

## Сведения о ходе выполнения проекта

### «Создание высокотехнологичного комплекса ультразвуковой хирургии»

Руководитель проекта д-р физ.-мат. наук Суханов Д.Я.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г. № 14.575.21.0163 с Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 26.09.2017 г. по 31.12.2017 г. выполнены следующие работы:

1. Проведен аналитический обзор состояния исследований по ультразвуковым хирургическим комплексам.
2. Проведены патентные исследования (патентный поиск).
3. Проведены теоретические исследования акустических волн в волноводах и их взаимодействие с тканями. Проведено аналитическое решение волнового уравнения для ультразвукового волновода.
4. Проведено численное моделирование и анализ характеристик сигнала генератора. Разработана базовая конструкция хирургического инструмента – волновода.
5. Проведено тестирование и измерение характеристик материалов и комплектующих для изготовления высокотехнологичного комплекса ультразвуковой хирургии.
6. Разработаны и собраны аппаратно-программные комплексы (испытательные стенды):
  - для тестирования и измерения характеристик материалов и комплектующих;
  - для измерений поля излучения ультразвуковых волноводов и определения его вибрирующих частей методом обратного распространения волн.
7. Проведены испытания испытательных стендов, в том числе исследование возможностей их применения для проведения исследований.
8. Разработан макет хирургического инструмента на основе ультразвукового волновода.
9. Разработан макет блока управления и генерирования мощного ультразвукового сигнала.
10. Разработаны макеты хирургических инструментов различного назначения в форме насадок на хирургический инструмент на основе ультразвукового волновода:
  - ультразвуковой коагулятор;
  - инструмент режущий типа ножницы;
  - инструмент режущий типа скальпель;

- инструмент режущий типа пила

11. Изготовлены, проведены испытания и отладка компонентов комплекса, достигнуты оптимальные характеристики, в том числе макета блока управления и генерирования мощного ультразвукового сигнала.

### ***Основные результаты проекта***

Разработан испытательный стенд для тестирования и измерения характеристик материалов и комплектующих. Особенность стенда: специально разработанные держатели тестовых образцов с подпружиненными ультразвуковыми сенсорами и пластиковым корпусом с винтовыми зажимами, позволяют удерживать объекты цилиндрической формы и измерять время распространения сигнала, проходящего через разные материалы (алюминий). По этому времени мы можем определить резонансную частоту исследуемого металлического материала.

Разработан испытательный стенд для измерений поля излучения ультразвуковых волноводов и определения его вибрирующих частей методом обратного распространения волн, который позволяет измерять сверхширокополосное ультразвуковое поле излучения в воде с двумерным пространственным сканированием. В сочетании со спектральной обработкой измеренного поля методом обратного распространения волн обеспечиваются уникальные возможности визуализации сверхширокополосных источников акустических волн в воде.

Разработан макет хирургического инструмента на основе ультразвукового волновода. Отличительной особенностью является применение косинусобразного плавного перехода от области монтирования волновода до рабочей области волновода, причем максимальный угол перехода обеспечивается в области минимума стоячих волн. Такая конструкция обеспечивает более плавную форму по сравнению с аналогами, имеющими экспоненциальный переход хирургического инструмента. Рассчитана форма волновода и описаны ограничения, геометрических размеров волновода по длине и диаметру для заданной частоты сигнала. Предложены методы расчёта формы ультразвуковых волноводов, учитывающие механические свойства материалов, из которых он изготовлен. Предложен метод оценки резонансной частоты ультразвукового волновода предложенной формы. Предложены оптимальные сигналы и точки воздействия на волновод, исходя из геометрической формы ультразвукового волновода, обоснованные физическими процессами.

Разработан макет блока управления и генерирования мощного ультразвукового сигнала. Разработана электрическая схема генератора ультразвукового сигнала мощностью до 200 Вт. Разработана эскизная конструкторская документация на генератор мощного ультразвукового сигнала. Ультразвуковой генератор предусматривает внешнее электронное

управление для перестройки частоты и фазы ультразвукового сигнала. Электрическая схема его предусматривает возможность непрерывной работы более 1 мин, без перегрева с применением радиаторов охлаждения. Время активации – не более 60 секунд, время паузы – не менее времени, затраченного на активацию. Отличительной особенностью является: наличие цифрового управления частотой и фазой генерируемого мощного ультразвукового сигнала, с возможностью цифровой обратной связи на основе измерения тока и напряжения с помощью цифро-аналоговых преобразователей.

Разработаны макеты хирургических инструментов различного назначения в форме насадок на хирургический инструмент на основе ультразвукового волновода: ультразвуковой коагулятор; инструмент режущий типа ножницы; инструмент режущий типа скальпель; инструмент режущий типа пила. Отличительной особенностью режущего инструмента типа ножницы является добавление ирригационного и аспирационного каналов. Данный инструмент является диссекционным инструментом для лечения ран в общей хирургии, а также для работы на паренхиматозных органах с аспирацией для общей хирургии. Инструменты коагулятор, скальпель, пила оборудованы ирригационным каналом, проходящим по оси симметрично, через весь инструмент. Это обеспечивает минимизацию поперечных колебаний волновода. Кроме того, форма каждого инструмента является уникальной, отличной от конкурентов. Каждый инструмент выполнен в виде насадки на базовую конструкцию ультразвукового волновода и все содержат косинус образный плавный переход.

Разработаны способы сопряжения хирургического инструмента на основе ультразвукового волновода и блока управления и генерирования мощного ультразвукового сигнала. В частности, разработана электрическая схема согласования генератора и ультразвукового пьезокерамического излучателя с возможностью настройки для нагрузок с различными резонансными характеристиками, обеспечивающая передачу электрической мощности не менее 200 Вт.

Разработан способ определения оптимальных параметров сигнала для согласования генератора и ультразвуковых волноводов с различными резонансными характеристиками, который обеспечивает превышение активного сопротивления электрической нагрузки над реактивным.

Определены параметры диэлектрического материала прокладки между пьезокерамическим элементов и ультразвуковым волноводом, который обеспечивает передачу акустической волны от пьезоэлемента к волноводу, выдерживает температуры до 150 градусов Цельсия и обеспечивает плотный контакт.

Определены требования к отражателю для направления энергии колебаний в сторону ультразвукового волновода: по массе превышает массу ультразвукового волновода, при этом обеспечивает отражение сигнала

пьезоэлемента в сторону ультразвукового волновода, что дает его синфазного сложения с прямым сигналом.

Предложен болтовой способ соединения пьезокерамического элемента и ультразвукового волновода через диэлектрическую прокладку в точке минимума стоячей волны, обеспечивающий достаточную силу прижима для максимизации площади контакта соединяемых частей, и минимальное воздействие на стягивающий болт и резьбовое соединение.

Работы, предусмотренные техническим заданием и планом графиком, в отчётном периоде выполнены в полном объёме.