

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>«Разработка обратной акустической связи для управления амплитудой колебаний волновода-инструмента акустического узла при осуществлении ультразвуковой обработки раны»</b>

УДК 615.83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Сагалакова Карина Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Солдатов А. И.	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Данков А. Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гусельников М. Э.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Ф. А.	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки - Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
Ф.А. Губарев  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
1Д21	Сагалакова Карина Александровна

Тема работы:

<b>Разработка обратной акустической связи для управления амплитудой колебаний волновода-инструмента акустического узла при осуществлении ультразвуковой обработки раны</b>	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	№ 3611/с от 18.05.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Разработка обратной акустической связи для управления амплитудой колебаний волновода-инструмента акустического узла при осуществлении ультразвуковой обработки раны.</p> <p>Условия эксплуатации - клинические или в поликлинические условия;</p> <p>Рабочая частота акустических колебаний волновода-инструмента - 26,5кГц;</p> <p>Режим работы - непрерывный;</p> <p>Интенсивность излучения - 0,1 Вт/см<sup>2</sup>;</p> <p>Относительная влажность воздуха - 0-80%</p> <p>Температура окружающего воздуха - +10..+40°С;</p> <p>Цифровая индикация напряжения.</p>
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обзор литературы;</li> <li>• Разработка структурной схемы;</li> <li>• Разработка принципиальной схемы;</li> <li>• Расчеты и аналитика;</li> <li>• Алгоритм программы;</li> <li>• Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>• Социальная ответственность;</li> <li>• Заключение.</li> </ul>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Данков Артем Георгиевич
Социальная ответственность	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Гусельников Михаил Эдуардович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Введение
Обзор литературы
Разработка структурной схемы
Разработка принципиальной схемы
Алгоритм программы
Расчеты и аналитика
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Социальная ответственность
Заключение
Введение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.09.2015
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Солдатов Алексей Иванович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д21	Сагалакова Карина Александровна		

Выпускная квалификационная работа 62 с., 9 рис., 10 табл., источников 12, 3 прил.

Ключевые слова: низкочастотный ультразвук, раневая полость, патогенная микрофлора, ультразвуковой аппарат «Кавитон», акустическая система, бактерицидный эффект.

Объектом исследования являются аппарат ультразвуковой низкочастотный хирургический «Кавитон» (предприятие разработчик и производитель ООО «НПП «Метромед», г. Омск»).

Цель работы - разработка обратной акустической связи для управления амплитудой колебаний волновода-инструмента акустического узла при осуществлении ультразвуковой обработки раны.

В процессе исследования проводился обзор литературы по принципу работы ультразвукового аппарата «Кавитон», а также изучение метода ультразвуковой кавитации при лечении ран. На основе обзора проведен анализ и построение наиболее экономически и энергетически выгодной схемы обратной акустической связи, способной решать задачи, поставленные в техническом задании.

В результате исследования: разработана обратная акустическая связь для управления амплитудой колебания волновода-инструмента при осуществлении ультразвуковой обработки раны, ее структурная и принципиальная схема, а также проведен расчет приемника.

Область применения: аппарат применяется при лечении ран в клинических и в поликлинических условиях.

Экономическая эффективность/значимость работы: расчеты эффективности проекта показали, что проект имеет средний уровень научно-технического эффекта, однако, вполне оправдывает экономические затраты.

В будущем планируется доработка схемы и внедрение обратной связи по частоте.

## Оглавление

Введение.....	
1. Обзор литературы.....	
1.1 Метод ультразвуковой кавитации при лечении ран.....	
1.2 Пьезоэлектрические датчики.....	
1.3 Ультразвуковой аппарат «Кавитон».....	
2. Объект и методика исследования.....	
2.1 Разработка структурной схемы.....	
2.2 Разработка принципиальной схемы.....	
3. Расчет и аналитика.....	
4. Алгоритм программы.....	
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	
6. Социальная ответственность.....	
Заключение	
Список использованных источников.....	
Приложение А ФЮРА.940160.028.Э1.....	
Приложение Б ФЮРА.940160.028.ПЭ.....	
Приложение С Программа.....	

## **Введение**

Современное использование достижений технических, биоинженерных и медицинских наук, позволило создать новые направления борьбы с хирургической инфекцией, использующие физические и физико-химические факторы, такие как электрические и магнитные поля, лазерное излучение, ультразвук и прочее.

Это связано с тем, что широкое и бессистемное применение антибиотиков к настоящему времени привело к развитию резистентности бактериальной микрофлоры и возрастанию частоты хирургической инфекции.

В настоящее время ультразвук с успехом применяется в ряде областей медицины для лечебных целей в терапии, хирургии, а так же в диагностике различных заболеваний.

В то же время, можно выделить все более широкое применение энергии низкочастотного ультразвука (НчУЗ), используемого в трех основных направлениях хирургии и консервативной терапии: сварка (соединение), наплавка (воссоздание) и обработка биологических тканей.

Основной целью нашей работы является совершенствование методов обработки биоткани с применением энергии НчУЗ.

Сущность метода ультразвуковой обработки через лекарственные растворы заключается в том, что полость очага инфекции заполняется раствором лекарственного препарата с осуществлением, как правило, его проточной циркуляции, после чего в рану вводится волновод-инструмент и после включения ультразвука осуществляется озвучивание волноводом-инструментом раневой полости с достижением санации раны от раневого содержимого. В процессе ультразвуковой обработки через промежуточный лекарственный препарат осуществляется качественная очистка раневой поверхности от раневого содержимого и инородных включений с одновременным введением лекарственного вещества вглубь тканей раневой поверхности, обеспложивание патогенной микрофлоры и её эвакуация из раневой полости с достижением ускорения процессов репаративной

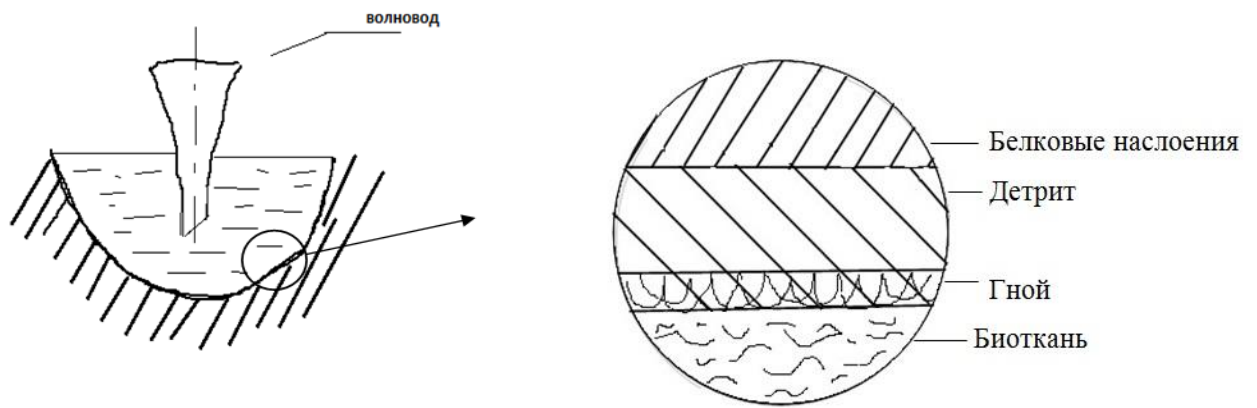
регенерации. Данный метод нашел достаточно широкое применение в клинической практике при обработке инфицированных ран [1].

В основе метода ультразвуковой обработки ран через промежуточный лекарственный раствор лежит инициирование интенсивных акустических течений (потоков), кавитации, переменного звукового давления, звукохимических, звукокапиллярных и иных процессов, способствующих протеканию в ране сложного комплекса физико-химических и биологических процессов [2].

Так, имеют место выраженные процессы массопереноса и массообмена, как в лекарственном растворе, так и границе «лекарственный раствор – инфицированная биоткань раневой полости». Как указывалось ранее, это приводит к очистке поверхности раны от гнойно-некротического содержимого, раневого детрита и иных наслоений, а также интенсификация введения лекарственного вещества вглубь ткани раневой полости. В случае поверхностных ран или повреждений они отграничиваются специальными раноограничителями, позволяющими создания слоя жидкости над поверхностной раной.

В случае выраженных гнойно-некротических раневых процессов, при наличии большого количества патологического содержимого в раневой полости, имеется опасность введения (импрегнации) вглубь раны, наряду с лекарственным раствором и смешанного с ним патологического содержимого, под действием высокоамплитудного ультразвука. Указанное чревато осложнением раны вплоть до генерализации инфекционного процесса.

Поэтому, с учетом возможных осложнений необходимо разработать специальное устройство, позволяющее реализовать обратную акустическую связь, обеспечивающую возможность регулирования амплитуды колебаний волновода-инструмента в зависимости от уровня загрязненности раны раневым содержимым. На рис. 1 показано схематичное изображение раневой полости с раневым содержимым.



*Рис.1 Схематичное изображение раневой полости с раневым содержимым*

Таким образом, для того, чтобы получить желаемый результат в регулировании амплитуды колебаний волновода-инструмента, необходимо, чтобы пьезодатчик определял амплитуду ультразвука прошедшего через раневую полость с раневым содержимым.



## **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **1.1 Метод ультразвуковой кавитации при лечении ран**

До не давнего времени ультразвук (УЗ) использовали преимущественно в физиотерапевтической и диагностической практике. После изучения биологических и физических свойств УЗ интерес у хирургов к нему возрос, что привело к более широкому использованию УЗ в хирургии [3].

Низкочастотный ультразвук (НчУЗ) обладает следующими лечебными эффектами: антибактериальными, противовоспалительными, спазмолитическими, противоаллергическими, болеутоляющими, гипотензивными. Влияние ультразвуковой волны оказывает повреждающее действие на микробную клетку, а также повышает температуру обрабатываемой среды. В обрабатываемой среде формируются губительно влияющие на микроорганизмы химические соединения. В итоге, антибиотикорезистентность возбудителей раневой инфекции снижается и это связано с бактерицидным эффектом. НчУЗ значительно приумножает влияние многих антисептиков и антибиотиков на всяческие бактерии и это все помимо собственного бактерицидного эффекта [3,4].

Расширение кровеносных сосудов, увеличение регионарного кровотока в 2-3 раза, сохранение внутриклеточного биосинтеза это все вызывает ультразвук (УЗ), а также инициирует хорошие изменения в внешней оболочке стенки кровеносных сосудов и микроциркуляторном русле, развитие эластичности стенок сосудов, это очень важно при таких ярко выраженных воспалительных и гнойно-деструктивных процессах.

Помимо улучшения микроциркуляции, это происходит за счет ликвидации застойных явлений, рассасывания инфильтратов, повышения фагоцитарной активности лейкоцитов и уровня неспецифической защиты ультразвук проявляет противовоспалительное действие. Применение НчУЗ обладает многими ценными качествами в комплексном лечении открытых ран, он усиливает терапевтическую эффективность, и это имеет очень важное

свойство, если у больных существуют противопоказания к радикальному оперативному лечению или в период подготовки к операции [3,4,5,6]. УЗ активизирует лизосомальные ферменты макрофагов. Вследствие этого очищается воспалительный очаг от клеточного детрита и патогенной микрофлоры в гнойном воспалении. Наряду с этим ускоряется синтез коллагена фибробластами и формируется грануляционные ткани в пролиферативной стадии воспаления, это все благодаря НчУЗ. Ультразвук активизирует окислительное действие кислорода и это имеет большое значение при лечении ран.



*Рис 2 - Лечение раны ультразвуком*

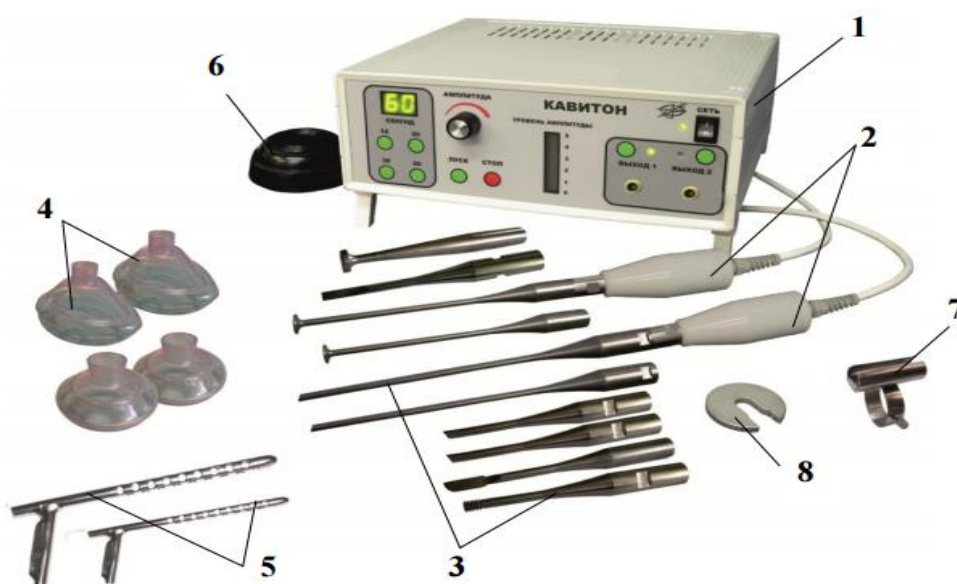
Ультразвуковая обработка ран различной этиологии повышает эффективность их лечения. Благодаря тому, что происходит оптимизация лечения раневой полости вне зависимости от его стадии. Это проявляется в уменьшении экссудации, стимуляции краевой и островковой эпителизации, ускорении созревания грануляционной ткани. Эффект ультразвуковой обработки обеспечивается за счет улучшения микроциркуляции и повышения местных защитных сил (активация фагоцитоза). В итоге, лечение ультразвуковым методом обработки способствует сокращению сроков подготовки к аутодермопластике на  $7 \pm 2,4$  суток при глубоких поражениях тканей, а так же к лучшему приживлению кожных трансплантатов (на 8-16%) и сокращению сроков лечения ожогов IIIа-IIIб степени на 10-14 дней [7].

### 1.3 Ультразвуковой аппарат «Кавитон»

Метод ультразвуковой кавитации при лечении ран используется при применении аппарата ультразвукового низкочастотного хирургического «Кавитон» (предприятие разработчик и производитель ООО «НПП «Метромед», г. Омск»). Рассмотрим принцип работы аппарата.

Аппарат "Кавитон" используется для профилактики и лечения ран с различной этиологией с помощью обработки энергией низкочастотного ультразвука как через промежуточные жидкие или консистентные лекарственные вещества, так и напрямую. Аппарат применяется в клинических и в поликлинических условиях.

Ультразвуковой аппарат «Кавитон» вместе с используемыми волноводами-инструментами изображен на рис.2.



*Рис.7 1 - блок управления (генератор низкочастотных ультразвуковых колебаний с рабочей частотой 26,5 кГц); 2 - акустическая система; 3 - набор волноводов-инструментов; 4 - набор ранноограничителей; 5 – набор внутриполостных расширителей-ограничителей; 6 - педаль; 7 - устройство для подачи лекарственного раствора; 8- ключ.*

Блок управления (генератор низкочастотных ультразвуковых колебаний) – преобразовывает электроэнергию сети (50Гц, 220В) в электроэнергию ультразвуковой частоты (26,5 кГц) потребной мощности.

Акустическая система - используется для преобразования в механические колебания электрических колебаний частотой 26,5 кГц. Механические колебания усиливаются и дальше передаются через подсоединенный волновод-инструмент в обрабатываемую зону. Непосредственно там энергия ультразвуковых колебаний подводится к объекту ультразвуковой обработки, как через промежуточную жидкую лекарственную среду, так и контактно.

Акустическая система - это двухполуволновая электромеханическая колебательная система. Она имеет вид пьезоэлектрического излучателя с прикрепленным к нему конусообразным или цилиндрическим концентратором ультразвуковых колебаний. На торце которого имеется специальная шпилька, с помощью которой к акустическому узлу присоединяются сменные волноводы-инструменты. По технологическому назначению в процессе обработки биотканей определяют их формы рабочих окончаний, от этого зависит в каком направлении и с какой интенсивностью будет обрабатываться поверхность раны. Материалом для изготовления набора волноводов-инструментов является титановый сплав, так как титан достаточно пластичный материал и легко поддается резанью и сверлению, а самое главное то, что он является инертным металлом. Волновод-инструмент выполняет главную функцию при обработке раны, он передает ультразвуковые колебания непосредственно в обрабатываемую зону, на очаг инфицированной раны, который находится на различных этапах заживления. Форма волноводов-инструментов соответствует резонансному режиму акустической системы, это очень важная составляющая, необходимая для реализации того или иного этапа лечения с использованием НчУЗ. На рис. 3 представлена акустическая система аппарата «Кавитон».

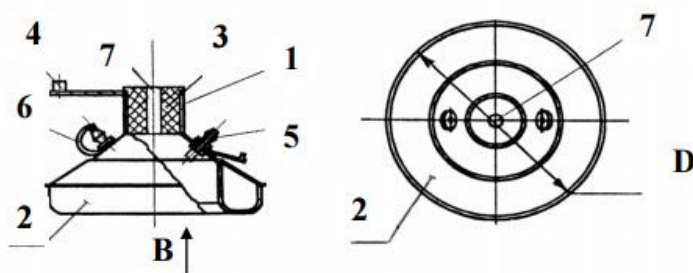


*Рис. 8 Акустическая система.*

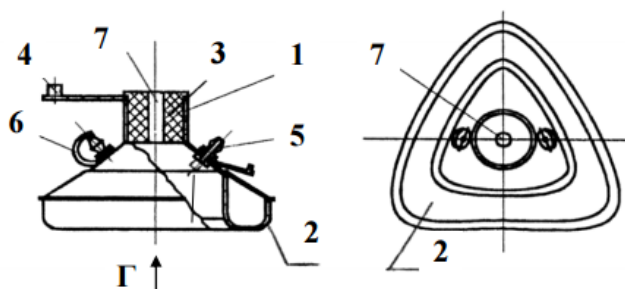
Раноограничители обеспечивают, при наложении на раневую поверхность, создание замкнутого объема над раной, имеющей поверхностную неровность и удержание необходимое время лекарственного раствора, нужного для проведения НЧУЗ санации очага инфекции. Кроме того, раноограничители предназначены для отграничения озвучиваемых тканей очага инфекции от окружающих тканей и погружения их в лекарственный раствор, а также для одномоментного и свободного манипулирования волноводом-инструментом в отграниченном объеме раствора. Набор раноограничителей включает два их типа: тип А и тип Б.

Тип А (рис.4) – изготовлен в виде тороидального эластичного упруго-деформируемого элемента круговой формы, чтобы обеспечить ограничение инфицированного очага от здоровой внешней среды.

Тип Б (рис.5) – изготовлен в виде несущего корпуса с основанием в виде тороидального эластичного упруго-деформируемого элемента треугольной формы со скругленными углами, чтобы обеспечить ограничение инфицированного очага от здоровой внешней среды.



*Рис.9 Раноограничитель типа А.*



*Рис.10 Раноограничитель типа Б.*

Совместно с волноводом-инструментом “ВИ16” (“распылитель”) используется устройство для подачи лекарственного раствора, для реализации этапа аэрозольного напыления лекарственного раствора на очаг инфекции. Оно крепится на акустической системе и служит держателем для установки шприца. Через подающую трубку к осевому каналу волновода-инструмента осуществляется подача лекарственного раствора.

Внутриполостные расширители-ограничители предназначены для расширения раневых каналов различной этиологии (травматических, хирургических, возникших вследствие хронических заболеваний) и подведения к поверхности слизистой или тканям энергии НЧУЗ и промежуточного лекарственного раствора. Набор внутриполостных расширителей-ограничителей включает два типоразмера - “ВРО-1” и “ВРО-2” [8].