крупного рогатого скота) и в фантоме (основа – желатиновый раствор) при трансректальном воздействии разработанным устройством. Показано, что все воздействующие факторы совмещены во времени и в пространстве и обеспечивают необходимые значения параметров для трансректального воздействия на предстательную железу.

Достоверность подтверждается физическим и математическим моделированием, а также сравнительным анализом результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований. Кроме того, исходные данные для научных исследований были получены из ведущих российских и зарубежных научных изданий, в том числе входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, а также из рекомендаций практикующих урологов России.

Практическая ценность.

1. Разработанное устройство для внутриволостного воздействия, обеспечивающее пространственное и временное совмещение пяти физических факторов с широким диапазоном варьируемых параметров: магнитного и электрического полей, ультразвука, лазерного и теплового излучений, может использоваться для проведения медицинских исследований лечения урологических, гинекологических и проктологических заболеваний (воздействуя всеми факторами по-отдельности, так и в сочетании). Устройство позволит разработать методики как для лечения, так и для профилактики в медицинских лечебно-профилактических учреждениях.

2. Результаты полученных в диссертации теоретических, прикладных и экспериментальных исследований используются в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров и в магистерских диссертационных работах. Отдельные разделы работы нашли применение в курсах: 1). «Измерительные преобразователи в медицине» и «Ультразвук в медицине», читаемых для бакалавров кафедры электронных приборов РЭФ направления подготовки 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника»; 2). «Новые электронные приборы для традиционной медицины», читаемом для магистрантов кафедры электронных приборов РЭФ направления подготовки 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника»; 3). «Ультразвук в медицине», «Теория биотехнических систем», «Технические методы и средства диагностики и лечения», «Биомедицинская

измерительная техника», «Электронные приборы для традиционной медицины», для направления подготовки аспирантов 12.06.01 – «Фотоника, приборостроение, оптические и биохимические системы и технологии». По соответствующим дисциплинам были подготовлены рабочие программы и учебно-методические материалы с участием автора данной работы Педоновой З.Н.

3. Метод сочетанного внутриволокнистого воздействия с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов внедрен в преподавательскую и научную работу кафедры урологии Новосибирского государственного медицинского университета и используется в процессе обучения студентов, интернов, ординаторов, курсантов циклов первичной специализации и усовершенствования по специальности «Урология», а также в научных исследованиях и консультативной деятельности сотрудников кафедры.

Методы исследования. Результаты исследований, включенные в диссертацию, базируются на математическом аппарате теории электромагнитного поля, методах численного анализа и моделирования, а также на проведенных экспериментах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования распределения физических полей в биологической модели при воздействии выбранными факторами, на основании которых выработаны требования к устройству с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов.
2. Оригинальная конструкция зонда для внутриволокнистого воздействия, обеспечивающая пять физических факторов: магнитное и электрическое поля, ультразвук, лазерное и тепловое излучения – с пространственным и временным совмещением. Оригинальность конструкции подтверждена патентом на изобретение РФ.
3. Результаты экспериментальных исследований разработанного устройства на примере биологической модели предстательной железы и на примере фантома, выполненного на основе желатинового раствора, подтвердившие пространственное и временное совмещение воздействующих факторов и показавшие, что устройство обеспечивает необходимый уровень параметров для трансректального воздействия на предстательную железу.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В работе рассматриваются вопросы разработки и исследования устройства для внутриволокнистого воздействия с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов, которое может увеличить терапевтическую эффективность лечения. Поэтому для работы будут справедливы пункты из областей исследования в соответствии с паспортом специальности: исследование, разработка и создание медицинской техники, изделий, инструментов, методов и способов диагностики и лечения человека, которые рассматриваются как средства восстановления нарушенной поливариантной системы, представление которой возможно математической,

физико- и биотехнической, механической моделью, а также энергетической, физикохимической, химической, электрохимической моделью и т.д.

В целом работа соответствует направлению «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных, всероссийских и региональных конференциях: международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2011); международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (Новосибирск, 2010, 2016); всероссийская научная конференция молодых учёных «Наука, технологии, инновации» (Новосибирск, 2010, 2011, 2012, 2016); российская научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникаций» (Новосибирск, 2016); региональная научно-практическая конференция учёных, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященная Дню радио «Наука, образование, бизнес» (Омск, 2010).

Автором была получена поддержка фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, грант за победу в конкурсе «УМНИК», Новосибирск, 2011 – 2013 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 печатных работ. Из них – 4 статьи в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, 1 патент РФ на изобретение, 1 патент РФ на полезную модель и 14 публикаций в трудах конференций, из них – 3 статьи, индексируемые в базах научного цитирования Scopus и Web of Science.

Личный вклад автора заключается в формулировке задач исследования, анализе литературных источников по теме, непосредственном участии в экспериментальных исследованиях, подготовке заявок на получение патентов, разработке и реализации рабочего зонда, разработке технического задания и функциональной схемы электронного блока устройства, в формулировке выводов и положений, выносимых на защиту.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературных источников и приложений. Общий объем работы – 140 страниц, включая 124 страницы основного текста, 33 рисунка и 7 таблиц. В список литературных источников включено 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, представлены цели и задачи исследования, новизна полученных результатов, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проанализирован существующий уровень развития физиотерапевтической техники для внутриполостного воздействия. Рассмотрены наиболее распространенные физические факторы и

технические средства, обеспечивающие внутриполостное физиовоздействие, проведен анализ существующих приборов, аппаратов и систем для внутриполостного воздействия.

Показано, что в современной физиотерапии в основном используются пять физических факторов: магнитное и электрическое поля, механические колебания, лазерное и тепловое излучения. В работе (Райгородский, 200) описываются приборы, обеспечивающие одновременное воздействие несколькими физическими факторами, а также различные методы лечения урологических заболеваний, использующих одновременное воздействие тремя физическими факторами, например: магнитное поле, электрический ток, нагрев (наблюдалось ускорение лечения в 1,5 раза), а также четырьмя: магнитное поле, электрический ток, вибрация и лазерное излучение (наблюдалось ускорение лечения в 3,4 раза). Из вышеизложенного следует вывод, что совмещение нескольких физических факторов может усиливать терапевтическое действие каждого из них, что сказывается на эффективности и сроках лечения, причем увеличение количества воздействующих факторов увеличивает терапевтическую эффективность.

В тоже время в литературных источниках обнаружены аппараты для внутриполостного воздействия, обеспечивающих не только временное, но и пространственное совмещение 2-3 воздействующих факторов. Автор считает, что пространственное и временное совмещение имеет ряд преимуществ: возможно уменьшение амплитуд используемых воздействий, уменьшение площади, облучаемой биоткани (что сокращает возможность возникновения побочных эффектов), повышение удобства использования, как для пациента, так и для медицинского работника. Таким образом, объединение таких физиотерапевтических факторов, как магнитное и электрическое поля, ультразвук, лазерное и тепловое излучения для внутриполостного воздействия с пространственным и временным совмещением очень перспективно с точки зрения оптимальной физиотерапии.

На основании результатов проведенного литературного обзора из ведущих российских и зарубежных научных изданий, в том числе входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, а также из рекомендаций практикующих урологов России были выбраны физические поля, рассмотрены влияние их воздействия на биоткань и выработаны требования к факторам, используемым в устройстве, и их распределению в биоткани:

Магнитное поле: индукция магнитного поля на рабочем торце – (1...2) мТл; частота – (10...100) Гц; индукция на глубине 3 мм – не менее 30% от значения на рабочем торце.

Электростимуляция: амплитуда импульса на рабочем торце – (1...12) В; частота импульсов в пачке – 2 кГц; частота следования пачек – (1...100) Гц; амплитуда импульса на глубине 3 мм – не менее 70% от значения на рабочем торце.

Ультразвуковое воздействие: возбуждающий сигнал – гармонический; частота воздействующего сигнала – (0,5 ... 2) МГц; интенсивность на

рабочем торце – до $1,0 \text{ Вт/см}^2$; интенсивность колебаний на глубине 3 мм – не менее 30% от значения на рабочем торце.

Лазерное излучение: длина волны – $(0,63 \dots 0,65) \text{ мкм}$; максимальная мощность на рабочем торце – $2,5 \text{ мВт}$; мощность на глубине 1 мм – не менее 30% от значения на рабочем торце.

Тепловое воздействие: максимальная температура на рабочем торце – $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$; время нагревания – не более 1 мин; нагрев биоткани толщиной 3 мм за 1 мин – не менее, чем на $5 ^\circ\text{C}$.

Во **второй главе** даны результаты исследования распределения физических полей в биоткани на примере фантома животного происхождения при обеспечении необходимого и достаточного уровня воздействующих факторов, дана общая концепция построения устройства с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов, состоящая из требований, предъявляемых к медицинским устройствам (безопасность, необходимость и достаточность терапевтического воздействия, минимизация погрешности результатов измерения, наглядность отображаемой информации, гипоаллергентность, возможность стерилизации при многократном использовании, экономическая эффективность), и принципов построения разрабатываемого устройства (многофакторность воздействия, сочетанное воздействие используемых полей, динамичность воздействия, оценка параметров очага с патологией) а также выработаны требования к конструкции устройства.

Проведенные исследования позволили определить необходимые параметры узлов, генерирующих физические воздействия в соответствии с требованиями, выработанными в первой главе. Изменяя питающее напряжение узлов воздействия, добились необходимых параметров физического воздействия, которые были сформированы в первой главе (рис. 1-5). За значения I_0 , V_0 , U_0 взяты значения физических величин на поверхности излучателя непосредственно.

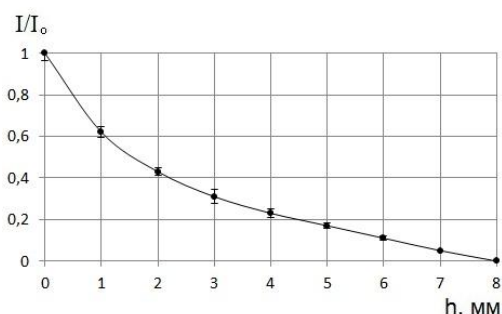


Рис. 1. Зависимость относительной интенсивности УЗ излучения от глубины фантома. $U_{\text{размах}} - 30 \text{ В}$, $f - 1,3 \text{ МГц}$

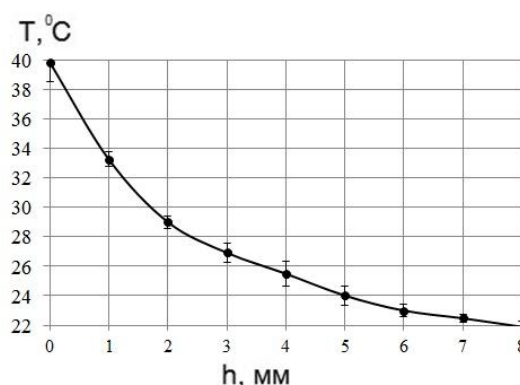


Рис. 2. Зависимость распределения температуры по глубине фантома. $T_{\text{max}} - 40 ^\circ\text{C}$

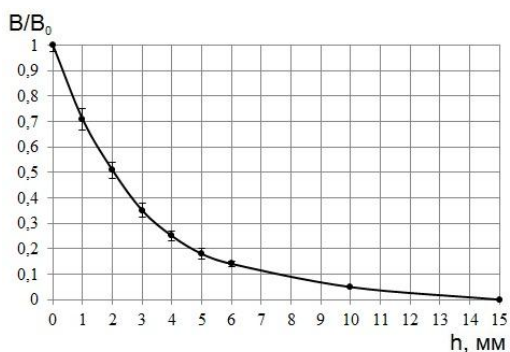


Рис. 3. Зависимость относительной магнитной индукции от толщины фантома. $I_{\max}$ (максимальный ток протекающий по обмотке) – 150 мА, f – 50 Гц

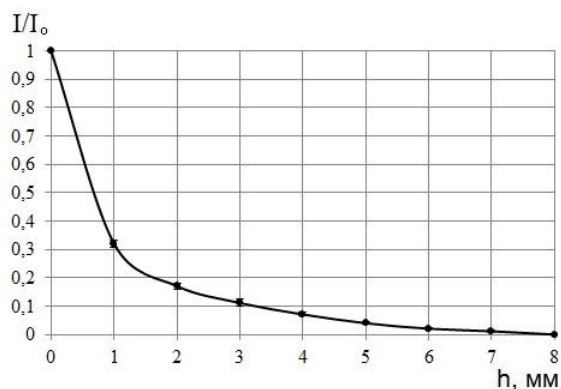


Рис. 4. Зависимость относительной интенсивности лазерного излучения от толщины фантома. $I_{\text{пит}} - 30$ мА

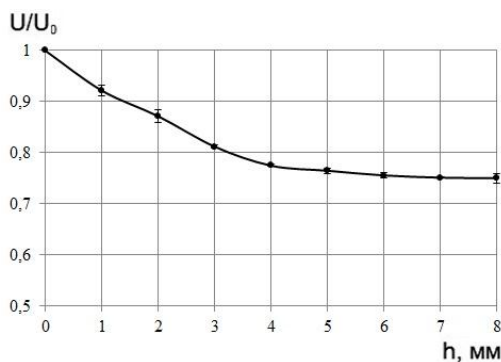


Рис. 5. Распределение электрического потенциала по толщине фантома. $U_{\text{размах}} - 6$ В, длительность пачки импульсов – 8 мс, частота импульсов в пачке – 2 кГц, частота следования пачек – 50 Гц

По результатам этих исследований было составлено техническое задание на устройство и разработана блок-схема. Для осуществления температурного воздействия предусмотрен датчик температуры. Температурный датчик можно использовать и в диагностических целях.

Электронный блок смонтирован в корпусе из пластика, на лицевой стороне которого расположены жидкокристаллический дисплей, светодиодные индикаторы, кнопочные элементы управления. Каналы воздействия (магнитное и электрическое поля, ультразвук, лазерное и тепловое излучения) вмонтированы в корпус. Каждый вид воздействия отображается на дисплее и работает независимо от других. Измеряемая температура также отображается на дисплее. На торцы корпуса выведены: разъем для подключения рабочего органа, разъем для подключения индифферентного электрода, гнездо для подключения блока питания.

Блок питания стандартный (АС 220/ +18 В), присутствует гальваническая развязка (соответствие II классу электробезопасности).

Индифферентный электрод. Материал – медицинская сталь, форма – пластина диаметром не менее 3 см.

Рабочий орган должен включать узлы, обеспечивающие генерацию выбранных физических полей: магнитного поля (индуктор), электрического поля (активный электрод), ультразвука (пьезопластина), лазерного излучения (лазерный светодиод) и теплового излучения (резистивный нагревательный элемент). Блок-схема представлена на рисунке 6.

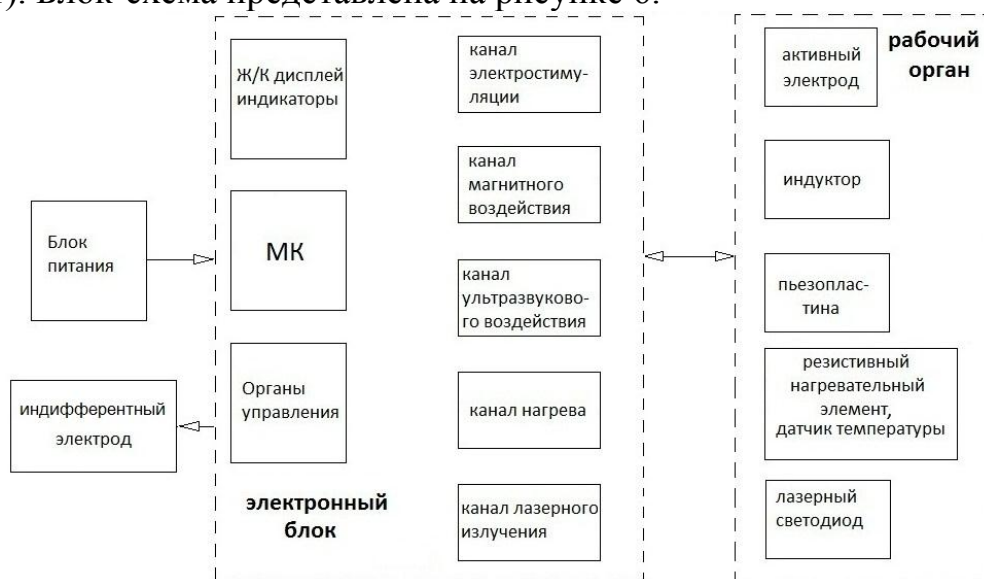


Рис. 6. Блок-схема устройства

В третьей главе рассматривается конструкция рабочего органа (зонда). Приведены результаты расчетов узлов, обеспечивающих воздействие магнитным полем и ультразвуковым излучением, рассматривается аппаратная реализация устройства, а также результаты исследования макета на соответствие техническим требованиям.

Рабочий орган (зонд): Исходя из размеров зондов, использующихся в урологии в настоящее время, и медицинских показаний, были выбраны размеры узлов с последующим размещением их внутри зонда (корпус со скошенным торцом – медицинская сталь; длина зонда – 130-155 мм; внешний диаметр – 6,6 мм; внутренний диаметр – 6 мм).

Эскиз устройства изображен на рис. 7.

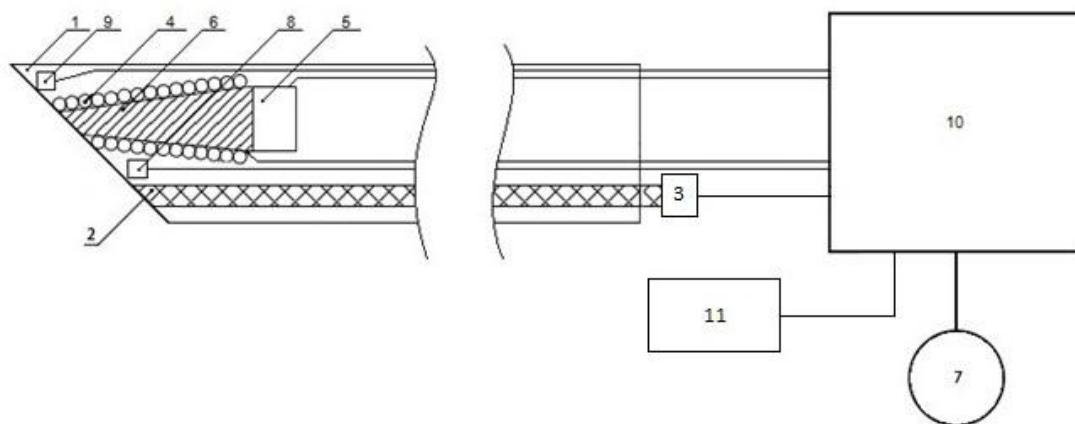


Рис. 7. Эскиз устройства для внутрисполостного воздействия, 1 – полый корпус, 2 – световод, 3 – источник лазерного излучения, 4 – индуктор, 5 – источник УЗ колебаний, 6 – активный электрод, 7 – индифферентный

электрод, 8 – нагревательный элемент, 9 – термодатчик, 10 – электронный блок, 11 – блок питания

Самым сложным узлом рабочего органа является узел, обеспечивающий УЗ колебания, магнитное поле и электростимуляцию. Особенностью этого узла является то, что активный электрод одновременно является и концентратором УЗ колебаний, и стержнем для намотки индуктора. Следовательно, от длины активного электрода будет зависеть коэффициент затухания и интенсивность ультразвуковых колебаний.

Оценку интенсивности УЗ излучения при работе преобразователя на любой частоте можно осуществить на основе анализа схемы замещения односторонне нагруженного преобразователя [8]:

$$I_a = (2\pi f U_3^2 \varepsilon \varepsilon_0 / l_n) 10^{-0,1 \alpha}, \quad (1)$$

где f – частота возбуждающего сигнала,

U_3 – эффективное значение напряжения питания преобразователя,

ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала преобразователя,

ε_0 – электрическая постоянная,

l_n – толщина пьезопластины,

α – коэффициент затухания передачи, [дБ] (зависящий от длины стержня).

На рис. 8 представлена зависимость интенсивности УЗ излучения от длины стержня. Здесь же звездочкой отмечены экспериментальные значения интенсивности УЗ излучения.

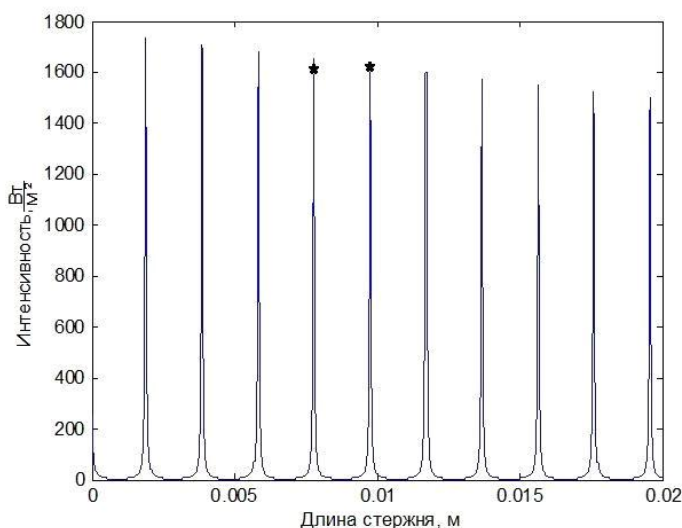


Рис. 8. Зависимость интенсивности УЗ излучения от длины стержня

Анализ зависимости показывает, что при длине стержня, кратной половине длины волны, имеет место резонанс. Следовательно, при выборе длины активного электрода можно использовать приведенные зависимости. Для данной конструкции уместно выбрать длину стержня, соответствующую резонансу, от 7 до 15 мм, т.к. на такой длине стержня удобно разместить индуктор.

Экспериментальное определение потерь можно провести, используя двойное преобразование [8]. На одну пьезопластину подаётся сигнал синусоидальной формы, который преобразуется в ультразвуковые колебания. УЗ колебания передаются через такой же концентратор на вторую пьезопластину. Происходит обратное преобразование УЗ излучения в электрический сигнал. Уровень выходного сигнала регистрируется осциллографом.

Коэффициент затухания передачи α рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 10 \lg U_{\text{вход}} / U_{\text{выход}} \quad (2)$$

где $U_{\text{вход}}$ – напряжение, подаваемое на пьезопластину с генератора;

$U_{\text{выход}}$ – напряжение, регистрируемое осциллографом.

Расчеты показывают, что интенсивность при этом на резонансной частоте оказывается равной $0,16 \text{ Вт/см}^2$. Для выбранной конструкции и режима работы максимальное значение интенсивности излучения $0,16 \text{ Вт/см}^2$, в то время как минимальная рекомендуемая интенсивность УЗ излучения для внутрисполостного воздействия – $0,05 \text{ Вт/см}^2$. При необходимости увеличения интенсивности можно повысить значение эффективного напряжения.

Источник магнитного поля

Исходя из размеров зонда, сконструирован источник магнитного поля (индуктор). В качестве индуктора выбран индуктор-электромагнит, так как наличие сердечника позволяет при одних и тех же параметрах магнитного поля существенно уменьшать габариты индуктора. Распределение индукции магнитного поля по поверхности катушки и на торце рабочего зонда для сконструированного индуктора рассчитано в программном пакете ELCUT (Профессиональный). Распределение индукции магнитного поля по поверхности катушки и по поверхности торца зонда с учетом слоя влаги между поверхностью объекта и торцом рабочего зонда (примерно $0,2 \text{ мм}$) представлены на рис. 9 а, б.

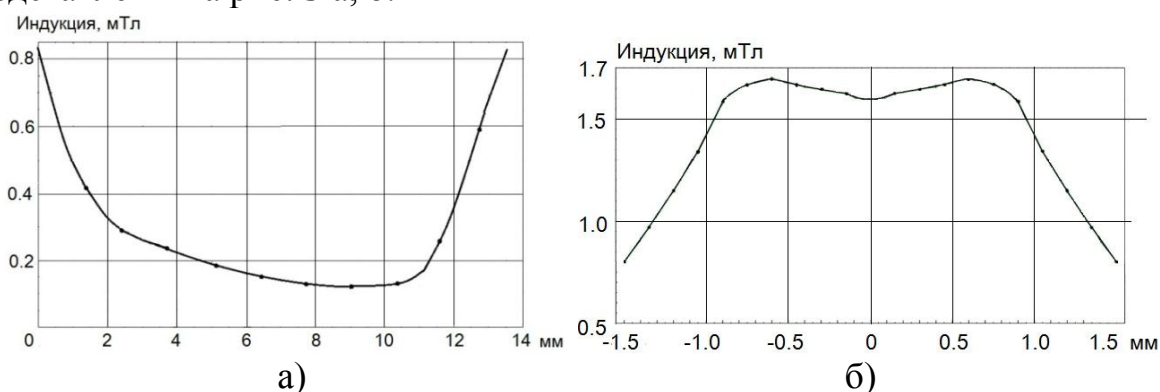


Рис. 9. Распределение индукции магнитного поля а) по боковой поверхности индуктора, б) по рабочему торцу индуктора

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что магнитное поле сконцентрировано на торцах индуктора – индуктор обеспечивает требуемую индукцию на рабочем торце зонда ($1 - 2$) мТл.

Лазерное излучение осуществляется лазерным светодиодом Ld 63505w с длиной волны 0,635 мкм и максимальной мощностью 5 мВт. Выбор необходимой мощности производится изменением напряжения питания.

Нагревательный элемент выполнен на основе резистора (24 Ом), контроль температуры обеспечивается термодатчиком 700-102AAC-B00 компании Honeywell, погрешность измерения температуры – 0,1 °С. Максимальная допустимая температура задана программно в блоке управления. При достижении максимальной температуры (40 ± 1)°С автоматически отключается питание.

Электростимуляция осуществляется подачей электрического сигнала с электронного блока между активным и индифферентным электродами. Фото готового лабораторного макета устройства представлено на рисунке 10.



Рис. 10. Фото лабораторного макета устройства,

- 1 – электронный блок,
- 2 – индифферентный электрод,
- 3 – рабочий зонд

Так же в третьей главе приведены результаты экспериментов по определению взаимного влияния узлов зонда при их одновременной работе. В ходе эксперимента выяснилось, что узлы ультразвукового, магнитного и электрического воздействия не оказывают влияния друг на друга. Узлы теплового и лазерного излучения также не оказывают влияния на узлы ультразвукового, магнитного и электрического воздействия, однако при одновременной работе узлов магнитного и лазерного воздействий повышается температура рабочего торца зонда на 1° С, что можно не учитывать, так как при включении узла теплового воздействия нагревание происходит за более короткое время (около 30 секунд вместо 1 минуты).

Глава подготовлена при консультации с к.т.н., доцентом НГТУ Белавской С.В.

В **четвёртой главе** представлены результаты исследования распределения физических полей в биологической модели предстательной железы, выполненной на основе желатинового раствора и в фантоме животного происхождения с целью определения возможности проведения физиотерапевтических процедур для разработки методик лечения заболеваний предстательной железы трансректальным способом с использованием разработанного зонда.

Измерение интенсивности ультразвукового излучения производилось с помощью приемника УЗ излучения, подключенного к осциллографу. Напряжение на приемнике измерялось с помощью осциллографа TPS2024B.

Тепловизионная картина при нагреве фантома получена на тепловизионном приборе «СВИТ», позволяющем получить высококонтрастные тепловые портреты с температурным разрешением не менее 0,025 градусов [9].

Оценка интенсивности лазерного излучения была проведена по изменению интенсивности и диаметра светового пятна на биологической модели в зависимости от толщины последней.

Индукция магнитного поля измерялась с помощью миллитесламетра Ф4356, погрешность измерения – 4%. Погрешность измерения напряжения – 3%.

Напряжение электростимуляции измерялась с помощью осциллографа TPS2024B, погрешность измерения напряжения – 3%.

На рисунках 11 - 12 представлены распределения физических полей, используемых в зонде, кроме электростимуляции, так как направление течения тока зависит от места наложения пассивного электрода.

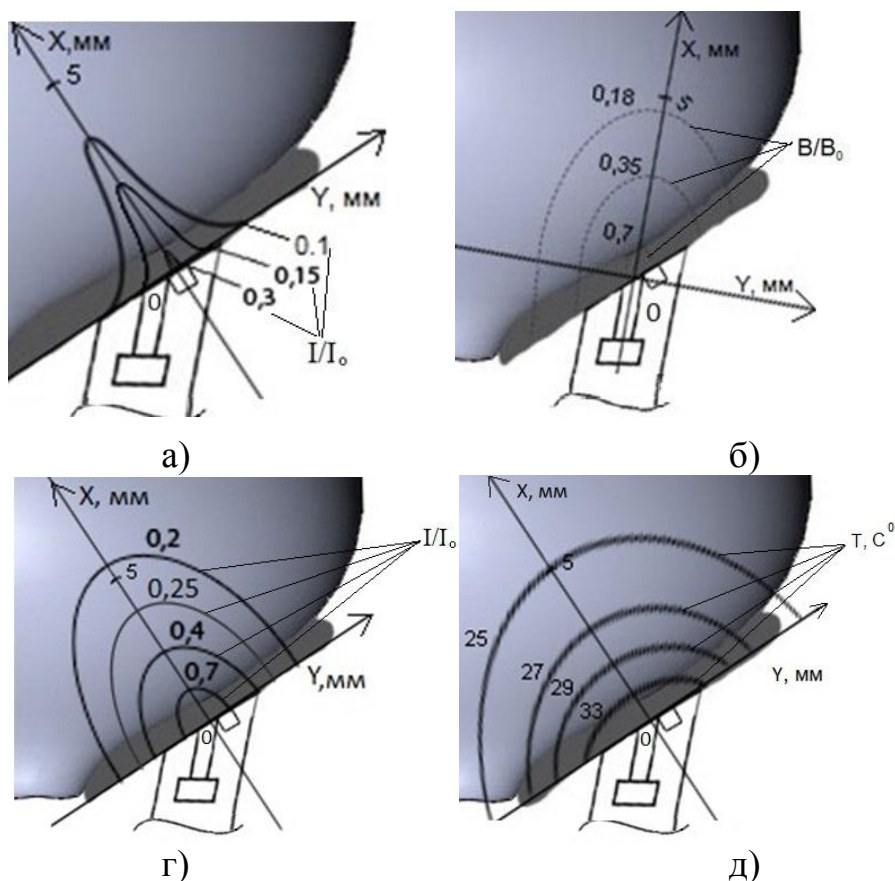


Рис. 11. Распределение физических полей, используемых в зонде, а) лазерного излучения, $I_0 = 2,5$ мВт, $\lambda = 0,635$ мкм; б) магнитного поля, $B_0 = 1$ мТл, $f = 50$ Гц; г) ультразвукового воздействия, $I_0 = 0,16$ Вт/см², $f = 1,3$ МГц; д) теплового излучения, время нагрева - 1 мин, $T_0 = 40$ °С

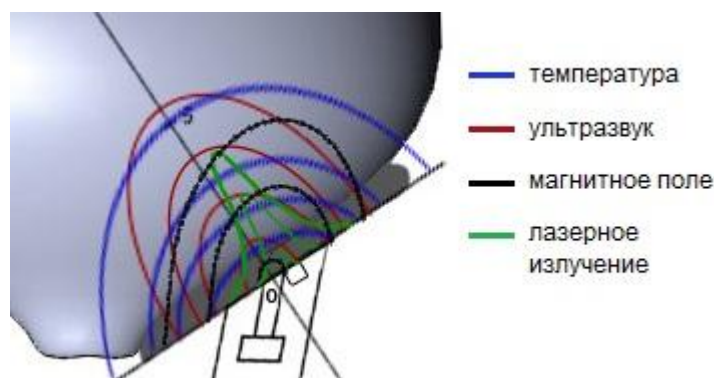


Рис. 12. Распределение физических полей, используемых в устройстве

Как видно из рисунка 12, разработанным прибором обеспечивается пространственное совмещение воздействующих факторов, временное совмещение воздействующих факторов обеспечивается одновременным включением всех воздействующих факторов. Данное распределение физических полей дает возможность использования разработанного устройства при разработке методик лечения хронического простатита в определенной области предстательной железы (по данным, согласованным с ведущими урологами г. Новосибирска). Анализ рисунка 12 дает возможность считать, что распределение полей совмещено в пространстве.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что разработанный зонд для внутримочеполостного воздействия с пространственным и временным совмещением пяти воздействующих факторов: ультразвук, тепло, лазерное излучение, электрическое и магнитное поля пригоден для проведения медицинских исследований по разработке новых методик сочетанной внутримочеполостной физиотерапии. Все полученные результаты исследования обсуждены и одобрены с практикующими урологами.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований разработан и реализован лабораторный образец многофункционального устройства для проведения медицинских исследований по разработке новых методик сочетанной внутримочеполостной физиотерапии с пространственным и временным совмещением пяти воздействующих факторов (магнитного и электрического полей, ультразвука, лазерного и теплового излучений):

1. Проведен анализ литературных источников по теме исследования, который показал, что многофункциональных устройств для внутримочеполостного воздействия с пространственным и временным совмещением четырех и более воздействующих факторов на рынке не представлено. Выработаны требования к физическим факторам, обоснован выбор пяти воздействующих физических факторов (магнитного и электрического полей, ультразвука, лазерного и теплового излучений), использование которых при сочетанном воздействии обеспечивает новый метод внутримочеполостной физиотерапии. Исходные данные получены из ведущих российских и зарубежных научных изданий, в том числе входящих

в перечень, рекомендованный ВАК РФ, а также – из рекомендаций практикующих урологов России.

2. Проведены экспериментальные исследования распределения физических полей в биологической модели при воздействии выбранными факторами. Проведено математическое моделирование распределений магнитного поля и ультразвуковых колебаний, генерируемых предполагаемыми узлами, обеспечивающими данные виды воздействий.

3. Выработаны требования к электронному блоку, обеспечивающему управление рабочим органом для проведения медицинских исследований по разработке новых методик сочетанной внутриполостной физиотерапии. Предложена оригинальная конструкция зонда для внутриполостного воздействия, обеспечивающая пять физических факторов: магнитное и электрическое поля, ультразвук, лазерное и тепловое излучения, с пространственным и временным совмещением, защищенная патентом на изобретение.

4. Реализован лабораторный макет устройства и проведено исследование макета на соответствие заданным параметрам. Проведены экспериментальные исследования распределения физических полей с определенными значениями соответствующих параметров (магнитное поле: магнитная индукция – 1 мТл, частота – 50 Гц; электрическое поле: амплитуда – 12 В, частота импульсов в пачке – 2 кГц, длительность пачки импульсов 8 мс, частота следования пачек – 50 Гц; ультразвуковые колебания: интенсивность – 0,16 мВт/см², частота – 1 МГц; лазерное излучение: $\lambda = 0,63$ мкм, мощность – 2,5 мВт; тепловое воздействие: $T = 40$ °С) в биоткани на примерах биологической модели и фантома на основе желатинового раствора при трансректальном воздействии разработанным устройством. Показано, что все воздействующие факторы совмещены во времени и в пространстве и обеспечивают заданные параметры.

Результаты полученных в диссертации теоретических, прикладных и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс Новосибирского государственного технического университета при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров и в магистерских диссертационных работах по направлениям 11.03.04, 11.04.04 – «Электроника и нанoeлектроника». Метод сочетанного внутриполостного воздействия с пространственным и временным совмещением воздействующих факторов внедрен в преподавательскую и научную работу кафедры урологии Новосибирского государственного медицинского университета и используется в процессе обучения студентов, интернов, ординаторов, курсантов циклов первичной специализации и усовершенствования по специальности «Урология», а также в научных исследованиях и консультативной деятельности сотрудников кафедры.

Разработанное устройство обеспечивает необходимый уровень параметров для проведения медицинских исследований по разработке новых методик сочетанной внутриполостной физиотерапии, которые помогут

снизить фармакологическую нагрузку на организм, повысить терапевтическую эффективность лечения. Поэтому можно ожидать, что внутриполостное использование совмещенных во времени и в пространстве физических факторов в клинической практике приведет к созданию более эффективных методик лечения. По этой причине в дальнейшем необходимо провести ряд клинических исследований разработанного устройства, которые позволят выработать рекомендации по его использованию и создать новые методики лечения. Для этого имеется предварительная договоренность с ООО «СибМедПриборы» (г. Новосибирск) о дальнейшем проведении технических и клинических испытаний данного устройства и его производстве на этом предприятии.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается свидетельствами о поверках приборов, приведенных в приложении В, а также сравнительным анализом результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из Перечня ВАК ведущих рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Педонова, З.Н. Разработка устройства для внутриполостного воздействия с пространственным и временным совмещением пяти воздействующих факторов / С.В. Белавская, Л.И. Лисицына, З.Н. Педонова, Л.Г. Навроцкий // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. - 2015. – № 4 (61). – С. 21-33. – DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-21-33.
2. Педонова, З.Н. Устройство для внутриполостного воздействия с пространственным и временным совмещением пяти воздействующих факторов / Л.И. Лисицына, С.В. Белавская, З.Н. Педонова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 1(25), часть 1. – С. 241-245.
3. Педонова, З.Н. Моделирование магнитного поля совокупности индукторов для магнитоэлектрической системы ускоренного заживления трофических язв / З.Н. Педонова // Биотехносфера. – 2016. – №1 (43). – С. 35-38.
4. Педонова, З.Н. Исследование распределения физических полей в предстательной железе при трансректальном воздействии на примере фантома / Педонова З.Н., Белавская С.В., Лисицына Л.И., Потеряева Е.Л., Феофилов И.В. // Биотехносфера. – 2016. – № 5. – С. 19-22.

Полученные патенты

5. Педонова, З.Н. Устройство для воздействия на предстательную железу / С.В. Белавская, Л.И. Лисицына, З.Н. Педонова. Патент 2509580, МПК А61N 5/067. Бюл. 29; заяв. 12.04.12; опуб. 20.03.14. – 6 с.
6. Педонова З.Н. Устройство для полостного воздействия / С. В. Белавская, Л.И. Лисицына, С.А. Верзилин, З.Н. Педонова. Патент 105170, А61N5/06. Бюл. 16; заяв. 08.12.10; опуб. 10.06.11. – 1 с.

В прочих изданиях

7. Pedonova, Z.N. Dependence of influence of contrast temperature on electrical resistance of the small area integument / Belavskaya, S.V., Verzilin, S.A., Gavrilov, E.A., Lisitsyna, L.I., Pedonova, Z.N. // 10th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering. – p. 32-35. – DOI: 10.1109/APEIE.2010.5677339.
8. Pedonova, Z.N. Analysis of some physiotherapeutic effects on electrical resistance of small area integument / Belavskaya, S.V., Verzilin, S.A., Gavrilov, E.A., Lisitsyna, L.I., Pedonova, Z.N. // 11th Annual International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010. – p. 334-336. – DOI: 10.1109/EDM.2010.5568793.
9. Педонова, З.Н. Анализ влияния некоторых видов физиотерапевтических воздействий на потенциал кожного покрова малой площади / Белавская С.В., Верзилин С.А., Гаврилов Е.А., Лисицына Л.И., Педонова З.Н. // Материалы Российской научно-технической конференции «Информатика и проблемы телекоммуникаций». – Новосибирск: СОМАИ. – 2010 г. – С. 179–182.
10. Педонова, З.Н. Влияние контрастного температурного воздействия на электрическое сопротивление кожного покрова малой площади / Белавская С.В., Верзилин С.А., Гаврилов Е.А., Емельянов М.А., Лисицына Л.И., Педонова З.Н. // Материалы X международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2010», Т2. – Новосибирск: НГТУ. – 2010. – С. 127-130.
11. Педонова, З.Н. Биофизические основы сочетанного физиотерапевтического воздействия / З.Н. Педонова, Л.И. Лисицына, С.В. Белавская // Материалы всероссийской научной студенческой конференции молодых учёных «Наука, технологии, инновации». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – Часть 3. – С. 197-200.
12. Педонова, З.Н. Многофункциональный зонд для внутриполостного воздействия с ультразвуковым излучателем. / З.Н. Педонова, С.В. Белавская // Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» в 3-х томах. Т.2. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2011. – С. 58-59.
13. Педонова З.Н. Моделирование магнитных полей совокупности индукторов / З.Н. Педонова // Материалы всероссийской научной студенческой конференции молодых учёных «Наука. Технологии. Инновации»: сб. науч. тр.: в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2015. – Ч. 6. – С. 74-75.
14. Педонова, З.Н. Использование импедансометрии как способа оценки заживления раны / А.С. Ашанина, З.Н. Педонова, М.А. Труфакина // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2014. – Ч. 7. – С. 3-5.
15. Педонова З.Н. Разработка индуктора для системы ускоренного заживления трофических язв / З.Н. Педонова // Материалы Всерос. науч.

конф. молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – Ч. 7. – С. 36-39.

16. Педонова З.Н. Разработка биотехнической магнитоэлектрической системы для ускоренного заживления трофических язв при синдроме диабетической стопы = Development of a biotechnical magnetoelectric system for accelerated healing of trophic ulcers in diabetic foot syndrome [Электронный ресурс] / З.Н. Педонова // Инноватика-2015: сб. материалов 11 междунар. shk.-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. – 2015. – С. 203-207.

17. Педонова З.Н. Разработка индуктора для многофункционального урологического прибора / Педонова З.Н. // Материалы конференции «Современные проблемы телекоммуникаций», Новосибирск. – 2016. – С. 791-793.

18. Педонова З.Н. Исследование влияния физических факторов многофункциональных устройств для рефлексотерапии и внутриполостного воздействия на биологическую ткань In Vivo и фантом животного происхождения / Л.И. Лисицына, С.В. Белавская, З.Н. Педонова, А.Н. Кузьмин, Е.Л. Потеряева, А.А. Люткевич, И.В. Феофилов // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2016. – Т. 5. – С. 72–78.

19. Pedonova, Z.N. Investigation of the influence of physical factors of multifunctional devices for reflexotherapy and intracavitary effects on in vivo biological tissue and phantom of animal origin / L.I. Lisitsyna, S.V. Belavskaya, Z.N. Pedonova, A.N. Kuzmin, E.L. Poteryaeva, A.A. Lyutkevich, I.V. Feofilov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 1, ч. 1. – С. 402-407.

20. Педонова З.Н. Разработка фантома для проведения испытаний физиотерапевтического прибора для внутриполостного воздействия / З.Н. Педонова // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 5. – С. 113–114.

Отпечатано в типографии
Национального исследовательского Томского политехнического
университета

634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30,
тел. (3822) 60-63-33

Формат 60 X 84 1/16, объём 1.5 п.л., тираж 100 экз.

Заказ № _____. Подписано в печать _____._____ г.