Оригинальная статья

Устройство для поиска оптимальных параметров обработки переменным магнитным полем биологических объектов методом фликкер-шумовой спектрометрии

Ильченко Г.П., Текуцкая Е.Е.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет»

Поступила в редакцию 24 июня 2017 г., Принята в печать 16 июля 2017 г.

© 2017, Ильченко Г.П., Текуцкая Е.Е.
© 2017, Психосоматические и интегративные исследования

Резюме:
Разработано устройство для поиска оптимальных параметров обработки биологических объектов переменным магнитным полем, путем автоматического исследования зависимостей параметров флуктуаций импеданса (фликкер-шума) биологических жидкостей, полученных из этих биообъектов, от частоты и напряжённости поля.

Ключевые слова: биологические объекты, биологические жидкости, переменное магнитное поле, фликкер-шумовая спектро¬метрия, микроконтроллер.

Библиографическая ссылка: Ильченко Г.П., Текуцкая Е.Е. Устройство для поиска оптимальных параметров обработки переменным магнитным полем биологических объектов методом фликкер-шумовой спектрометрии. Психосоматические и интегративные исследования 2017; 3: 0304.

Original article

Device for searching optimal parameters of alternating magnetic field treatment of biological objects by method of flicker-noise spectroscopy

Ilchenko G.P., Tekutskaya E.E.

State federal-funded educational institution of Higher Education Kuban State University, Krasnodar

Received on 24 Jun 2017, Accepted on 16 Jul 2017

© 2017, Ilchenko G.P., Tekutskaya E.E.
© 2017, Psychosomatic and Integrative Research

Summary:
A device was developed to search for optimal processing parameters of biological objects by alternating magnetic field. It works by method of automatic analysis of how impedance fluctuations (flicker-noise) parameters of biological fluids obtained from the biological objects depend on frequency and field strength.

Keywords: biological objects, biological fluids, alternating magnetic field, flicker-noise spectroscopy, microcontroller.

Cite as Ilchenko G.P., Tekutskaya E.E. Device for searching optimal parameters of alternating magnetic field treatment of biological objects by method of flicker-noise spectroscopy. Psychosomatic and Integrative Research 2017; 3: 0304.

Введение

Известно, что воздействием магнитным полем (МП) на биологические объекты, можно вызвать ускорение некоторых биохимических реакций и тем самым способствовать изменению ряда биохимических, биофизических и физико-химических показателей [1–6].

Для достижения наибольшего биологического эффекта необходимо определять оптимальные параметры магнитного поля, учитывая особенности конкретного объекта, находящегося в конкретных условиях. Поиск оптимальных параметров обычно осуществляется методом многократного повторения воздействия магнитным полем с различными значениями частоты и напряженности на объект и измерения биологического эффекта. Существенным недостатком такого метода являются значительные затраты времени (от нескольких дней до месяца) и трудоемкость.

Зависимости некоторых физических характеристик биологических жидкостей от частоты и напряжённости воздействующего МП имеют максимум, соответствующий максимальному воздействию МП на растворённые в жидкости макромолекулы (ДНК, белки, органические кислоты, полифенолы и др.) [7–10]. Биологический эффект воздействия на биообъект, из которого была получена исследуемая жидкость, будет максимальным при значениях частоты и напряжённости МП, соответствующих этому максимуму.

Методы поиска оптимальных параметров МП основанные на исследовании физических характеристик биологических жидкостей, полученных из биообъектов, позволяют сократить затраты времени до нескольких часов, однако остаются достаточно трудоемкими, так как большинство операций производится вручную и требуют постоянного присутствия исследователя.

В патентах [11, 12] описаны устройства, позволяющие автоматически выполнять измерения физических характеристик биологических жидкостей и обработку их результатов для нахождения оптимальных параметров МП. В качестве физических характеристик выступают коэффициент поглощения в среднем ИК-диапазоне (4000–400 $см^{-1}$) [11] и интенсивность триптофановой флуоресценции [12].

Несмотря на высокую эффективность этих устройств, они имеют общий недостаток — в их состав входят крупногабаритные и дорогостоящие измерительные приборы — ИК-спектрометр или спектрофлуориметр.

В ходе дальнейших исследований, направленных на снижение стоимости и уменьшение габаритов устройства для определения оптимальных параметров МП, была найдена физическая характеристика биологических жидкостей, для измерения которой не требуются крупногабаритные и дорогостоящие измерительные приборы.

В работе [13] ходе исследований были обнаружены флуктуации импеданса биологических жидкостей при протекании через неё слабого постоянного или переменного тока. При одновременном воздействии на биологическую жидкость постоянного и переменного МП наблюдалась зависимость параметров флуктуаций от частоты магнитного поля в диапазоне от 5 Гц до 400 Гц. При обработке биообъектов, из которых получена исследуемая жидкость МП на тех частотах, на которых были обнаружены максимумы и минимумы изменения параметров флуктуаций, была обнаружена корреляция зависимости параметров флуктуаций и величины биологического эффекта воздействия на биообъект магнитного поля от его частоты [13].

Анализ экспериментальных данных, приведенных в данной работе показал, что эти флуктуации представляют собой фликкер-шум, поскольку их спектральная плотность обратно пропорциональна частоте.

Материалы и методы. Для анализа подобных флуктуаций был применен метод фликкер-шумовой спектрометрии, предложенный С.Ф. Тимашевым [14]. Данный метод позволяет разделить упорядоченные и шумовые компоненты сигнала и характеризовать их количественно.

Спектральная плотность фликкер-шума, может быть аппроксимирована следующей функцией [15]:

$$S(f,I) = AI^{\alpha}\frac{1}{f^{\gamma}},$$

где A – постоянный коэффициент, I – величина тока, протекающего через образец, f – частота. Показатель степени α и показатель формы спектра γ определяются свойствами исследуемой жидкости.

В качестве биообъекта, из которого получали исследуемую биологическую жидкость, были выбраны клетки пекарских дрожжей (Saccharomyces cerevisiae). Биологическая жидкость представляла собой водный раствор ДНК, предварительно выделенной из данных клеток по методике подробно описанной в [8]. Концентрация ДНК составляла 30 мкг/мл. Температура раствора контролировалась с точностью 0,2°C и составляла 4°C. Частота МП изменялась с шагом в 0,2 Гц в диапазоне от 1 до 50 Гц, а его напряженность — с шагом в 5 А/м в диапазоне от 5 до 50 А/м. Обработка МП производилась в течение 5 мин при каждом значении частоты и напряженности.

Метод поиска оптимальных параметров МП состоит в измерении показателей степени α и формы спектра γ фликкер-шума после каждого цикла обработки исследуемой жидкости при различных значениях напряженности и частоты, с целью выявления их аномальных изменений и соответствующих таким изменениям параметров МП. На основе данного метода разработано устройство, обеспечивающее автоматизацию измерений и обработку их результатов. Структурная схема предложенного устройства представлена на рисунке 1.

Устройство для поиска оптимальных параметров обработки биологических объектов переменным магнитным полем условно можно разделить на две части. Первая – это экранированная камера 5 из ферромагнитного материала, в которой расположены контактная кондуктометрическая ячейка 2, в которую наливается исследуемая биологическая жидкость; катушка 4, предназначенная для обработки раствора переменным магнитным полем; катушка 1, предназначенная для обработки постоянным магнитным полем либо для компенсации остаточного магнитного поля Земли в камере; и датчики температуры 3.

Вторая часть – собственно само устройство, блоки с 6-го по 18-й кроме 13-го, расположенные в одном корпусе. Рассмотрим её более подробно. За обработку переменным магнитным полем отвечают блоки 9, 11, 13, 14, 16. В их составе: низкочастотный синтезатор частоты 16, генерирующий синусоидальный сигнал с частотой от 0,01 до 400 Гц, который далее проходит через

© 2017, LLC Science and Innovations, Saratov, Russia

регулируемый аттенюатор 14, позволяющий задавать амплитуду напряжения на катушке и, следовательно, напряженность магнитного поля. Управление синтезатором и аттенюатором осуществляет микроконтроллер 15.

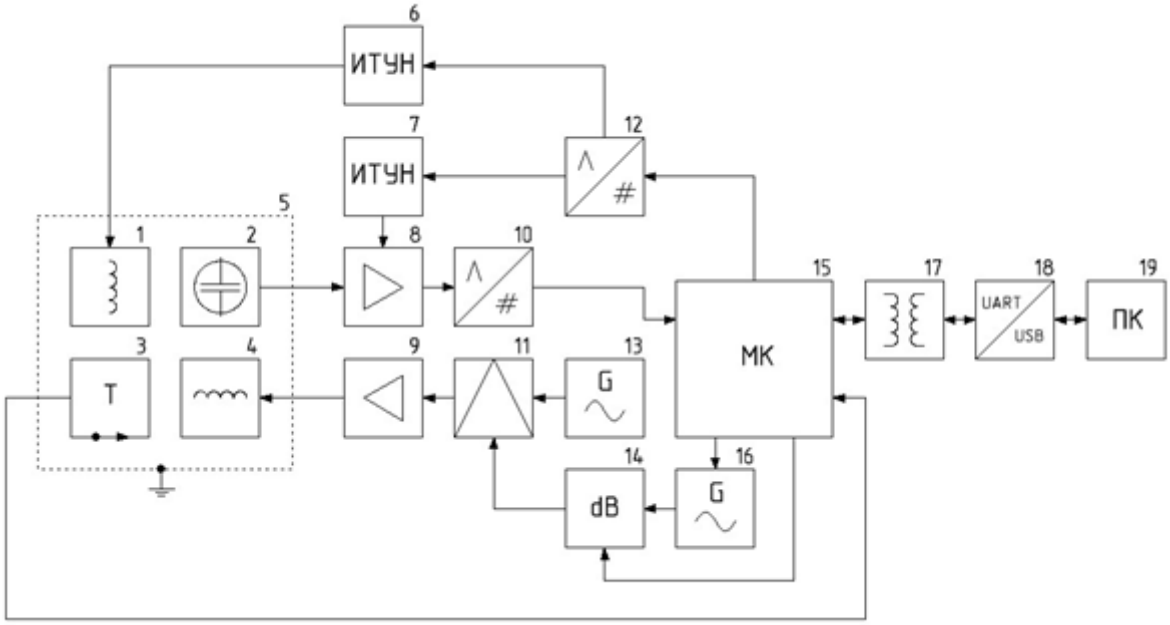

Рисунок 1. Структурная схема устройства для исследования биологических жидкостей в переменном магнитном поле методом фликкер-шумовой спектрометрии

Далее с выхода аттенюатора переменное напряжение поступает на амплитудный модулятор 11. Необходимо отметить, что прибор позволяет проводить обработку как переменным магнитным полем постоянной амплитуды, так и амплитудно-модулированным. В последнем случае, к устройству подключается внешний генератор несущей частоты 13. Внутренний синтезатор при этом выступает в роли генератора модулирующего сигнала. Далее сигнал поступает на усилитель мощности 9, подключаемый непосредственно к катушке 4. За создание постоянного магнитного поля отвечают блоки 6 и 12. Первый представляет собой источник тока, управляемый напряжением, второй цифрово-аналоговый преобразователь управляемый также микроконтроллером. За снятие шумового сигнала отвечают блоки 7, 8, 10. Источник тока, управляемый напряжением 7 создает в ячейке ток определенной величины. Переменная часть падающего на ячейке напряжения усиливается малошумящим усилителем 8 и подвергается аналогово-цифровому преобразованию с помощью АЦП 10. Цифровые данные с АЦП поступают на микроконтроллер, который, в свою очередь, отправляет их на персональный компьютер 19. Отправка данных, а также получение параметров частоты и амплитуды и других настроек осуществляется через изолированный последовательный интерфейс, что исключает проникновение помех.

Для управления устройством и обработки принятых данных разработано несколько программ для персонального компьютера. Позволяющих, в частности, провести спектральный анализ шумового сигнала, путем аппроксимации вычислить показатель формы спектра фликкер-шума, сравнить параметры спектров нескольких сигналов, проверить их корреляционную связь.

Результаты и их обсуждение. Работа устройства осуществляется следующим образом. Предварительно получают биологическую жидкость, которая может представлять собой водный экстракт из пробы объекта. В кондуктометрическую ячейку наливают жидкость и запускают на ПК основную программу — программу поиска оптимальных параметров МП, которая вначале выполняет измерение температуры биологической жидкости с помощью датчика 3, а затем с помощью вспомогательной программы — регистрацию спектра фликкер-шума при отсутствии МП.

Далее основная программа устанавливает начальные значения частоты и напряженности МП, подает напряжение на излучатель, создающий магнитное поле, воздействующее на исследуемую жидкость, и при данных параметрах поля проводится обработка в течение заданного интервала времени, затем снимается спектр фликкер-шума.

Затем частота МП изменяется с установленным шагом в заданном диапазоне. После каждого изменения частоты МП и последующей обработки жидкости снимается ее ИК-спектр поглощения и делается пауза в течение 30 с. Таким образом, формируется семейство спектров фликкер-шума при различных значениях частоты МП. Далее с заданным шагом устанавливается новое значение напряженности МП и снимается новое семейство спектров фликкер-шума при изменении частоты МП в заданном диапазоне.

После этого вспомогательная программа анализирует снятые семейства спектров и строит семейство зависимостей показателей степени α и формы спектра γ фликкер-шума от частоты воздействовавшего МП при различных значениях напряженности и находятся значения частоты и напряженности МП, соответствующих максимумам указанных зависимостей.

© 2017, ООО «Наука и инновация», Россия, г. Саратов

В завершение осуществляется воздействие магнитным полем с найденными параметрами на изучаемый биообъект. Для этого биообъект помещается в камере 6 рядом с излучателем 7.

Предварительный эксперимент по поиску оптимальных параметров обработки биологической жидкости переменным МП показал, что наблюдается зависимость показателей степени α и формы спектра γ фликкер-шума от частоты и напряженности воздействовавшего МП. Однако на воспроизводимость результата существенным образом влияет величина постоянного тока, протекающего через кондуктометрическую ячейку, а также концентрация водного раствора ДНК.

Заключение. В ходе проведенных исследований было разработано устройство для поиска оптимальных параметров обработки биологических объектов переменным магнитным полем, путем автоматического исследования зависимостей параметров флуктуаций импеданса (фликкер-шума) биологических жидкостей, полученных из этих биообъектов, от частоты и напряжённости поля.

Дальнейшие исследования будут направлены на поиск оптимального режима по постоянному току и концентрации водного раствора ДНК. Планируется проведение эксперимента по воздействию на биообъект, из которого была получена исследуемая жидкость, МП с найденными оптимальными значениями напряженности и частоты, с целью подтверждения эффективности применения предлагаемого устройства.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ р_а № 16-42-230187 «Денатурационные и конформационные переходы природных биополимеров при действии переменного магнитного поля».

Список литературы

1. Барышев М.Г. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы / М.Г. Барышев, Н.С. Васильев, Н.Н. Куликова, С.С. Джимак. ЮНЦ РАН. – Ростов-на-Дону, 2008. – 288 с.
2. Барышев М.Г. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы / М.Г. Барышев, Г.И. Касьянов, С.С. Джимак // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – №3. – С.44—48.
3. Барышев М.Г. Исследование влияния магнитообработанной воды на биологические объекты / М.Г. Барышев, С.С. Джимак, А.М. Кадамша // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 2. – С. 69—74.
4. Barishev M.G. The influence of low frequency electromagnetic field (LF EMF) on the agricultural crops seeds germination / M.G. Barishev, S.S. Dzhimak, G.I. Kas'janov, D.I. Shashkov // Journal of Agricultural Science and Technology B (USA). Volume 2, Number 3, – 2012. – P. 385—390.
5. Барышев М.Г. Изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля на процессы свободно¬радикального окисления / М.Г. Барышев, А.А. Басов, Г.Ф. Копытов, Г.П. Ильченко, Д.И. Шашков, О.М. Арцыбашева, С.С. Джимак // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2014. – №1. – С. 12—17.
6. Текуцкая Е.Е. Исследование воздействия электромагнитного излучения низкой частоты на активность лимфоцитов / Е.Е. Текуцкая, Ю.А. Васильев, А.А. Храмцова // Российский иммунологический журнал. – 2014. – Т. 8 (17), – № 3, – С. 466—469
7. Tekutskaya E.E. Study of influence of the low-frequency electromagnetic field on DNA molecules in water solutions / E.E. Tekutskaya, M.G. Barishev // Odessa Astronomical Publications. – 2013. – V. 26, Is. 2, – P. 303—306.
8. Текуцкая Е.Е. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на хемилюминесценцию водных растворов ДНК / Е.Е. Текуцкая, М.Г. Барышев, Г.П. Ильченко // Биофизика. – 2015. – Т. 60. – № 6. – С. 1099—1103.
9. Текуцкая Е.Е. Воздействие электромагнитного излучения низкой частоты на ДНК тестовых клеточных структур / Е.Е. Текуцкая, М.Г. Барышев, В.В. Вишневский // Космические факторы в эволюции биосферы и геосферы. – 2014. – С. 235—241.
10. Текуцкая Е.Е. Влияние внешних факторов на повреждение и репарацию ДНК лимфоцитов периферической крови человека / Е.Е. Текуцкая, Р.В. Василиади, А.А. Храмцова // Российский иммунологический журнал. – 2015. –Т. 9 (18), – № 3 (1) – С. 223—225.
11. Пат. 156339 Россия, МПК7 G01N33/487. Устройство для автоматизированного исследования биологических жидкостей в переменном магнитном поле / Барышев М.Г., Ильченко Г.П., Текуцкая Е.Е., Ломакина Л.В. (Россия); Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южный научный центр Российской академии наук (Россия). – №2014150523/15, заявл. 12.12.2014. опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
12. Пат. 163735 Россия, МПК7 G01N33/487, G01N27/72, G01N21/64. Устройство для исследования биологических жидкостей в переменном магнитном поле / Барышев М.Г., Ильченко Г.П., Текуцкая Е.Е., Ломакина Л.В. (Россия); Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южный научный центр Российской академии наук (Россия). – №2016104939/15, заявл. 15.02.2016. опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.
13. Барышев М.Г. Взаимодействие низкочастотного магнитного поля с растительными объектами: дис … докт. биол. наук: 03.00.16. Российский университет дружбы народов. – М., 2003. – 312 с.
14. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия. Информация в хаотических сигналах / Тимашев С.Ф. – М.: Физматлит. 2007. 248 с.
15. Смирнов Д.Ю. Диагностика полупроводниковых изделий на основе параметров низкочастотного шума: дис … докт. техн. наук: 05.27.01. Воронежский государственный технический университет. – Воронеж, 2013. – 207 с.

Авторы:

Ильченко Геннадий Петрович – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий ФГБОУ ВО КубГУ, г. Краснодар, e-mail: g1ilchenko@mail.ru Почтовый адрес: 350015, г. Краснодар, ул. Хакурате, 12, кв. 40 Тел.: 8-961-510-22-41

Текуцкая Елена Евгеньевна – канд. хим. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий ФГБОУ ВО КубГУ, г. Краснодар, e-mail: tekytska@mail.ru

© 2017, LLC Science and Innovations, Saratov, Russia