

**Отзыв официального оппонента**  
**кандидата технических наук, доцента**  
**Пахмурина Дениса Олеговича**

на диссертацию Королюка Евгения Сергеевича  
«Программно-аппаратный комплекс для электроимпедансной визуализации  
зоны криодеструкции»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.2.12 – «Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения»

**Актуальность работы.** Использование сверхнизких температур для разрушения патологически измененных биологических тканей широко и эффективно применяется в клинической практике. По мере развития хирургических практик и криогенного оборудования стали очевидны и ограничения метода криохирургии.

Одна из главных проблем, замедляющая широкое внедрение метода криодеструкции, заключается в высокой сложности определения области промерзания биологической ткани. Существующие в настоящее время методы определения области криовоздействия имеют множество ограничений.

Диссертационная работа Е.С. Королюка посвящена исследованию зависимости биоимпедансного спектра различных биологических объектов в широком частотном диапазоне от 10 до 1000 кГц и в температурном диапазоне от –50 до +25 °С. Также в работе предложен способ определения границ и зоны криовоздействия с помощью метода электрической импедансной томографии.

Исходя из этого, считаю, что выполненные Е.С. Королюком исследования являются актуальными.

**Объем и содержание работы.** Диссертационная работа Е.С. Королюка представлена на 167 страницах машинописного текста и включает (помимо основного текста) 5 приложений, список сокращений, список литературы из 174 наименований.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и пяти приложений.

Во введении содержатся сведения об актуальности выбранной темы исследования. Сформулированы цель и задачи диссертации, научная новизна полученных результатов, а также их практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту. Обоснована достоверность результатов. Показан личный вклад автора.

Первая глава диссертации посвящена обзору методов лечения холодом и этапам развития криохирургии. Рассмотрены различные методы лечения с использованием сжиженных газов, а также достоинства и недостатки применяемых хладагентов в криомедицине.

По результатам обзора сформулированы основные недостатки, мешающие широкому использованию современных методов медицинской визуализации в области криохирургии. Один из основных недостатков заключается в сложности прогнозирования области криоповреждения из-за физиологических особенностей живых тканей. В качестве решения предложен альтернативный метод электроимпедансной томографии.

Во второй главе рассмотрено применение метода электрической импедансной томографии в медицине. Проанализированы приборы для измерения биоимпеданса, проведено сравнение различных систем визуализации, работающих по принципу электрической импедансной томографии.

Предложен способ неинвазивного измерения распределения импеданса внутри исследуемого объекта. С помощью проведения большого количества независимых измерений в частотном диапазоне от 10 до 1000 кГц было выяснено, что способ позволяет обеспечить длительную визуализацию патологической ткани до, во время и после проведения криохирургической процедуры. Дополнительными преимуществами предложенного подхода является безопасность как для пациента, так и для обслуживавшего персонала, а также компактность устройства по сравнению с популярными томографическими методами медицинской визуализации.

Третья глава посвящена разработке и сборке экспериментального программно-аппаратного комплекса, а также технологической оснастке.



Показаны основные модули разрабатываемого устройства, проведено обоснование используемых решений.

Разработан алгоритм для получения двумерных и трехмерных изображений с использованием пакета EIDORS для среды MATLAB или Octave. На базе этого алгоритма разработано программное обеспечение для получения томографических изображений с помощью метода электрической импедансной томографии. Представлены результаты испытаний, подтверждающие правильность работы алгоритма.

Отдельный раздел посвящен мерам по повышению электробезопасности и помехозащищенности устройства, показан уровень безопасного тока для пациента на всем частотном диапазоне устройства в соответствии с действующими стандартами.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по получению биоимпедансных спектров биологической ткани, а также томографических изображений с помощью метода электроимпедансной томографии.

В заключении обобщены результаты диссертационного исследования. Приведены рекомендации по их практическому применению. Предложены направления дальнейших исследований в рамках выбранной темы.

**Автореферат** полностью отражает содержание диссертации.

**Научная новизна** работы Е.С. Королюка заключается в разработке нового способа определения границ и размеров зоны криовоздействия, основанного на измерении и визуализации электроимпедансного спектра биологических тканей. Новыми являются экспериментальные данные о зависимости биоимпедансного спектра в широком частотном диапазоне от 10 до 1000 кГц и температурном диапазоне от  $-50$  до  $+25$  °С. Кроме того, к новым результатам можно отнести разработку и реализацию многоканального программно-аппаратного комплекса, работающего на принципе электрической импедансной томографии в частотном диапазоне от 10 до 1000 кГц.

**Ценность работы.** Полученные в диссертационной работе результаты имеют теоретическую и практическую значимость.

Теоретическая значимость заключается в обосновании и развитии использования метода электрической импедансной томографии в криохирургии.

Практическая значимость заключается в повышении качества и минимизации негативных эффектов криохирургического метода при использовании разработанного решения в составе медицинских криохирургических комплексов. Кроме того, определены оптимальные температурные диапазоны и скорости промерзания биологических тканей. Полученные результаты могут быть использованы в создании принципиально нового класса криохирургической аппаратуры, работающей на принципе электроимпедансной томографии.

**Достоверность результатов и научных положений** обеспечивается подтверждением теоретических данных, описанных в научной литературе, с результатами экспериментальных исследований, положительными результатами апробации и внедрения.

**Апробация результатов работы и их публикация.** Результаты диссертации в полной мере отражены в публикациях автора и прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях. По материалам диссертации опубликовано 22 работы, среди них 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и 3 работы в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science или Scopus. Получен патент на полезную модель РФ и 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

**Использование и внедрение результатов работы.** Результаты работы использованы при разработке программно-аппаратного комплекса для электроимпедансной визуализации зоны криодеструкции. Практические и теоретические результаты работы внедрены в научно-технической деятельности Томского политехнического университета, Сибирского государственного медицинского университета, Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, ООО «Электроимпедансная визуализация», ООО «РБС ТЕХНИК», ООО «МИП ДИВА-3Д».



## Замечания по работе

1. Не приведены данные о том, какая именно термопара использовалась и сведения о точности ее показаний в исследуемом диапазоне. Точность микросхемы MAX31855 при этом составляет  $\pm 2$  °С. Насколько удовлетворительна такая точность?

2. На странице 74 представлены характеристики модуля E20-10 с 4 входными каналами, который в дальнейшем был заменен на микросхему АЦП LTC2245 с близкими характеристиками. Однако по данным технической документации LTC2245 имеет только один вход АЦП.

3. На странице 74 написано: "Использование коаксиального кабеля позволяет снизить величину эквивалентной паразитной емкости до величины порядка единиц пикофарад". При этом выше было указано, что паразитная емкость должна быть менее  $1,6 \times 10^{-14}$ , то есть – менее 0,016 пФ. Ниже указано, что паразитная емкость между разъемами – не более 1,5 пФ. Насколько соотносятся все эти величины?

4. На странице 84 написано: "Принцип работы платы заключается в следующем: зондирующий сигнал поступает на плату мультиплексора и согласующий трансформатор, затем, проходя через мультиплексор, попадает на исследуемый объект. В этот же момент сигнал с других электродов, проходя через мультиплексор, попадает на АЦП". Чем обеспечивается "совпадение моментов" и насколько это важно?

5. Чем определяется погрешность формирования зондирующего сигнала именно в 5%?

6. В тексте диссертации имеются ряд грамматических ошибок и опечаток. Например, на рисунках 3.23 и 3.24 нет обозначений осей. На рисунках 4.10 – 4.11 показано одно и то же время для температуры +1,5 °С и +0,1 °С. На рисунке 4.21 линий больше, чем указано в легенде графика. На странице 85 перечислено 4 вида погрешности, а в формуле (3.1) учтены только 3, при этом в (3.2) – снова 4.

Указанные недостатки не снижают ценность и значимость диссертационной работы.

## Заключение

Данную диссертацию считаю законченной, актуальной, теоретически и практически значимой научно-квалификационной работой. Результаты исследований являются достоверными, прошли достаточную апробацию на конференциях всероссийского и международного уровня, в достаточной степени опубликованы в рецензируемых изданиях.

Считаю, что диссертационная работа Королюка Е.С. соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 – «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

Официальный оппонент,

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории съема, анализа и управления биологическими сигналами ТУСУР.

30.10

2023

Д.О. Пахмурин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40  
Телефон: (3822) 51-05-30  
Факс: (3822) 51-32-62  
<https://tusur.ru>; [office@tusur.ru](mailto:office@tusur.ru)

Отзыв получен 01.11.2023 Степанов А.А.  
С отзывом ознакомлен 01.11.2023г. Королюк Е.С.