

МИРИНА Татьяна Владимировна

**МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

(Показатели, измерительные операции, функциональные узлы)

Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные
и управляющие системы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

УФА – 2006

Работа выполнена в Уфимском государственном авиационном техническом университете на кафедре «Информационно – измерительной техники»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Фетисов Владимир Станиславович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Надеев Альмансур Измайлович

кандидат технических наук, доцент
Бакусов Леонид Михайлович

Ведущее предприятие: Самарский государственный
аэрокосмический университет

Защита состоится «____» _____ 2006 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, в актовом зале 1 корпуса УГАТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «____» _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Электрические параметры и свойства многих объектов неживой природы достаточно хорошо исследованы. На их основе созданы многочисленные сенсоры и датчики параметров физических величин, широко применяемые в измерительной технике. Это есть результат того, что электрические сигналы легко поддаются обработке с помощью известных средств электроники. Поэтому одной из основных тенденций при получении информации об интересующих параметрах или характеристиках процессов является преобразование их в электрические сигналы, с последующей их обработкой.

Гораздо сложнее обстоит дело с получением информации о состоянии объекта, имеющего биологическую природу. Электрические измерения на таких объектах обычно имеют плохие показатели стабильности и воспроизводимости. Это в определенной степени является результатом нестационарности параметров биологического объекта, достаточно быстрых изменений их в ответ на внешние воздействия физическими, химическими и психическими факторами. Поэтому принято считать, что электрические параметры биологического организма (*БО*) дают информацию только качественного характера, позволяющую предположительно сделать выводы об имеющихся в нем изменениях и отклонениях от тех значений, которые считают физиологической нормой для данного организма.

При этом в качестве информационных сигналов в основном используются колебания электрического потенциала между зонами на биологической ткани (*БТ*) (электрокардиография, электроэнцефалография, электромиография) или колебания электрического сопротивления, измеренные в режиме заданного высокочастотного электрического тока, протекающего через объект (реография). Информационная значимость электрических сигналов, снимаемых с локальных зон *БО*, а также электрические свойства *БТ* изучены недостаточно. Широко используемые методы получения информации в виде колебаний электрического сопротивления и разности потенциалов между локальными зонами не исчерпывают всех возможностей получения информации об электрических свойствах локальной зоны сложного энергозависимого объекта, каким является *БО*.

Поэтому в данной области было и остается актуальным проведение исследований по нахождению дополнительных способов получения информации о процессах, происходящих в *БО*, и установлению условий измерений, при которых информационные сигналы остаются относительно стабильными. Необходимо определить требования, предъявляемые к построению технических средств для реализации таких измерений, разработать

функциональные узлы, отвечающие этим требованиям, и создать на их основе технические средства, позволяющие получать интересующую информацию.

Целью данной работы является исследование возможностей и путей построения технических средств для получения информации об электрических свойствах локальных зон *БТ*, которые будут отличаться лучшей воспроизводимостью результатов измерений и расширенным объемом получаемой информации, характеризующей состояние организма в моменты выполнения измерительных операций.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие **задачи**:

✓ Систематизированы сведения об электрических свойствах биологических объектов и способах их оценки.

✓ Разработаны оригинальные методы оценки электрических свойств *БТ*, позволяющие получить дополнительную информацию об ее электрических свойствах и характеристиках.

✓ Исследованы особенности и технические возможности функциональных узлов электроники, с помощью которых можно реализовать предложенные методы получения информации об электрических свойствах локальных зон *БТ*.

✓ Экспериментально проверена справедливость предложений по методам получения дополнительного объема информации об электрических свойствах локальных зон *БТ* и выполнена качественная оценка параметров и характеристик, получаемых при использовании разработанных функциональных узлов.

Научная новизна результатов работы:

1. Предложено величину раздражения *БТ* и необходимую для этого длительность воздействия оценивать величиной электрической энергии, необходимой для возбуждения *БТ*.

2. Предложено оценивать энергетические свойства локальных зон *БТ*, рассматривая ее вместе с электродами как генератор электрической энергии. Разработаны подходы к построению соответствующих измерительных устройств и их основные структуры (патенты РФ № 2152776, № 2190994).

3. Предложено при оценке электрических свойств *БТ* использовать режим ее кратковременного замыкания на малое электрическое сопротивление с оценкой спектра тока, протекающего в цепи, а также режим измерения электрического сопротивления *БТ* при кратковременном воздействии на нее постоянной электрической мощностью.

4. Получены результаты количественных оценок электрических свойств *БТ* в предложенных режимах измерений при выполнении предложенной совокупности измерительных операций.

5. Разработаны функциональные узлы для обеспечения режима короткого

замыкания участка *БТ* и измерения тока, протекающего через нее, а также подходы к исследованиям измерительных электродов, работающих в разных электрических режимах.

Практическую значимость имеют:

1. Результаты оценки электрических сигналов, регистрируемых в локальных зонах на *БТ* в различных электрических режимах.
2. Методики проведения измерительных операций, обоснованная последовательность их чередования и рекомендации по конкретным количественным значениям времен и интенсивностей воздействия.
3. Предложенный режим оценки электрического сопротивления *БТ*, который имеет лучшую определенность и термодинамическую воспроизводимость по сравнению с используемыми в настоящее время.
4. Разработанные структуры устройств и систем и схемы их функциональных узлов.

Внедрение. Задачи, поставленные и решенные в данной работе, включены в тематику следующих НИР: «Измерительные генераторы заданной мгновенной электрической мощности» (грант Минобрнауки РФ 2002 г.); «Создание информационной системы нового типа для оперативного получения информации о психофизиологическом состоянии военнослужащих и операторов ответственных установок» (программа сотрудничества Минобрнауки и Минобороны РФ 2002-2003 гг.). Результаты работы используются в учебном процессе и при изучении дисциплины «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», что подтверждено соответствующими документами.

Методы исследований. Оценка электрических свойств *БТ* проведена с использованием знаний, полученных в биологии, нейробиологии, медицине. Основные результаты получены с помощью положений электротехники, теории электрических цепей и электроники. При исследовании электронных функциональных узлов использовано моделирование, выполненное с помощью пакетов *Micro-Cap v.7.0*, *Maple v.9.0*. Анализ устойчивости преобразователя «ток - напряжение» (*ПТН*) при работе с *БТ* проведен с использованием элементов теории автоматического регулирования. При оценке электродов использованы элементы теории электрохимических процессов. Экспериментальные исследования проведены как с помощью серийно выпускаемых приборов, так и с помощью специальных технических средств, разработанных с участием автора.

Апробация работы. Основные вопросы диссертации докладывались и обсуждались на Межгосударственной конференции «Методы и средства измерений механических параметров в системах контроля и управления» (Пенза, 1994 г.); международной конференции «Мера 94» (Москва, 1994 г.); VII, VIII, IX, XI, XVI НТК «Датчики и преобразователи информации систем

измерения, контроля и управления» (Крым, 1995 г., Гурзуф, 1996 г, 1997 г., 1999 г. Судак, 2002 г.); Международной научно-практической конференции «Измерительно-информационные технологии в здравоохранении» (С.Пб, 1995 г.); Всероссийской НТК «Методы и средства измерения в системах контроля и управления» (Пенза, 2001 г.); НТК «Датчик 2001» (Судак, 2001 г.); Международной НТК «Информационно-измерительные и управляющие системы» (Самара, 2005 г.)

На защиту выносятся.

1. Результаты систематизации информации об электрических свойствах *БТ*.
2. Предложения по оценке электрических свойств локальных зон *БТ*, возможные подходы к проведению измерений и построению соответствующих измерительных систем.
3. Результаты исследований по получению информации путем использования совокупности измерительных операций, различающихся электрическими режимами *БТ*.
4. Схемы построения и результаты исследований функциональных узлов, которые необходимы для реализации предложенных структур измерительных систем и выполнения соответствующих измерительных операций.
5. Результаты экспериментальных исследований электрических сигналов, характеризующих электрические свойства *БТ* при различных режимах измерений.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, списка литературы из 121 наименования, восьми приложений. Общий объем 195 страниц. В работе имеются 46 иллюстраций и 3 таблицы.

Публикации. Основные положения, выводы и практические результаты изложены в 21 статье в журналах, 15 материалах конференций и тезисах докладов; 6 – технических отчетах по НИР. На оригинальные технические решения получено 2 патента на изобретения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, охарактеризовано состояние дел в этой области, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведена систематизация информации об электрических свойствах *БТ*. Показано, что с электрической точки зрения объект, имеющий биологическую природу, является энергозависимым, нелинейным и нестационарным. Его параметры и характеристики зависят как от предыстории, так и от уровня и характера внешнего воздействия, сопровождающего процесс выполнения измерительной операции. Сделана попытка на основе

закономерностей, известных в биологии и физиологии, объяснить причины появления разности потенциалов между зонами на *БТ*. Отмечено, что каждая клетка считается источником электрической энергии, который имеет размеры до десятка микрометров. Приведены некоторые сведения о параметрах и работе клеток, касающиеся интересующих электрических процессов. Сделано предположение, что электрический заряд распределен неравномерно по поверхности мембран клеток и в результате соединения совокупности автономных микроисточников электрической энергии образуется разность потенциалов между зонами на *БТ*, которая может быть зарегистрирована с помощью технических средств.

Кроме того, разность потенциалов могут создавать полупроницаемые мембраны, имеющиеся в организме и разделяющие объемы жидкостей с разными концентрациями ионов. Их значения будут зависеть от проницаемости мембраны для каждого типа ионов, состава жидкостей и концентраций отдельных ионов, температуры, разности давлений, которая в свою очередь будет зависеть от скорости движения жидкостей.

Разность потенциалов также возникает вследствие разности температур между отдельными зонами организма, падений напряжения на отдельных участках, созданных протекающими внутренними токами, в том числе и теплового происхождения. Она может возникать в результате взаимодействия движущейся крови с геомагнитным полем, а также наводиться переменной составляющей геомагнитного поля в тканях организма. Функционирование клеток (особенно пейсмекерных), мышц, органов сопровождается изменениями потенциалов, регистрируемых на поверхности организма. Кроме того, *БО* располагается в атмосферном электростатическом поле, что создает падение напряжения на нем и, как следствие, электрический ток через него, который оценивается значениями порядка 10^{-6} мкА/м.

Разность потенциалов, которая может иметь существенное значение, появляется в результате взаимодействия *БТ* с измерительными электродами. Причем в случае наличия электрического тока через электроды значение ее может существенно изменяться.

Сделан вывод о том, что разность потенциалов, регистрируемая на *БТ*, является многофакторным явлением, затрудняющим получение однозначных выводов о причинах ее появления. Ее изменения несут большой объем информации о состоянии организма, качестве функционирования отдельных органов и систем и параметрах микрокосмоса, в котором находится организм. В отдельных случаях она позволяет достаточно хорошо оценить функционирование отдельных органов и систем (электрокардиография, электроэнцефалография, электромиография).

В ключе электрических явлений рассмотрен процесс биоэлектрической активности при возбуждении клетки. Показано, что для целей получения

информации может быть использован закон полярного раздражения. Сущность его в том, что в момент подключения источника постоянного напряжения возбуждение в клетках нерва или мышц возникает только под катодом, а в момент отключения только под анодом.

Для повышения объективности, улучшения однозначности и воспроизводимости величину раздражения и длительность его воздействия на *БТ* предложено оценивать величиной электрической энергии $A = u \cdot i \cdot t$ и вместо кривой, характеризующей появление возбуждения с координатами «ток - время» (кривая Гоорвега-Вейса) строить кривую «электрическая мощность воздействия – время».

Преимущество такого подхода заключается в том, что уровень воздействия будет строго известным для любого объекта и хорошо повторяемым. При этом в *БО* будет рассеиваться в виде теплоты неизменное количество энергии, вне зависимости от того, какие у него электрические параметры. Эти предложения должны повысить достоверность получаемой информации.

Рассмотрена концепция энергетического подхода к построению устройств, предназначенных для получения информации об электрических свойствах *БТ*, получаемой при введении в объект внешней электрической энергии.

Показана некорректность получения измерительной информации об энергозависимых объектах, когда в процессе ее получения вводится разная электрическая мощность и энергия. Обосновано, что при проведении измерительных операций должно вводиться одинаковое количество энергии вне зависимости от индивидуальных параметров *БО*. Только при учете этого условия будут иметься предпосылки для получения однозначной информации о свойствах и параметрах организма.

Показано, что для объектов, в которых установление определенного теплового состояния идет достаточно быстро, при получении информации целесообразно использовать электрические измерительные цепи, которые обеспечивают неизменное мгновенное значение мощности, рассеиваемой в объекте. Для объектов с большой постоянной времени установления можно применять режимы, при которых обеспечивается неизменность постоянной средней мощности воздействия.

Приведены требования к измерительным цепям, обеспечивающим неизменное значение рассеиваемой в *БО* электрической мощности. Показано, что если *БО* имеет эквивалентную схему многоэлементного двухполюсника и параметры нескольких элементов тепловыносливы, то даже в режиме заданной электрической мощности электрического воздействия на объект проблематично получить однозначную информацию о его свойствах, в том числе и в случаях использования воздействий с разными частотами. Это есть следствие того, что

из-за наличия реактивных элементов, мощности, рассеиваемые в каждой ячейке эквивалентной схемы двухполюсного объекта, будут изменяться не пропорционально изменению частоты. Устранить этот недостаток пока не представляется возможным.

Дана общая характеристика основных функциональных узлов, необходимых для получения информации, достаточно полно характеризующей свойства и состояние *БО*, а также рассмотрены требования, предъявляемые к таким узлам.

Во второй главе приведены результаты исследований вопросов построения технических средств, предназначенных для оценки мощностных параметров *БТ* и нахождению способов их измерения, пригодных для практического использования. В известной литературе вопросы оценки мощностных параметров *БО* и возможные подходы к этому ранее не ставились. Поэтому выполнена работа по разработке наиболее рациональных методов, которые позволили бы получить интересующую информацию. Установлено, что для оценки мощностных параметров *БТ* могут быть применены: метод непосредственной оценки отдаваемой максимальной мощности; косвенный метод оценки мощностных параметров; метод одновременного уравнивания отдаваемой мощности.

Разработаны укрупненные структуры преобразователей, которые позволяют реализовать разработанные методы. В методе непосредственной оценки *БТ* замыкается на управляемое электрическое сопротивление, равное тому значению, при котором *БТ* в нагрузку отдается максимальная мощность, этот момент фиксируется и оценивается значение мощности, рассеиваемой в нагрузке. Установка оптимального значения сопротивления нагрузки и слежения за его изменениями производится автоматически. Разработаны две структурные схемы, в которых автоматически устанавливается оптимальное значение сопротивления нагрузки, при котором рассеивается максимальная мощность.

Показано, что на начальных этапах исследований, пока не получен достаточно большой объем информации о мощностных параметрах *БО*, целесообразно использовать косвенный метод. Разработана структурная схема системы, позволяющая реализовать этот метод. Метод заключается в том, что измеряют разность потенциалов на *БТ* в режиме холостого хода и электрический ток в цепи при замыкании накоротко участка *БТ*, затем расчетным путем получают максимальную мощность, которую способна отдать в нагрузку *БТ*.

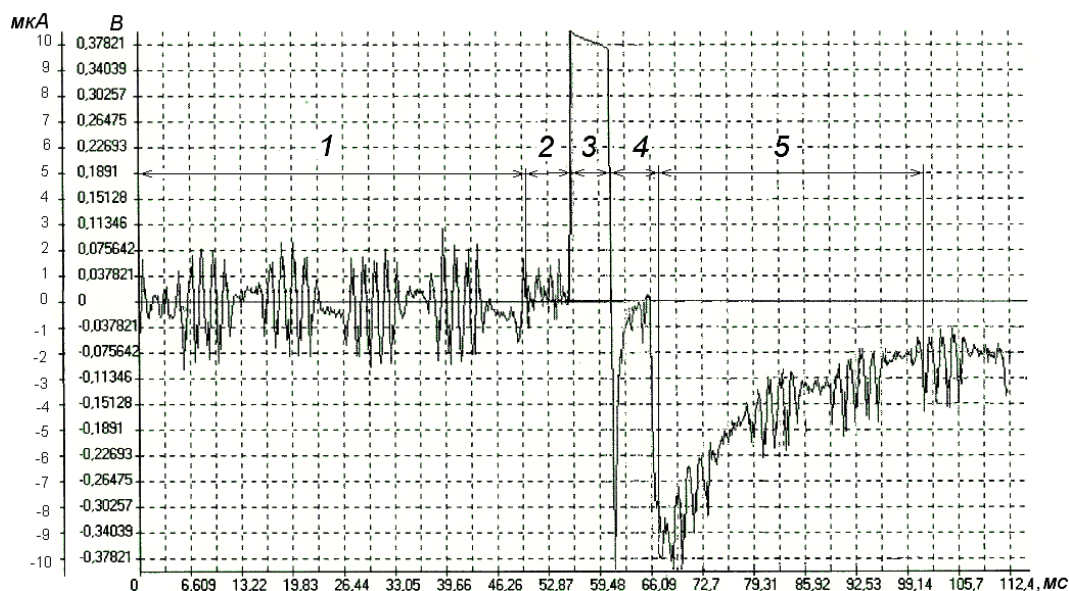
Предложен также метод, названный методом одновременного уравнивания мощности. Он является разновидностью косвенного метода. Сущность его заключается в том, что значение энергии, отобранной от *БТ* в цикле выполнения измерительной операции оценки мощности, восполняется во

втором цикле, в котором эта энергия вводится в *БО* от внешнего источника.

Значение выполненных исследований в том, что в результате их проведения стали ясны методы оценки максимальной электрической мощности, которая характеризует участок *БТ*, и в том, какие структуры целесообразно использовать при разработке соответствующих измерительных устройств. Сделан вывод о том, что на начальном этапе изучения проблемы оценки электрической мощности, имеющейся у *БТ* целесообразно использовать косвенный метод, при котором измеряется разность потенциалов в режиме естественного состояния *БТ* и ток ее короткого замыкания.

В третьей главе с целью получения представлений о требованиях, которые должны предъявляться к отдельным функциональным узлам при проектировании соответствующей измерительной аппаратуры, проведены экспериментальные исследования электрических сигналов, получаемых при использовании совокупности измерительных операций, предложенных при непосредственном участии автора в коллективе, в котором выполняются исследования. Они были проведены последовательно друг за другом в течение малых промежутков времени, оцениваемых миллисекундами – десятками миллисекунд. В течение их состояния *БО* практически не изменяется, хотя он относится к числу нестационарных. В качестве основных базовых режимов использовались режимы: холостого хода, короткого замыкания, воздействия на *БТ* импульсом постоянной электрической мощности с положительной или отрицательной полярностью напряжения на измерительном электроде, короткого замыкания *БТ* после воздействия электрическим импульсом, холостого хода после окончания режима короткого замыкания.

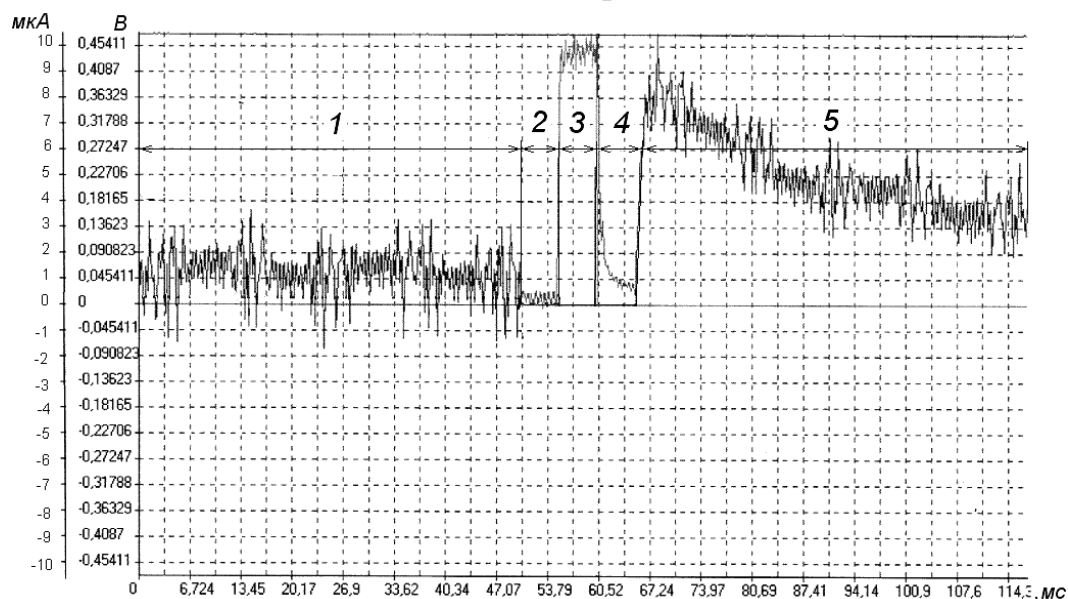
Из анализа сигналов, полученных при малом усилии механического воздействия на локальную зону (слабое касание поверхности) и постоянным импульсом мощности с положительной полярностью напряжения на измерительном электроде (рисунок 1), и при механическом воздействии на *БО* с силой порядка 0,098 Н и постоянным импульсом мощности с отрицательной полярностью напряжения на электроде (рисунок 2), сделаны следующие выводы.



Разность потенциалов 1; токи короткого замыкания 2, 4; ток при воздействии электрической мощностью положительной полярности 3; восстановление разности потенциалов 5

Рисунок 1 - Изменение электрических сигналов, в предлагаемых электрических режимах при отсутствии механического воздействия на БТ

При отсутствии внешнего воздействия в отдельных локальных зонах наблюдаются следующие друг за другом пачки колебаний (участок 1 рисунок 1), напоминающих искаженную синусоиду. Между пачками также идут высокочастотные колебания с амплитудой в 6-7 раз меньшей. Частота колебаний составила 650-750 Гц, длительность порядка 6-7 мс, интервал между пачками 4 мс. Эти параметры переменны. Установлено, что после короткого замыкания электродов при их размыкании наблюдается скачок разности потенциалов на БТ и процесс восстановления исходного значения. Он идет по закону, близкому к экспоненциальному (участок 5 рисунок 1). На кривую переходного процесса наложены высокочастотные колебания, близкие по форме к тем, что наблюдались в спокойном режиме.



Разность потенциалов 1; токи короткого замыкания 2, 4; ток при воздействии электрической мощностью отрицательной полярности 3; восстановление разности потенциалов 5

Рисунок 2 - Изменение электрических сигналов, в предлагаемых электрических режимах при механическом воздействии на *БТ*

При механическом воздействии на *БТ* (рисунок 2) соотношение амплитуд колебаний в пачке и в интервале между ними уменьшается до 2-3 раз, а форма и параметры колебаний существенно изменяются. Кроме этого на потенциал зоны накладываются низкочастотные колебания, по частоте близкие к 50 Гц. Так как исследования проводились при малых длительностях (порядка 50 - 100 мс) низкочастотные и инфрачастотные колебания, несущие информацию о психических процессах, не выявились. Признано целесообразным оценивать постоянную составляющую разности потенциалов для оценки электрических свойств *БО*. При этом установлено, что после внешних кратковременных воздействий она не всегда возвращается к исходному первоначальному значению.

Проведены оценочные исследования тока короткого замыкания *БТ* (участок 2, 4 рисунок 1, рисунок 2). Установлено, что при малой длительности короткого замыкания электрический ток содержит постоянную и переменную составляющие. Форма колебаний тока существенно отличается от формы колебаний напряжения. Она существенно отличается от тех колебаний, которые в какой-то степени напоминают гармонические. После внешнего энергетического воздействия электрический ток возвращается к установившемуся значению по экспоненциальному закону (или близкому к нему) (участок 4 рисунок 1, рисунок 2). Причем переменные колебания проявляются после окончания основной части процесса установления. Форма их меняется несущественно по сравнению с формой колебаний до проведения воздействия. Зарегистрированные токи находились в пределах от сотых - десятых долей микроампер до десятков микроампер в импульсе после внешнего энергетического воздействия. Признано целесообразным в качестве информационного параметра, несущего информацию об электрических свойствах *БТ*, использовать постоянную составляющую электрического тока.

Информация также содержится в постоянной времени изменения среза импульса установления тока, в колебаниях тока после завершения основной части стадии установления, в немонокотности кривой установления тока.

Проведено исследование сигналов, появляющихся в случаях кратковременного воздействия на *БТ* постоянной заданной электрической мощностью (участок 3 рисунок 1, рисунок 2). Выводы сделаны на основе регистрации изменений напряжения, обеспечивающего требуемое значение постоянной мощности. Установлено, что напряжения импульсов могут существенно различаться при положительной и отрицательной полярностях.

Причем их значения различны в разных локальных зонах. Соотношение между напряжениями при разных полярностях менялись в пределах 1-1,5 раз. На «крыше» импульсов наблюдаются колебания. В разных зонах наблюдается лучшая временная стабильность при положительных или отрицательных напряжениях, что является важным информационным фактором. Информация также содержится в параметрах фронта, среза и «крыши» импульса. Сделан вывод, что, исходя из сегодняшних знаний, целесообразно использовать информацию о значении электрического сопротивления, определенного в режиме заданной электрической мощности, и о разности сопротивлений при разной полярности напряжения.

Рассмотрена возможность получения информации о состоянии локальных зон с помощью нового подхода. В основе его лежит явление увеличения тока короткого замыкания (в десятки и более раз) в отдельных «заинтересованных» зонах при периодическом воздействии на них импульсами положительной полярности. Дано гипотетическое объяснение этого явления на основе закона полярного раздражения.

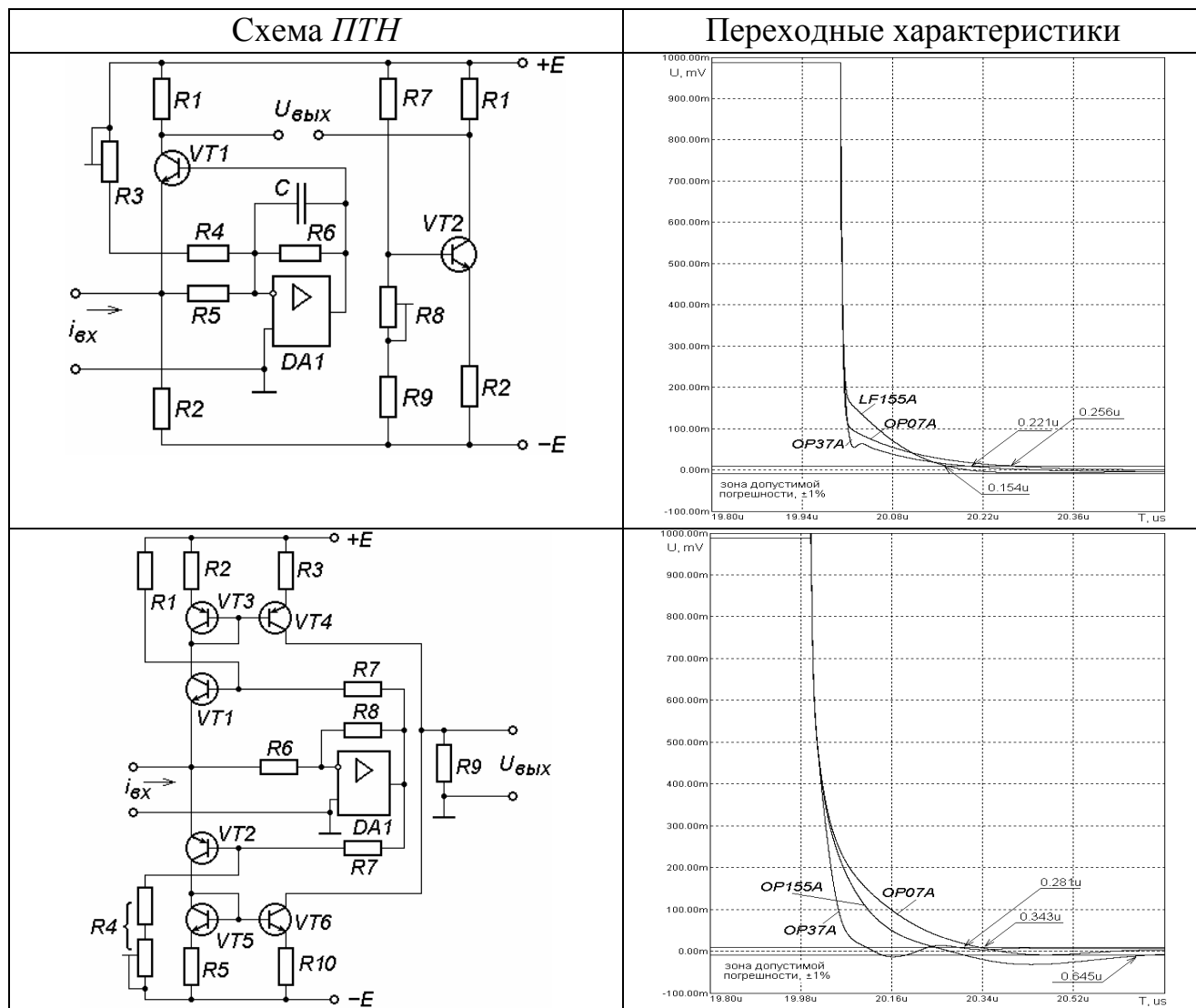
В четвертой главе рассмотрены особенности работы электродов, электрический режим которых быстро меняется и которые воспринимают сигналы, меняющиеся с большой скоростью, а также функциональные узлы, которые позволяют обеспечить режим короткого замыкания объекта при проведении соответствующей измерительной операции. Показано, что на данном этапе возможна только качественная оценка свойств контакта «жидкая среда - электрод» при работе с быстроизменяющимися сигналами в разных электрических режимах. При этом эти результаты будут зависеть от температуры, состава жидкости, материалов, площадей поверхностей и качества изготовления электродов, а также и от параметров сигнала. Рассмотрены особенности электрических режимов, когда электроды работают без электрических токов и при их наличии. Так как особенности применения выходят за пределы требований, регламентируемых ГОСТом 25995-83 «Электроды для съема биоэлектрических потенциалов. Общие требования и методы испытаний», то разработаны методы оценки: амплитудно- и фазочастотных характеристик системы «жидкость - измерительный электрод» при быстроизменяющихся сигналах; свойств при наличии напряжения поляризации; амплитудно- и фазочастотных характеристик при протекании через электроды электрического тока. Предложены структуры измерительных установок для качественных исследований свойств электродов в жидкости при высокочастотном сигнале. Значимость этой части исследований в том, что разработаны подходы к оценке свойств электродов, работающих в различных электрических режимах, которые могут существенно исказить результаты, получаемые при исследовании *БТ*.

Приведены результаты исследования принципов построения

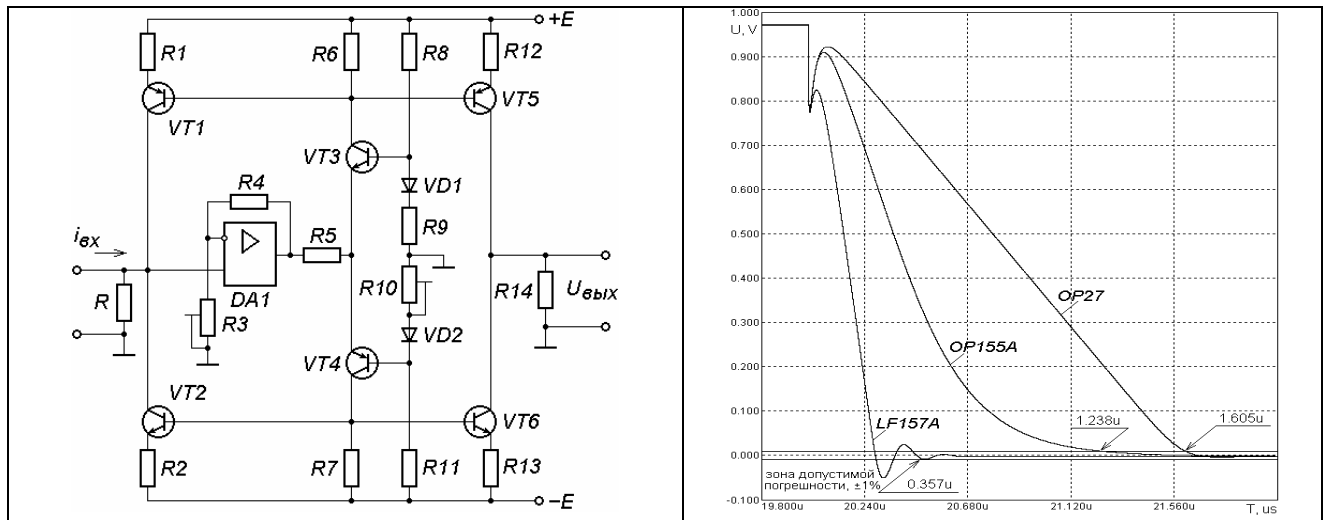
функциональных узлов на базе *ПТН*, обеспечивающих режим короткого замыкания подключаемого к ним *БО*. Сформулированы основные требования, предъявляемые к ним, из которых основными являются малое стабильное входное сопротивление в широком диапазоне частот, стабильный коэффициент преобразования, и малая длительность переходных процессов.

В таблице 1 сведены некоторые схемы разработанных и исследованных *ПТН*.

Таблица 1



Продолжение таблицы 1



С помощью пакета *Micro-Cap v 7.0* проведено моделирование схем *ПТН* и получены характеристики динамических свойств *ПТН* при использовании различных микросхем, выпускаемых промышленностью. Результаты моделирования систематизированы. Сделаны выводы относительно рациональности применения конкретных технических решений.

Проведена оценка устойчивости *ПТН*, выполненного на основе *ОУ* с параллельной обратной связью, вход которого подключен к участку *БТ*, обобщенное эквивалентное сопротивление которой $Z_{орг}$ зависит от ее состояния (рисунок 3).

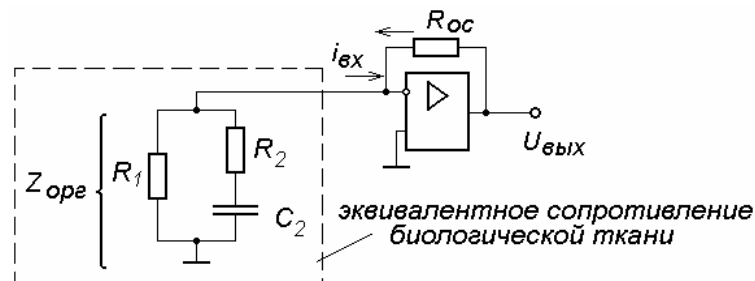


Рисунок 3 - Преобразователь «ток - напряжение»

Установлено, что *ПТН* может потерять устойчивость при работе с *БО* при определенных значениях его параметров. Для оценки устойчивости скорректированного *ОУ* при разных значениях параметров эквивалентной схемы *БТ* получено трансцендентное уравнение, характеризующее дополнительный фазовый сдвиг, вносимый параметрами *БТ*:

$$\varphi_\beta = \arctg \omega \tau_1 - \arctg a \omega \tau_1,$$

где φ_β - аргумент коэффициента β ; $a = \frac{R_1}{R_1 + R_{oc}} + \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_{oc}}{R_1 + R_{oc}}$; $\tau_1 = R_2 C_2$.

Из численного решения уравнения с помощью пакета *Maple v 9.0* найдены условия, при которых устойчивость будет сохраняться. Эти условия представлены трехмерными графиками, некоторые из которых показаны на

рисунке 4 (а - $a = f(R_1, R_2)$, б - $\varphi_\beta = f(R_1, \omega)$, в - $\varphi_\beta = f(R_2, \omega)$).

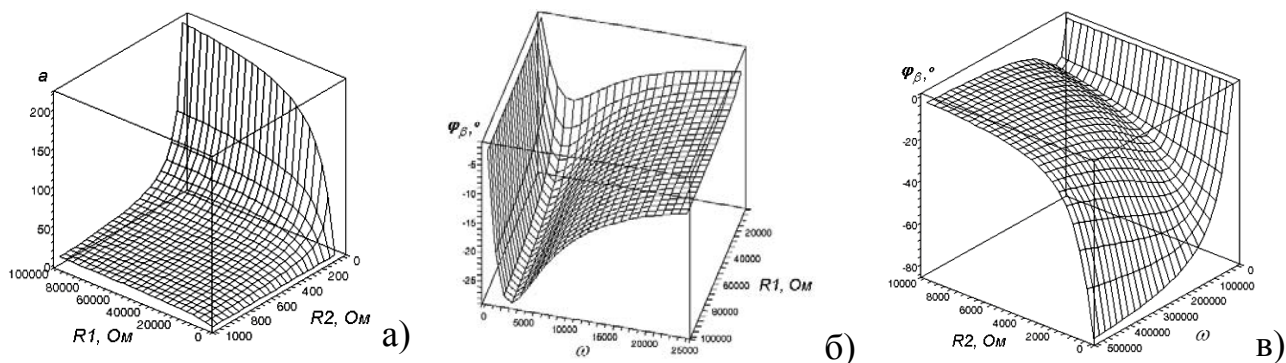


Рисунок 4 - Графики, характеризующие устойчивость схемы в зависимости от параметров элементов эквивалентной схемы и частоты

Результаты позволили найти максимальное значение сопротивления R_{oc} , при котором сохраняется устойчивость при подключении к БО с определенными электрическими параметрами. Установлено, что при сопротивлении R_{oc} , равном или меньшем 10 кОм, обеспечивается устойчивость при работе с большинством БО, параметры которых приведены в литературных источниках. При малом значении сопротивления R_2 (менее 100 Ом) входное сопротивление ПТН следует увеличить путем включения последовательно с входом дополнительного сопротивления. Для гарантированного обеспечения устойчивости значение его должно находиться в пределах 2 – 6 кОм.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований электрических свойств БТ, которые проявляются при периодическом воздействии мощностью на БТ с определенной частотой и коротком замыкании ее на промежутки между воздействиями. Для этого выполнено обоснование выбора приборов и установки для неавтоматизированного исследования электрических свойств. При исследованиях была применена оригинальная установка, разработанная с участием автора. Структура ее показана на рисунке 5.

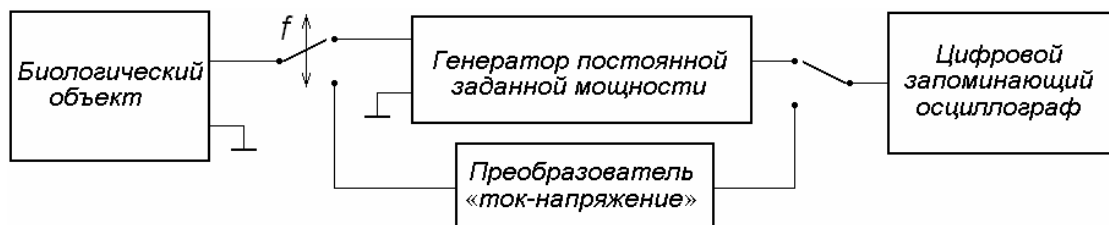


Рисунок 5 - Структура экспериментальной установки

Она обеспечивала чередующиеся с задаваемой частотой режимы воздействия на БО электрической мощностью и замыкания накоротко измерительных электродов. Приведены результаты оценки ее метрологических

характеристик.

Рассмотрены переходные процессы изменений падения напряжения на *БТ* при разных значениях электрической мощности с целью определения того оптимального значения, при котором результаты будут наиболее информативными. Сделан вывод о том, что рассеиваемая электрическая мощность на разных локальных зонах *БТ* и значение падения напряжения на ней мало коррелированы между собой. Установлено, что длительность импульса воздействующей электрической мощности целесообразно брать не менее 2-4 мс, а значение мощности на уровне 0,4-1 мВт. Типовые картины установления электрического тока при чередующихся воздействиях импульсами электрической мощностью и коротком замыкании *БТ* имеют вид, показанный на рисунке 6.

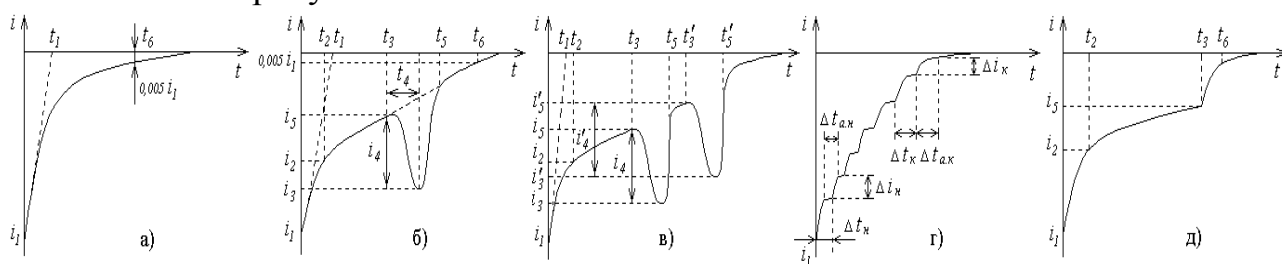


Рисунок 6 - Типовые кривые измерений тока через замкнутые измерительные электроды при замыкании после предварительного воздействия фиксированной мощностью

Наблюдались монотонное изменение (рисунок 3, а) и немонотонности в кривых установления тока в отдельных зонах (рисунок 3, б, в), и своеобразный ступенчатый переходной процесс установления (рисунок 3, г, д). Дано гипотетическое объяснение этих явлений и высказаны предположения об их информационной значимости. Экспериментальные данные о параметрах переходных процессов, наблюдавшихся после достаточно длительного периодического воздействия на *БТ* импульсами электрической мощности и замыкании ее накоротко, сведены в две таблицы.

Представленный материал является обобщением тех результатов, которые были получены с непосредственным участием автора, начиная с 1994 года по настоящее время. Их значимость в том, что они расширили научную базу знаний об электрических свойствах *БТ* и их проявлениях в области малых времен, а также о методах и технических средствах получения информации о состоянии локальных зон *БТ*. Эта информация необходима для проектирования информационно-измерительных систем соответствующего назначения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложено в качестве информационного параметра, характеризующего состояние *БТ*, использовать электрическую мощность. Разработаны структуры измерительных устройств для ее оценки. Обосновано,

что на начальном этапе исследований мощностных параметров целесообразно применять косвенный метод, при котором измеряются электрическое напряжение в режиме холостого хода и электрический ток при замыкании электродов установленных на *БТ* на малое электрическое сопротивление, а значение мощности определять расчетным путем.

2. Предложено информацию о состоянии *БО*, которая характеризуется его сопротивлениями или проводимостями получать в режиме, при котором воздействующая на *БО* электрическая мощность остается неизменной. Установлено, что в этом режиме электрические значения тока и напряжения, а также параметры переходных процессов установления сигнала и восстановления исходного состояния различаются в разных локальных зонах на *БТ*, что характеризует их состояние.

3. Проведены оценочные исследования электрического тока, протекающего в цепи при замыкании на малое сопротивление электродов, установленных на *БТ*. Установлено, что в его составе в некоторых случаях имеется постоянная составляющая и имеются переменные колебания даже при отсутствии у зоны предистории в виде электрического воздействия. После воздействия одиночным импульсом постоянной электрической мощностью с длительностью, лежащей в диапазоне до десятка миллисекунд, электрический ток короткозамкнутых электродов имеет форму импульса со срезом, напоминающим экспоненту, на которую часто накладываются колебания на среднем и конечном ее участке. Все это несет информацию об электрических свойствах данной локальной зоны *БО*.

4. Установлены наиболее рациональные последовательности измерительных операций, которые дают расширенный объем информации. Проведены оценочные исследования параметров сигналов при работе в предложенных режимах при малой длительности измерительных операций (до 100 мс). Установлено, что в зависимости от состояния локальной зоны *БО*, значения электрических сопротивлений при воздействии одинаковой мощностью с разной полярностью напряжения могут различаться до 1,5 раз и более.

5. Предложены структуры установок для проведения исследований электрических свойств электродов, контактирующих с *БТ* и работающих в разных электрических режимах малой их длительности.

6. Проведены исследования технических возможностей функциональных узлов электроники, которые обеспечивают замыкание электродов на малое электрическое сопротивление и преобразуют в напряжение малые токи *БО*. Получены оценки параметров переходных процессов при использовании различных типов *ОУ* и разработаны рекомендации по обеспечению устойчивости при работе с *БО*.

7. Экспериментально исследованы электрические сигналы при

периодическом воздействии на локальную зону *БО* электрическими импульсами мощности с положительной полярностью напряжения и коротком замыканием электродов в паузах между импульсами. Проведена качественная и количественная оценки полученных результатов и сделана попытка оценки их информационной значимости.

**Основные результаты опубликованы в журналах, рекомендованных
ВАК и других изданиях:**

1. Принципы построения и структуры электронных измерительных генераторов заданной электрической мощности./Гусев В.Г., Зеленев С.А., Мирина Т.В. и др.//Измерительная техника, 1999, №4, с.26-31.
2. Измерительные электроды для биологии и медицины./Гусев В.Г., Мирина Т.В.// Измерительная техника, 2002, №7, с.34-38.
3. Элементы и узлы измерительных генераторов заданной электрической мощности./Гусев В.Г., Демин А.Ю., Мирина Т.В.//Измерительная техника, 2003, №7, с.34-38.
4. Особенности построения устройств для локального квазирезонансного воздействия на биоорганизм./Гусев В.Г., Мирина Т.В.//Датчики и системы, 2004, №6 с.51-54.
5. Многофункциональная информационно-измерительная система для медицинской диагностики./Гусев В.Г., Дудов О.А., Мирина Т.В. и др.//Вестник УГАТУ, 2004, Т5, №2. с.104-109.
6. Измерительные операции и цепи в многофункциональной диагностической системе./Гусев В.Г., Мирина Т.В., Фетисов В.С., Демин А.Ю., Дудов О.А.//Медицинская техника, 2004, № 1, с. 16-19.
7. Измерительные цепи с генераторами заданной мощности./Гусев В.Г., Мирина Т.В., Валеев В.Т.//Измерительная техника, 2005, № 8, с. 50-52.
8. Патент РФ №2152776. Б.И. №20, 2000. Устройство для измерения электрических параметров биологических тканей./Гусев В.Г., Мирин Н.В., Мирина Т.В.
10. Патент РФ №2190994. Б.И. №29, 2002. Способ и устройство для измерения параметров биологической ткани/Гусев В.Г., Мирин Н.В., Мирина Т.В.
12. Энергетическая определенность возмущения в объекте при выполнении операций измерения электрических параметров./Гусев В.Г., Мирина Т.В.//Сборник материалов Всероссийской НТК. Пенза: ПГУ, 2001, с.108-109.
13. Методы измерения мощностных свойств источников электрической энергии имеющих биологическую природу./Гусев В.Г., Мирина Т.В.//Материалы НТК Датчик 2001. М.: МГИЭМ, 2001, с.132-133.
15. Совокупность измерительных операций при оценке электрических

свойств биологических тканей./Гусев В.Г., Мирина Т.В., Демин А.Ю., Дудов О.А.//Метрология (приложение к НТЖ "Измерительная техника"). № 12, 2004, с. 27-38.

16. Энергетический подход к получению измерительной информации./Гусев В.Г., Мулик А.В., Мирина Т.В.//Материалы международной НТК "Информационно-измерительные и управляющие системы" (ИИУС-2005). Самара, 2005, с. 172-174.

МИРИНА Татьяна Владимировна

«МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»

(Показатели, измерительные операции функциональные узлы)

Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные
и управляющие системы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 00.00.06. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,0.
Усл.кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № . Бесплатно.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Редакционно – издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12