

## ИЗУЧЕНИЕ УРОВНЯ ИМПЕДАНСА ПРИ ЛЕЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПОЛУЧИВШЕГО ОЖОГ

### A STUDY OF THE IMPEDANCE IN THE TREATMENT OF A BIOLOGICAL OBJECT RECEIVED A BURN

**S. Yampilov**  
**I. Polyakova**  
**M. Voskresenskaya**  
**A. Zhigzhitov**

*Summary.* in ESSUTM apparatus bioimpedance spectrometry, which determines for a given frequency of the electric current, the resistance of biological tissues. This unit allows you to assess the condition of organs and systems of biological objects under various external influences (burn, anesthesia, drugs, etc.). Different from all existing devices in that it allows to simultaneously obtain the data of the impedance at different frequencies of the probing current.

The study aims at examining the level of impedance in the treatment of a biological object received a burn unit bioimpedance spectrometry.

It was studied the level of impedance in the treatment of a biological object received a burn unit bioimpedance spectrometry.

Observed in rats one day after the burn of esophagus pericardial inflammation, swelling, tissue necrosis as a consequence of the sharp decrease in impedance at different frequencies. Data analysis of rats under the action of the drug (0.5% solution of calendula in sea buckthorn oil) showed that with increasing exposure time of the drug is observed a slight increase in the magnitude of the impedance. That is, the drug begins to have a positive therapeutic effect on a biological object. With the increase in the frequency of the probing current on the biological object impedance decreases.

*Keywords:* apparatus, electric current, resistance of biological tissues, the frequency of the probe current, bio-impedance spectrometry, generator, power supply.

**Ямпиров Сэнгэ Самбуевич**  
Д.т.н., профессор, Восточно-Сибирский  
государственный университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ  
yampilovss@mail.ru

**Полякова Лариса Евгеньевна**  
К.т.н., доцент, Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления, г. Улан-Удэ  
**Воскресенская Марина Леонидовна**  
Аспирант, Бурятский научный центр СО РАН,  
г. Улан-Удэ

**Жигжитов Алексей Олегович**  
Преподаватель, Восточно-Сибирский  
государственный университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ

*Аннотация.* в ВСГУТУ разработан аппарат биоимпедансной спектрометрии, который определяет для заданных частот электрического тока, сопротивление биологических тканей. Данный аппарат позволяет оценить состояние органов и систем биологических объектов при различных внешних воздействиях (ожог, наркоз, лекарственных веществ и др.). Отличается от всех существующих аппаратов тем, что позволяет одновременно получить данные импеданса при разных частотах зондирующего тока.

Цель исследования — изучения уровня импеданса при лечении биологического объекта получившего ожог аппаратом биоимпедансной спектрометрии.

Был изучен уровень импеданса при лечении биологического объекта получившего ожог аппаратом биоимпедансной спектрометрии.

Наблюдается у крыс через сутки после ожога пищевода экссудативное воспаление, отек, тканевый некроз как следствие резкое уменьшение импеданса на разных частотах. Анализ данных крысы под действием лекарственного препарата (0,5% раствора календулы в облепиховом масле) показал, что с увеличением времени воздействия лекарственного препарата наблюдается некоторое увеличение величины импеданса. То есть лекарственный препарат начинает благоприятно оказывать лечебное воздействие на биологический объект. С увеличением частоты зондирующего тока на биологический объект импеданс уменьшается.

*Ключевые слова:* аппарат, электрический ток, сопротивление биологических тканей, частота зондирующего тока, биоимпедансная спектрометрия, генератор, блок питания.

### Введение

**А**нализ методов диагностики биологических тканей (магнитно-резонансной томографии, ультразвукового сканирования, радионуклеидной диагностики и др.), с точки зрения их использования для постоянного контроля, показывает, что большая

часть методов, даже высокотехнологичных, могут быть использованы только для периодического наблюдения за процессами в тканях в силу следующих причин: высокая лучевая нагрузка; сложность и стоимость оборудования; длительность и стоимость процедур обследования. В тоже время, для оптимизации процессов лечения внутренних органов, воспалительных и ряда других заболе-

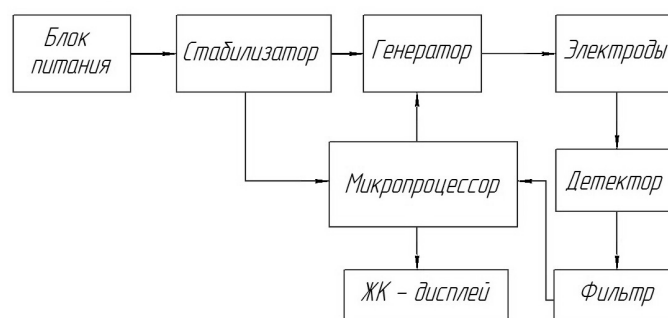


Рис. 1. Структурная схема аппарата биоимпедансной спектрометрии

ваний в мягких тканях, необходим постоянный контроль за изменениями, происходящими в этих тканях, соблюдая при этом требование безвредности, неинвазивности и простоты измерительных процедур. Указанным требованиям в значительной мере отвечает электроимпедансная спектрометрия, основанная на измерении и анализе электрического импеданса живой ткани при изменении ее физиологического состояния, при патологических состояниях, при действии повреждающих факторов (ожог, обморожение и др.). Известны устройства биоимпедансной спектрометрии, которые определяют для заданной частоты зондирующего тока — сопротивление биологических тканей. При этом данные аппараты позволяют получить информацию о состоянии биологических тканей и о водном балансе организма человека. Основными блоками данных устройств являются источник переменного тока, блок коммутации, токовые и потенциальные электроды и блок обработки результатов в виде АЦП [1, 2, 3].

Недостатками указанных устройств являются использование одной частоты зондирующего тока, разделение электродов на токовые и потенциальные, их малое количество, которые ограничивают количество информационных показателей, снимаемых с биологического объекта, обеспечивают невысокую точность измерений и не позволяют широко использовать данные устройства для проведения биоимпедансной спектрометрии.

Аппараты биоимпедансной спектрометрии используют для количественной оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях [4,5,6], а также для выявления изменений в биологических тканях, вызываемыми различными внешними воздействиями (ожог, обморожение и другими лекарственными препаратами).

Суммарное сопротивление переменному электрическому току биологической ткани называется полным импедансом  $Z$ . Его активная составляющая  $R$  связана в первую очередь с проводимостью внутренних жидких

сред, являющихся электролитами. Различные процессы в биологических тканях, сопровождающиеся необратимыми потерями энергии, также дают вклад в величину активной составляющей импеданса. Реактивная компонента  $X$  определяется емкостными свойствами биологической ткани, в частности, емкостью биологических мембран. Т.е. биологические ткани способны накапливать электрические заряды при прохождении через них электрического тока. Кроме того, в емкостную составляющую дает вклад и область контакта электродов с биологическими тканями.

Величина полного импеданса определяется выражением:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}. \quad (1)$$

#### Основная часть

В ВСГУТУ разработан аппарат для проведения биоимпедансной спектрометрии, который состоит из следующих блоков — блока питания, стабилизатора, генератора, микроконтроллера, детектора, фильтра, электродов и ЖК-дисплея, который отличается от всех существующих тем, что позволяет одновременно получить данные импеданса при трех разных частотах зондирующего тока.

Блок питания выносной, обеспечивает питание схемы постоянным нестабилизированным напряжением 12 В. Мощность блока 6 Вт. Питающее напряжение поступает на стабилизатора, собранный на двух аналоговых микросхем LM3175 и LM7805. Первая представляет собой регулируемый стабилизатор, построенный на выходном напряжении 10 В. Вторая — это нерегулируемый стабилизатор с выходным напряжением 5 В. Стабилизированное напряжение 10 В. питает повторитель генератора, а все остальные блоки используют напряжение 5В.

На рисунке 1 представлена структурная схема аппарата биоимпедансной спектрометрии.

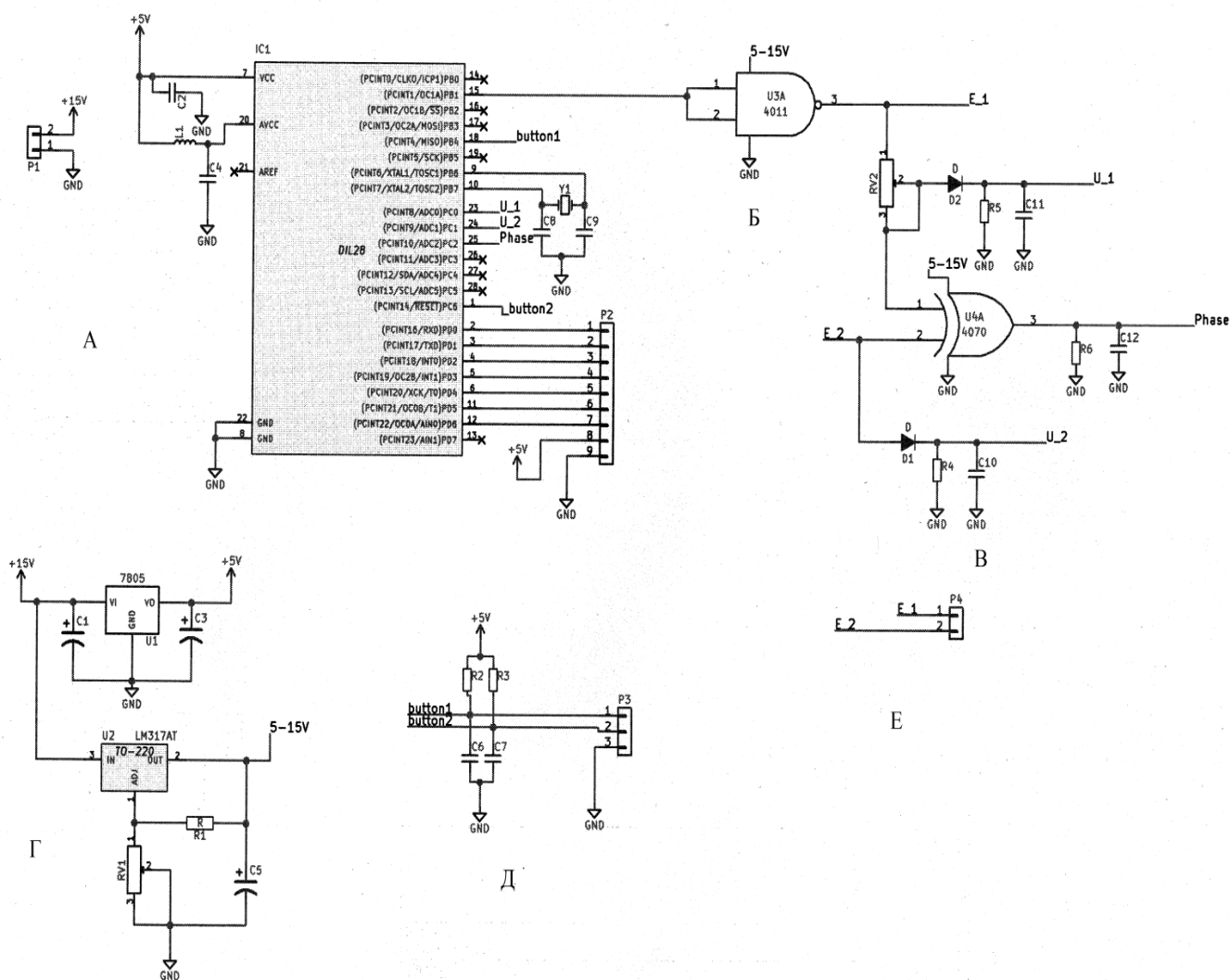


Рисунок 2.— Электрическая принципиальная схема аппарата для проведения биоимпедансной спектрометрии  
А — микроконтроллер; Б — усилитель; В — блок обработки информации; Г — стабилизатор напряжения; Д — фильтр; Е — электроды.

Генератор состоит из задающего генератора, функции которого выполняет микроконтроллер и усилители, собранного на микросхеме 4011. Объединив входы элемента получим инвертор, усиливающий входной меандр до уровня 10В. Выходное напряжение генератора поступает на активный электрод и на измерительную схему (D2, R5, C11), преобразует импульсное напряжение в постоянное и позволяет микроконтроллеру оценивать уровень выдаваемого на электроды сигнала.

Электроды прикладывают к биологическому объекту, через него протекает электрический ток и на измерительном электроде появляется потенциал.

Напряжение измерительного электрода поступает на схему измерения сдвига фаз и детектор (D1, R4, C10). Детектор вместе с фильтром преобразуют импульсное напряжение в постоянное для оценки его микроконтроллером.

На рисунке 2 представлена электрическая принципиальная схема аппарата для проведения биоимпедансной спектрометрии.

Схема измерения сдвига фаз выполнена на микросхеме 4070, который, выдает импульсы шириной равной величине сдвига фаз. Далее импульсы преобразуются в постоянное напряжение (R6, C12).

Микроконтроллер выполняет несколько функций. Во — первых, генерирует последовательности импульсов частотой 50, 100 и 200 кГц со скважностью 50%. Во — вторых, используя встроенный аналого-цифровой преобразователь, оцифровывает значения напряжения на активном, измерительном электроде ми со схем измерения сдвига фаз. В — третьих, на основе полученных данных вычисляет значение импеданса в условных единицах и выводит на ЖК-дисплей.

Для изучения внешних факторов (ожога и действие лекарственного препарата) на биологический объект с помощью аппарата биоимпедансной спектрометрии были проведены опыты на биологическом объекте (лабораторная крыса рода «Вистар»). Последовательность проведения опытов: в экспериментах использовали всего 4 мыши; взвесили —  $150^{+6}$  гр; с помощью шприца вводили в мышечную ткань крыс общий наркоз (тиопентал натрия (**Thiopentalum natrium**)) 45 мг/кг; после того как крысы погрузились в сон.

Вводили внутрипищеводно 20–30–40% раствор уксусной кислоты в объеме 0,5 мл для получения ожога. А затем, включали аппарат и проверяли его готовность к работе; по истечению 5 минут вводили в пищевод электроды; прилаживали электроды к ожогу; через 15 секунд снимали показания аппарата в омах.; затем процедуру повторили в пяти повторностях. Аппарат биоимпедансной спектрометрии измеряет полное сопротивление объекта (импеданс объекта) который зависит как от свойств самого объекта (электрического сопротивления  $R$ , емкости  $C$  и индуктивности  $L$  объекта), так и от частоты переменного тока. Аппарат измеряет величину электрического импеданса  $Z$  биоткани (формула 1) на участке исследования между активным электродом и пассивным электродом в диапазоне подаваемых на исследуемый участок биологического объекта частот от 50 кГц до 200 кГц.

Так, измерение импеданса пищевода до ожога биологических объектов, показал, что он составляет  $47^{+2}$  ом при разных частотах зондирующего тока.

После того, как все данные были сняты внутрипищеводно вводили 0,5% раствора календулы в облепиховом масле первой крысе, а второй, третьей и четвертой вводили облепиховое масло. Объем вводимого препарата составлял 1,2 мл. Вывод животных из эксперимента выполнили на 14 сутки. Результаты экспериментов представлены в таблице 1

В зависимости от степени поражения ожогом биологических тканей пищевода наблюдается экссудативное воспаление, отек, тканевый некроз как следствие понижение импеданса. При этом через сутки после ожога



Рис. 3. Исследование крысы с ожогом при лечении

крыс импеданс резко падает на разных частотах, больше чем в два раза. Но под действием лекарственного препарата (0,5% раствора календулы в облепиховом масле) у первой крысы начиная с 3 суток импеданс начинает медленно увеличиваться на разных частотах. И на 14 —ые сутки у первой крысы при частоте 50 кГц увеличивается до 24 ом. Это позволяет сделать вывод о том, что действие лекарственного препарата начинает благоприятно воздействовать на пищевод первой крысы. А лечебное воздействие облепихового масла на второй крысе только на 14 сутки начинает проявляться, на третьей и четвертой животных не оказывает лечебного воздействия. С увеличением частоты зондирующего тока на биологический объект импеданс уменьшается.

### Заключение

Разработан аппарат для проведения биоимпедансной спектрометрии биологических объектов, который позволяет одновременно получить данные импеданса при разных частотах зондирующего тока. Были проведены опыты на биологическом объекте (крыса) при воздействии ожога пищевода и лечение лекарственными препаратами. Наблюдается у крыс через сутки по-

Таблица 1. Уровень импеданса при лечении биологического объекта получившего ожог

№	Частота зондир. тока, кГц	Импеданс, ом				
		До ожога	Через 1 сутки	Через 3 суток	Через 7 суток	Через 14 суток
1	50	47	20	22	23	24
	100	47	19	20	20	21
	200	47	18	18	19	19
2	50	47	20	19	17	22
	100	46	17	19	17	18
	200	46	17	18	16	18
3	50	48	21	16	20	21
	100	47	19	16	19	19
	200	46	18	16	18	18
4	50	47	21	18	20	20
	100	46	19	17	18	19
	200	45	18	17	18	18

сле ожога пищевода экссудативное воспаление, отек, тканевый некроз как следствие резкое уменьшение импеданса на разных частотах. Анализ данных крысы под действием лекарственного препарата (0,5% раствора календулы в облепиховом масле) показал, что с увеличением времени воздействия лекарственного

препарата наблюдается некоторое увеличение величины импеданса. То есть лекарственный препарат начинает благоприятно оказывать лечебное воздействие на биологический объект. С увеличением частоты зондирующего тока на биологический объект импеданс уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповалов В.В., Саввин В. В. Способ определения электрических сопротивлений внутренних тканей участка тела биологического объекта и реанализатор. Патент РФ № 2470580. 27.12.2012 г.
2. Иванов В.Б. и др. Способ обнаружения новообразований в молочной железе и маммограф. Патент РФ № 2578180. 20.09. 2014 г.
3. Устюжанин В.А., Епифанцев В. В., Ишков А. А. Устройство для проведения импедансной спектрометрии биологических объектов Патент на полезную модель РФ. № 100894. 20.06. 2010 г.
4. Ямпиллов С.С., Галсанов Б. Р., Потемкина Т. Ф. Разработка устройства биоимпедансной диагностики. Материалы международной научно-практической конференции. «Проблемы динамики и прочности современных машин». -Вып.1. Улан-Удэ. —2016. С. —140–145.
5. Московец О. Н. Оценка состояния тканей падонта методом биоимпедансной спектрометрии / О. Н. Московец, Д. В. Николаев //Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: сб.тр. седьмой научн-практ.конф., 23 марта 2005 г. М.,—2005.-С.67–69.
6. Устюжанин В.А. и др. Электроимпедансная диагностика биологических тканей / В. А. Устюжанин, В. В. Епифанцев, А. А. Ишков А. А. // Чита. Изд.во ЗабГУ,—2013.—с.122.

© Ямпиллов Сэнгэ Самбуевич ( yampilovss@mail.ru ), Полякова Лариса Евгеньевна,  
Воскресенская Марина Леонидовна, Жигжитов Алексей Олегович.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»