

УДК 612.014, 615.84, 621.3.012

БИОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Бакусов Л.М., Жернаков С.В., Насыров Р.В., Симонов А.Б.

*ФГБОУ ВПО «Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет»,
Уфа, e-mail: kateha007@bk.ru*

В статье исследуются свойства и характеристики биогенных источников электрической энергии. Исследуется частный случай биогенных источников, полученный использованием пар электродов с разным электрохимическим потенциалом, накладываемых на поверхность тела и называемых эписоматические источники электрической энергии. Эти источники исследованы с целью построения их вольт-амперных характеристик. Исследования показали, что эписоматические источники электрической энергии можно представить в виде стандартной модели, содержащей источник ЭДС и внутреннее сопротивление. Установлено, что внутреннее сопротивление биогенного источника ЭДС в общем случае имеет нелинейный характер. Также установлено, что биогенные источники являются микромощными источниками и могут служить источниками электроэнергии для питания микроэлектронных устройств, источниками информации о состоянии биообъектов, а также источниками дозированного электрического воздействия на организм.

Ключевые слова: биогенные источники электрической энергии (БИЭЭ или БИ), эписоматические источники электрической энергии (ЭИЭЭ).

BIOGEN ELECTRIC SOURCES AND THEIR APPLICATION

Bakusov L.M., Zhernakov S.V., Nasyrov R.V., Simonov A.B.

Ufa State Aviation Techn, Ufa, e-mail: kateha007@bk.ru

The article investigates the properties and characteristics of biogenic sources of electrical energy. Studied a special case of biogenic sources obtained by the use of pairs of electrodes with different electrochemical potential is applied to the surface of the body, and called pismatiski sources of electrical energy. These sources are investigated with the aim of building their apparent characteristics. Studies have shown that pismatiski sources of electrical energy can be represented in the form of the standard model containing a source of EMF and internal resistance. It is established that the internal resistance of biogenic source of EMF in the General case is non-linear. Also found that biogenic sources are micro-power sources and can be used as power sources for power supply of microelectronic devices, sources of information about the condition of biological objects, as well as sources dosed electrical effects on the body.

Keywords: Biogen electric sources (BES), episomatic electric sources (EES).

Биогенными будем называть источники электрической энергии (БИЭЭ или, для краткости, БИ), которые связаны с жизнедеятельностью организма (растительного или животного). Их можно разделить на два класса: естественные и искусственные. К естественным источникам относятся, например, электрические органы рыб. Искусственные можно создавать разными способами, например, вводя электроды в естественные отверстия тела или инвазивно (эндосоматический источник), а также накладывая электроды на поверхность тела. Последний метод дает источник, который можно называть эписоматическим. В литературе эписоматическим источником электрической энергии (ЭИЭЭ) называют [3] систему расположенных на поверхности биообъекта электродов, выполненных из материалов с различным электрохимическим потенциалом. В данной работе описывается исследование электрических свойств ЭИЭЭ.

Основной закономерностью, определяющей функциональные характеристики такого источника электрической энергии, является его вольтамперная характеристика

(ВАХ), определяемая ЭДС и внутренним сопротивлением источника.

В отличие от стандартных источников, ЭИЭЭ имеет ряд особенностей, требующих исследования.

Предварительный анализ показывает, что к этим особенностям относятся:

- Зависимость внутреннего сопротивления источника от субстрата, образующего биообъект, его физиологических, психологических и других характеристик.
- Зависимость ЭДС и внутреннего сопротивления источника от расположения электродов на биообъекте.
- Зависимость ЭДС и токов от процессов в биообъекте.

Для исследования закономерностей поведения эписоматического источника электрической энергии в данной работе предлагается экспериментальная база, а также разрабатываются элементы методики проведения измерительных процедур.

Постановка задачи исследования

Основной задачей данной работы является получение ВАХ ЭИЭЭ. Вместе с тем,

надо учитывать характерные особенности элементов источника, которые могут повлиять на интерпретацию и достоверность результатов.

Как известно [1], электроды, образующие ЭИЭЭ, электрохимически неоднородны. Неоднородными являются не только электроды, но и тело биообъекта, рассматриваемое как межэлектродная среда.

Межэлектродная среда состоит из нескольких взаимосвязанных структур, среди которых наибольший вклад в электрические свойства вносит кожный покров [1]. Все, что находится под ним, может в первом приближении считаться слабым электролитом, хотя эта среда является анизотропной и требует специального исследования. Биологическое строение кожного покрова соответствует многослойной структуре, причем характеристики каждого слоя различны. Помимо слоев кожи и ткани, влияние на все характеристики оказывают сосуды и потовые железы. Таким образом, кожный покров (межэлектродную среду) можно представить как многофазную и неоднородную среду. Неоднородность её электрических свойств (сопротивления и проводимости кожи) были описаны в работах [1, 2] и др. Это может быть объяснено несколькими факторами:

- Влиянием потовых желез (при секреции из их пор выходит вода с небольшим количеством примеси, за счет чего проводимость очень сильно возрастает);

- Наличием активных точек (небольшие зоны покрова, имеющие аномальную активность, так называемые акупунктурные точки. Отличная от остального покрова, активность может быть объяснена влиянием работы внутренних органов, сосредоточением биологических каналов разветвления сосудов, вен, артерий);

- Наличием артефактов и помех измерений;

- Влиянием психофизиологического состояния (Кожно-гальванические реакции).

Следующей структурой, определяющей все эффекты, наблюдаемые на кожном покрове, можно считать совокупность клеток и интерстиция (межклеточной среды), ответственных за обмен веществ. Для краткости назовём её «Метаболическим котлом» (МК) [8]. Учитывая специфичность процессов в МК, которые протекают постоянно, и индивидуальные особенности каждого биообъекта, можно полагать, что воздействие этих процессов на электрохимические свойства среды будет различным, при разном расположении электродов.

Помимо указанных составляющих, влияние на параметры ЭИЭЭ может оказать и

транспортная система биообъекта, в которую включены: сеть сосудов, вен, артерий, лимфатическая система, система движения ликвора, а также помехи и шумы. Обычно в медицине шумы организма, вызванные процессами, не имеющими прямого отношения к определённым параметрам или характеристикам, называют артефактами. В эти процессы могут быть вовлечены внутренние органы, входящие в сферу действия соответствующих функциональных систем (ФС) организма, объединённых по иерархическому принципу. Помимо воздействия внутренних органов, следует отметить внешние психические и физические воздействия, в результате которых возникают электромагнитные эффекты. Эти эффекты также могут быть связаны с наличием особой восприимчивости организма. В целом все это может влиять на результаты измерения и должно быть учтено. Используя некоторые математические модели и методы, можно выделить необходимую информативную составляющую электрического процесса в ЭИЭЭ.

Методы исследования

Как было сказано ранее, ЭИЭЭ возникает при установке на поверхности тела двух и более электродов. Вольтамперная характеристика (ВАХ) такого источника зависит от многих факторов, среди которых важнейшим является набор свойств электродов. Поэтому необходимо учитывать все свойства электродов самих по себе. Наиболее распространенным типом электродов для съема биопотенциалов являются металлические электроды. Переходное сопротивление между чистой сухой кожей и электродом может достигать сотен килоОм (кОм). С целью уменьшения этого сопротивления при использовании металлических электродов применяют прокладки, смоченные различными растворами, которые помещают между электродом и кожей, или специальные токопроводящие пасты и гели. Это позволяет уменьшить переходное сопротивление до десятков кОм. Переходное сопротивление уменьшается также при увеличении площади контакта электрод-кожа. Однако при значительном увеличении размеров электрода возрастает погрешность усреднения, а, следовательно, уменьшается, например, диагностическая ценность измеряемого биопотенциала как сигнала о локальных изменениях электрической активности, используемых в рефлексотерапии.

Применяемые в клинической практике электроды весьма разнообразны по конструкции в зависимости от функционального назначения, места установки, особенностей электрофизиологического исследования или эксперимента и других факторов. Наиболее распространены накожные электроды, ввиду простоты их применения и отсутствия травмирующего действия. В качестве материалов для изготовления металлических накожных электродов применяются золото, серебро, платина, палладий, нержавеющая сталь, иридиевые сплавы и другие сплавы и соединения, полученные прессованием, электрохимическим способом и т.д. Различны способы обработки поверх-

ности прилегающего к коже электрода. Выбор материала и способа обработки поверхности существенно влияет на величину контактного сопротивления (кожно-электродного импеданса), уровень шума и величину артефактов, а также на интенсивность потенциалов поляризации.

В последнее время всё шире применяются электроды из хлорированного серебра, которые отличаются слабой поляризацией в процессе эксплуатации [4]. Кроме того, важными физическими аспектами, влияющими на воспроизводимость результатов, являются механическое давление, температура и влажность границы среды кожа-электрод. Поэтому нужно обеспечить относительное постоянство этих параметров. Для поддержания влажности, как уже говорилось, можно наносить гели, жидкость или применять прокладки. Для обеспечения необходимого давления можно сконструировать прижимной электрод, который обеспечит необходимое усилие прижатия. Температура электродов должна быть близкой к главной температуре кожного покрова, если это условие не выполняется, то следует учесть температурные изменения свойств электрода и подкожной среды.

Немаловажно обеспечить выбор таких электродов, которые бы не были токсичными. Если же токсичность возможна, то необходимо определить пороговое время экспозиции, обеспечивающее предельно допустимые концентрации вредных веществ на поверхности кожи.

Результаты экспериментального исследования

Для постановки эксперимента использовалась стандартная схема, включающая микроамперметр, вольтметр, магазин сопротивлений и биогенный источник энергии, который был образован на теле человека.

Предложенный опыт был реализован на паре медь-цинк. Для обеспечения воспроизводимости данных между электродами и пальцами испытуемого (М) в возрасте 65 лет была помещена жидкость (вода). Полученные графики ВАХ представлены на рис. 1.

Как видно из графиков, при малых токах (до 12 мкА) напряжение имеет сравнительно крутой график, с явной нелинейностью внутреннего сопротивления ЭИЭЭ.

На более молодых испытуемых в возрасте 20-30 лет А и С зависимость напряжения от тока имеет другой вид (рис. 2). Очевидно, что здесь напряжение почти линейно падает с нарастанием тока.

Предварительный анализ полученных результатов при более детальном исследовании показал, что у ВАХ источников в общем случае имеется две области – область малых токов, в которой напряжение значительно и представляет собой быстро падающую зависимость, и область относительно больших токов, где напряжение имеет похожую на линейную зависимость от токов.

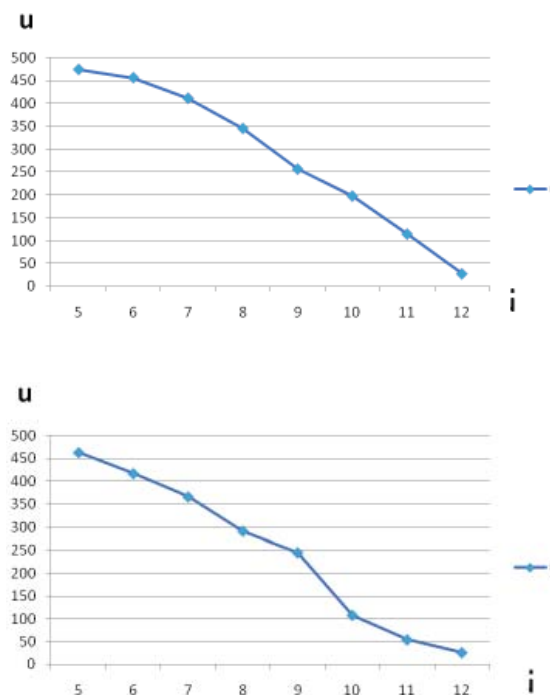


Рис. 1. Типичные графики ВАХ первой группы обследуемых

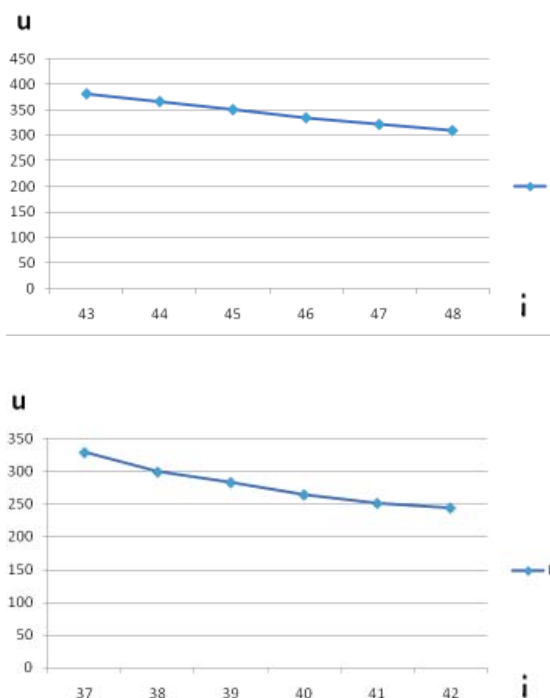


Рис. 2. Типичные графики ВАХ второй группы обследуемых

На рис. 3 представлены графики напряжения испытуемых М и А при более детальном анализе ВАХ их биогенных источников энергии.

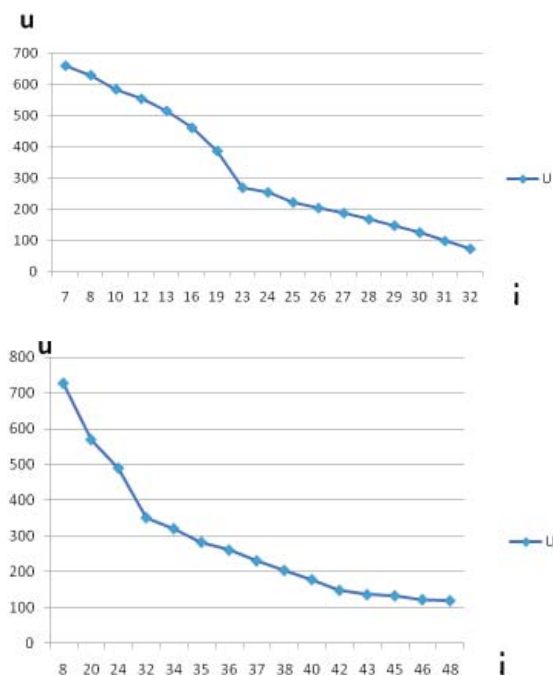


Рис. 3. ВАХ испытуемых при детальном анализе

Заключение

В данной работе исследованы БИ, которые представляют собой новый вид источников электрической энергии, основанных на использовании электрофизиологических процессов живых организмов.

Отличительными особенностями БИ являются их способности выступать в качестве не только генераторов электрической энергии, но и источников информации о состоянии биообъекта, а также средствами лечебного электрофизиологического воздействия на биообъект.

Приведенные результаты исследования носят предварительный характер и нуждаются в статистической проверке. Однако полученных результатов достаточно чтобы утверждать, что тренд зависимостей соответствует стандартной модели в виде источника ЭДС с последовательно включенным нелинейным внутренним сопротивлением, зависящим от состояния биообъекта, что подтверждает наличие описанных выше особенностей таких источников.

Исследование показало, что БИ является микромощными источниками, при этом:

- Средний ток = 20-30 мкА
- Среднее напряжение = 300-400 мВ
- Средняя мощность = 6-12 мкВт

Список литературы

1. Гусев В.Г. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 597с.

2. Лесны И. Клинические методы исследования в детской неврологии / пер. с чешск. – М.: Медицина, 1987. – 160с.

3. Марков Ю.В. Рефлексотерапия в современной медицине. – СПб.: Наука, 1992. – 182 с.

4. Орлов Ю.Н. Электроды для измерения биоэлектрических потенциалов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2006. – 224 с.

5. Бакусов Л.М. Датчик мониторинжной системы / Л.М. Бакусов, А.В. Савельев, И.А. Чертов. (РОСПАТЕНТ) RU N2066973 C1 6 A 61 B5/04 29.11.1993.

6. Бакусов Л.М. Способ Бакусова Л.М. дистанционного мониторинга физиологических сигналов / Л.М. Бакусов, А.В. Савельев. (РОСПАТЕНТ) RU N2189172 C2 7 A61 B 5/04 07.10.1996.

7. Бакусов Л.М. Способ Бакусова Л.М. мониторинга физиологических сигналов в жидких средах / Л.М. Бакусов, А.В. Савельев, М.В. Шестаков. (РОСПАТЕНТ) RU N2177246 C2 7 A61 B 5/04 07.10.1996.

8. Чеснокова С.А. Атлас по нормальной физиологии: учебное пособие для студ. мед. вузов / С.А. Чеснокова, С.А. Шастун / под ред. Н.А. Агаджаняна. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. – 496 с.

References

1. Gusev V.G. Poluchenie informacii o parametrah b kharakteristikakh organizma I fizicheskie metody vozdeystviya na nego. [Obtaining information about the parameters and characteristics of the body and physical methods of influence on it] //Study book, M.:Mashinostroenie, 2004.-597 p.

2. Lesny I. Klinicheskie metody issledovaniya v detskoj neurologii [Clinical research methods in children's neurology] //M:Medicine, 1987.-160 p.

3. Markov Yu.V. Reflexoterapiya v sovremennoy medicine [Reflex therapy in modern medicine]//SPb.: Nauka, 1992.-182 p.

4. Orlov Yu.N. Elektrody dlya izmereniya bioelektricheskikh potencialov [Electrodes for the measurement of bioelectric potentials]//M.: Bauman MSTU, 2006.– 224 p.

5. Bakusov L.M. Datchik monitornoy systemy [Sensor monitor system]/ L.M. Bakusov, A.V.Saveliev, I.A.Chertov. (ROSPATENT) RU N2066973 C1 6 A 61 B5/04 29.11.1993.

6. Bakusov L.M. Sposob Bakusova L.M. distancionnogo monitirngi fiziologicheskikh signalov [A method of Bakusov L.M. to remote monitoring of physiological signals]/ L.M. Bakusov, A.V.Saveliev. (ROSPATENT) RU N2189172 C2 7 A61 B 5/04 07.10.1996.

7. Bakusov L.M. Sposob Bakusova L.M. monitoringa fiziologicheskikh signalov v ghidkikh sredakh.[A method of Bakusov L.M. of monitoring of physiological signals in liquid media]/ L.M. Bakusov, A.V.Saveliev, M.V.Shestakov. (ROSPATENT) RU N2177246 C2 7 A61 B 5/04 07.10.1996.

8. Tchesnokova S.A. Atlas po normalnoy phisiologii: uchebnoe posobie dlya studentov med. vusov. [The Atlas of normal physiology: textbook for medical students]/ S.A.Tchesnokova, S.A.Shastun // N.A.Agadghanyan ed. – M.: LLC « Medical information Agency », 2007. – 496 p.

Рецензенты:

Куликов Г.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированных систем управления» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования РФ, г. Уфа;

Мунасыпов Р.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой мехатронных станочных систем ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Уфа.

Работа поступила в редакцию 29.07.2014.