

распределения условных вероятностей и других показателей (например, коэффициента корреляции).

4. Заключение

Современное неустойчивое экономическое состояние значительно влияет на поведение субъектов хозяйственной деятельности различных форм собственности, что часто приводит к появлению необоснованных решений, которые как бы базируются на точных расчетах и экспертных выводах. При этом не учитывается фактор материальной заинтересованности того или иного эксперта в результатах экспертизы. Для того чтобы уйти от неправильных решений, ЛПР должен корректировать и адаптировать свои выводы к персональному составу экспертных комиссий и состоянию внешней среды (прежде всего ее экономического аспекта). Предложенные в статье модели, которые базируются на комбинации традиционных методов и теории нейронных сетей, указывают на один из путей к преодолению этой проблемы.

Литература: 1. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. М.: Радио и связь, 1990. 286 с. 2. Матвеевский С.Ф.

Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987. 239 с. 3. Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. К.:Наук. думка, 1991. 152 с. 4. Muller B., Reinhart J. Neural Networks: an introduction. Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 1990. 332 p. 5. Wasserman P.D. Combined backpropagation/ Cauchy machine. Proceedings of the International Neural Network Society. New York, Pergamon Press, 1988. 254-261 p.

Поступила в редколлегию 17.06.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Златкин А.А.

Снитюк Виталий Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных технологий Черкасского государственного технологического университета. Научные интересы: эволюционное моделирование, биокрибернетическая оптимизация, системное проектирование. Адрес: Украина, 18006, Черкассы, бульв. Шевченко, 460, тел. (0472) 435628(р.), 433897(д.)

Рифат Мохаммед Али, магистр компьютерных наук, аспирант Государственной летной академии Украины (г. Кировоград). Научные интересы: проектирование сложных систем, обработка данных в принятии решений. Адрес: Украина, 18006, Черкассы, бульв. Шевченко, 460, тел. (0472) 435628(р.)

УДК 621.039.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОДПороГОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КВЧ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА R-R ИНТЕРВАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

ЛАГУТИН М.Ф., ЗАБОЛОТНИЙ А.А.

Проводится экспериментальное исследование реакции вегетативной нервной системы человека в ответ на низкоинтенсивное (ниже гигиенической нормы) воздействие КВЧ излучения.

1. Общие положения

С появлением в прошлом веке возможности непрерывной генерации волн мм-диапазона началось систематическое изучение их влияния на живые объекты и структурные элементы последних. В первых опытах на биообъектах типа простейших были зафиксированы отклики в поведенческих реакциях [1] и репродуктивной способности этих биообъектов на воздействие КВЧ нетепловой интенсивности (<10 мкВт/см², что соответствует нагреву среды не более чем на $0,1^{\circ}\text{C}$). При интенсивностях КВЧ выше этого порога характер происшедших реакций определялся эффектами нагрева среды биообъекта.

Дальнейшим этапом исследования эффектов КВЧ нетепловой интенсивности стало использование

этих излучений в терапевтической практике для биообъектов типа человека. Был получен ряд клинических результатов, свидетельствующих о нормализующем, восстанавливающем влиянии КВЧ на организм при ранних стадиях патологии того или иного органа или системы. При необратимых изменениях в тканях и органах эффективность КВЧ терапии оказалась низкой либо полностью отсутствовала. Для человека также отмечена зависимость эффектов влияния поля КВЧ от его частоты и пространственная корреляция проявленности действия КВЧ с биологически активными точками на поверхности кожи человека. Особо эффективным оказалось воздействие КВЧ при лечении язвы двенадцатиперстной кишки и желудка, щитовидной железы и др. [2]. Отмечалось ускорение периода реабилитации в постоперационный период. Это говорит о преимущественном влиянии КВЧ на ряд физиологических процессов в организме.

Однако, несмотря на большое многообразие выпускаемых медицинских КВЧ приборов и возможностей их применения, методы, объективно оценивающие эффективность действия КВЧ и дающие прогноз об эффективности КВЧ терапии для конкретного пациента, остаются несовершенными. Это связано с индивидуальными особенностями людей, что диктует необходимость разработки методик, учитывающих физиологические особенности организма человека.

2. Выбор и обоснование метода контроля воздействия КВЧ на человека

Проявленность влияния КВЧ при периферическом воздействии на организм человека является достоверно регистрируемым фактом. В связи с тем, что у человека отсутствуют специальные рецепторы КВЧ, контроль воздействия следует искать на

организменном уровне в интегративных системах регуляции, которыми являются гуморальная система, центральная и вегетативная нервная система. Для организма человека их регуляторная деятельность объединяется, например, в нейрогуморальной системе регуляции, т.е. их деятельность взаимосогласована. Однако исследователями отмечается слабая связь между нейронами вегетативной нервной системы и центральной нервной системы. В связи с этим вегетативную нервную систему можно рассматривать в ряде случаев как автономную [3].

Таким образом, целесообразно изучить реакции организма на воздействие КВЧ в одной из указанных систем. Исследование гуморальной системы затруднено, в то время как исследование электрических сигналов центральной нервной системы разработано и используется достаточно эффективно в виде электроэнцефалографии [4]. Однако на деятельность центральной нервной системы сильно влияет эмоциональное состояние пациента, которое, как правило, может отличаться нестабильностью как от опыта к опыту, так и в течение опыта (например, в виде реакции на действия экспериментатора). В последние десятилетия появилась возможность оценить функциональное состояние вегетативной нервной системы человека по variability сердечного ритма. Вегетативная нервная система управляет деятельностью внутренних органов и систем организма, и делится на симпатическую (отвечает за процессы возбуждения) и парасимпатическую (отвечает за процессы торможения). Очевидно, что реакции вегетативной нервной системы менее подвержены эмоциональному состоянию пациента из-за слабой связи последней с центральной нервной системой. Это влияние будет, как кажется, проявленным через изменения в гуморальной системе, а следовательно, будет проинтегрированным из-за инерционности процессов в последней. Исходным материалом для изучения состояния вегетативной нервной системы является ЭКГ, зарегистрированная в любом отведении, где наблюдается R-зубец наибольшей выраженности.

В дальнейшем из ЭКГ производится выделение R-R интервалов, которые затем подвергаются анализу. Наиболее наглядные результаты дает спектральный анализ R-R интервалов. Стандартная методика оценки состояния вегетативной нервной системы при спектральном анализе R-R интервалов рекомендует производить оценку спектральной мощности в следующих диапазонах частот:

- 1) ультранизкие частоты, ULF – до 0,0033 Гц;
- 2) очень низкие частоты, VLF – 0,0033 – 0,04 Гц;
- 3) низкие частоты, LF – 0,04 – 0,15 Гц;
- 4) высокие частоты, HF - 0,4 или 0,5 Гц [5].

Диапазоны ULF и VLF характеризуют состояние главным образом симпатической системы, остальные описывают одновременно состояние симпатической и парасимпатической систем. Лучшее всего изучены и практически используются две состав-

ляющие части спектра: LF, трактуемая условно как показатель активности симпатической системы, и HF, являющаяся показателем активности парасимпатической системы. Отношение LF/HF расценивается как показатель динамического состояния двух автономных систем и используется в диагностике [6].

3. Результаты опытов по контролю воздействия КВЧ на организм человека по variability сердечного ритма

Проведение таких исследований направлено на то, чтобы выявить возможность регистрации отклика организма на периферическое воздействие КВЧ низкой интенсивности (ниже гигиенического порога) по состоянию вегетативной нервной системы человека, а также чтобы на качественном уровне определить особенности воздействия.

Измерения проводились по следующей методике. В эксперименте участвовало два человека. Один выступал в качестве экспериментатора, другой – в качестве испытуемого. Какого-либо специального подбора по состоянию здоровья для испытуемых не производилось. Исследование состояло из двух опытов. Каждый опыт включал три эксперимента, заключающихся в записи на диск жесткой памяти персонального компьютера (ПК) 20-минутных фрагментов ЭКГ. Во время первого и третьего экспериментов воздействие КВЧ не производилось. Воздействие либо пустая проба (ложное воздействие) производилось во время второго эксперимента. Решение о том, в каком опыте производить воздействие, принималось экспериментатором, о чем испытуемому не сообщалось. Испытуемый размещался вблизи КВЧ генератора. Излучение с выхода генератора (открытый конец волновода) проецировалось на тыльную поверхность кисти правой руки. Расстояние от поверхности кисти до поверхности торца открытого волновода было порядка 12 см. В экспериментах использовали генератор миллиметрового диапазона длин волн Г4-141. Он имеет диапазон 37,5–53,57 ГГц (8,0–4,6 мм); сечение стандартного волноводного тракта составляло 5,2x2,6 мм². Максимальная выходная мощность на открытом конце волновода не менее 4 мВт, что при ширине диаграммы направленности открытого конца волновода ~60° соответствует плотности потока мощности на поверхности облучения ~10 мкВт/см². Для управления уровнем мощности использовался аттенуатор генератора КВЧ. С его помощью можно менять выходную мощность в пределах 30 дБ (1000 раз) от максимальной. Однако известно, что уровни мощности, составляющие доли микроватта на квадратный сантиметр, могут оказаться физиологически значимыми и влиять на жизнедеятельность организмов [7]. Поэтому использовалось дополнительное ослабление мощности с помощью алюминиевого экрана и применялись дополнительные меры, чтобы испытуемый не знал о режиме работы генератора.

Для воздействия была выбрана одна из резонансных частот воды [2], а именно 50,3 ГГц. Это сделано

для проверки гипотезы о том, что частоты резонансных откликов воды являются значимыми для жизнедеятельности биологических объектов.

Для регистрации ЭКГ использовано биполярное грудное отведение СМ-5 [5], при котором отрицательный электрод крепится у рукоятки грудины справа, а положительный – в 4-м межреберье слева. Была отмечена несущественная зависимость качества ЭКГ при соответствующем незначительном смещении электродов от рекомендуемых положений. На качество регистрируемой ЭКГ существенно влияет качество крепления электродов. Для улучшения контакта электрод-кожа использовался концентрированный раствор поваренной соли.

Кардиограмма регистрировалась с помощью стандартного телеметрического канала с полосой пропускания по уровню 0,7, составляющей 0,4 – 30 Гц, и общим коэффициентом передачи по напряжению 60 дБ. Использование телеметрического канала решает проблему защиты пациента от поражения электрическим током. При снятии ЭКГ посредством телеметрического канала и стандартного электрокардиографа было показано, что ряды R-R интервалов, полученные из них, идентичны. В дальнейшем ЭКГ подавалась на вход звуковой карты ПК.

Были опробованы два варианта звуковых карт: с закрытым входом и модернизированная – с открытым входом. На практике оказалось предпочтительней в условиях медленных флуктуаций, неизбежно присутствующих в ЭКГ, применять звуковую карту с закрытым входом, при этом дифференцирование сигнала ЭКГ мало влияет на форму конечного ряда R-R интервалов. Частоту дискретизации сигнала ЭКГ выбирали максимальной 44100 Гц с числом уровней квантования 2^{16} . Запись оцифрованной ЭКГ производили с помощью программы Spectra Plus на жесткий диск памяти ПК. Из записанной оцифрованной ЭКГ с помощью специально разработанной программы производили выделение R-R интервалов. В ней имеется возможность выделения R-R интервалов по выбранному порогу и по экстремуму. В большинстве случаев более точные значения R-R интервалов дает алгоритм выделения их по порогу. Поэтому все данные были обработаны по порогу.

Записываемая реализация выбиралась такой длины, чтобы получить ряд R-R интервалов длиной в 1024 отсчета, необходимых для методики обработки с использованием быстрого преобразования Фурье. Для этого в большинстве случаев оказалось достаточно 20-минутных реализаций. Лишние отсчеты программно отсекались. Ряд R-R интервалов подвергался анализу в среде Statistica 5.0. В результате регистрировались графики спектральной мощности ряда, сглаженные окном с взвешенным скользящим средним типа Хемминга шириной 39 отсчетов при ширине окна данных 512 отсчетов. Ряд R-R интервалов подвергался прямому преобразованию в спектр. Так же получали автокорреляционные функции (АКФ) для каждого ряда R-R

интервалов. АКФ строились по 1000 отсчетов, что обусловлено ограничениями в рабочей среде Statistica 5.0. Выбор для построения АКФ максимально возможного количества отсчетов связан с обнаруженными изменениями спектров R-R интервалов в низкочастотной области. Построенная таким образом АКФ детализирует указанные изменения.

На рис. 1 – 3 представлены спектры ($a_1 - e_1$) и АКФ ($a_2 - e_2$), полученные для разных пациентов в опытах с КВЧ воздействием, проведенных по указанной выше методике. В пределах каждого рисунка графический материал расположен в хронологическом порядке. К одному опыту относятся эксперименты, результаты которых приведены на рис. 1-3, $a_1 - v_1$, к другому – на рис. 1-3, $g_1 - e_1$.

На рис. 1 представлены результаты опытов с испытуемым № 1, проводившихся в один день 1.04.02. Воздействие осуществлялось во время второго опыта (см. рис. 1, $g_1 - e_1$). Испытуемый действие КВЧ излучения почувствовал в виде жжения в области облучаемой поверхности и испытал состояние повышенной сонливости. На рис. 1 наблюдается качественное изменение в спектрах variability сердечного ритма между экспериментами с воздействием КВЧ (см. рис. 1, d_1) и после воздействия КВЧ (см. рис. 1, e_1), а между экспериментами до воздействия КВЧ (см. рис. 1, d_1) различий не наблюдалось. На спектрах зафиксировано изменение величины максимума энергии спектра на уровне 0,1 единицы условной частоты (ед. част.). Этот максимум возрастал от 10^7 (ед. вр.)² до $3 \cdot 10^7$ (ед. вр.)² (см. рис. 1, d_1 и e_1). Отмечается так же. Это, вероятно, может свидетельствовать о проявлении эффекта действия КВЧ не непосредственно во время воздействия, а с некоторой задержкой, сравнимой со временем проведения эксперимента. Отмечается также незначительный рост фликкерной составляющей части энергетического спектра в опыте с КВЧ (см. рис. 1, d_1) по сравнению с опытом до воздействия КВЧ (см. рис. 1, g_1). Этот эффект отмечается также на АКФ (см. рис. 1, d_2) в виде преобладания амплитуды низкочастотных составляющих с периодом, сравнимым с величиной интервала наблюдения и, соответственно, возрастом интервала корреляции. В опыте с пустой пробой также наблюдаются несущественные изменения в спектрах (рис. 1, $a_1 - 1, v_1$). Однако они являются, скорее всего, иллюстрацией некоторой общей динамики, характерной для организма испытуемого № 1.

На рис. 2 представлены результаты опытов по регистрации отклика на воздействие КВЧ для испытуемого № 2. Они проводились в такой последовательности: первый опыт 26.03.02 с пустой пробой (см. рис. 2, $a_1 - v_1$) и второй опыт 28.03.02 с воздействием КВЧ (см. рис. 2, $g_1 - e_1$). Воздействие КВЧ сенсорных ощущений не вызвало. В эксперименте с воздействием КВЧ наблюдается сильное возрастание амплитуды фликкерной части спектра (см. рис. 2, d_1) до значения $7 \cdot 10^8$ (ед. вр.)² от значения $1,2 \cdot 10^8$ (ед. вр.)² (см. рис. 2, g_1 и d_1). Данные изменения отражены на автокорреляционной функции (см. рис. 2, d_2) в виде

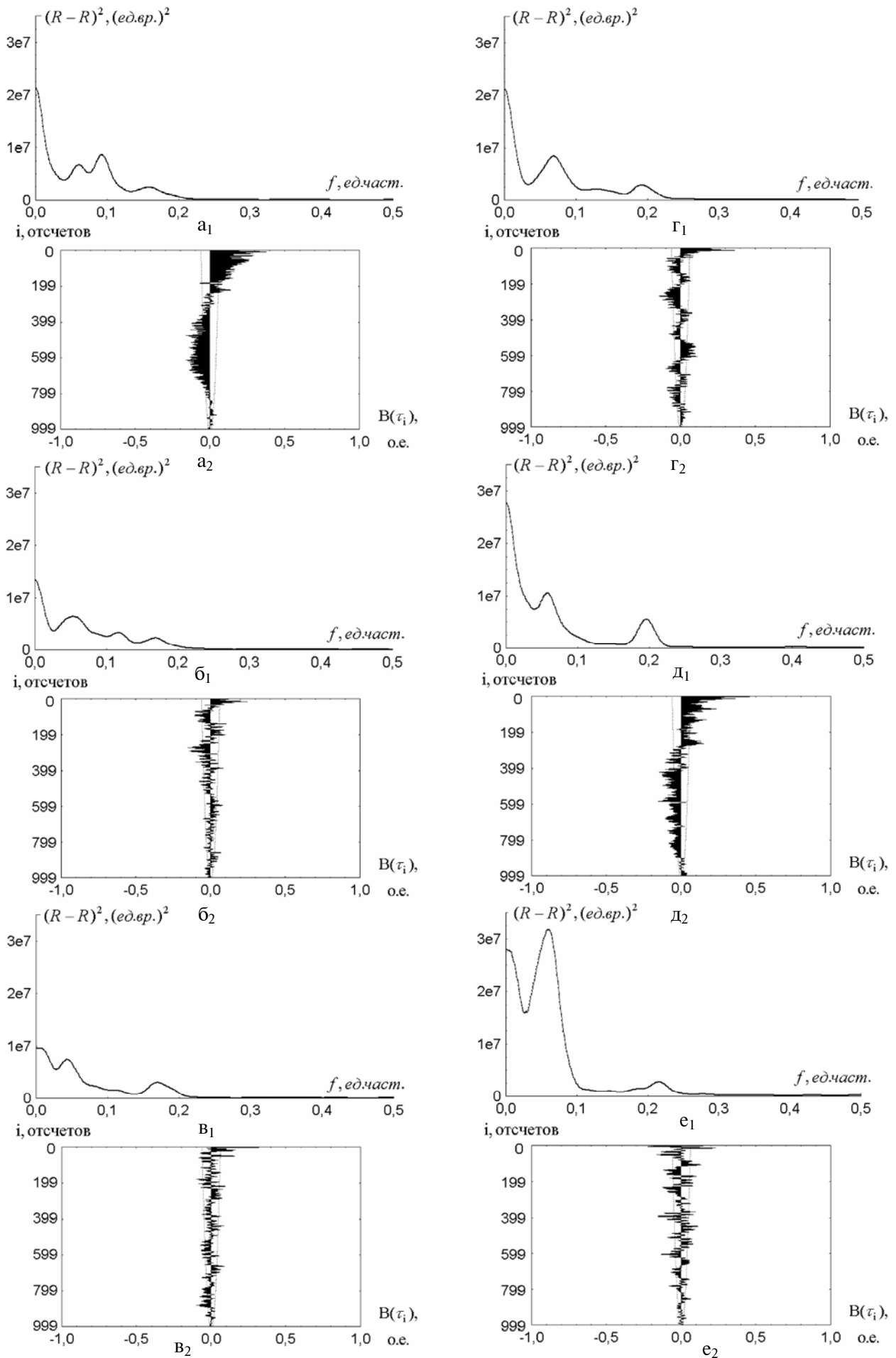


Рис. 1. Спектры (a_1 - e_1) и АКФ (a_2 - e_2) R-R интервалов для испытуемого №1

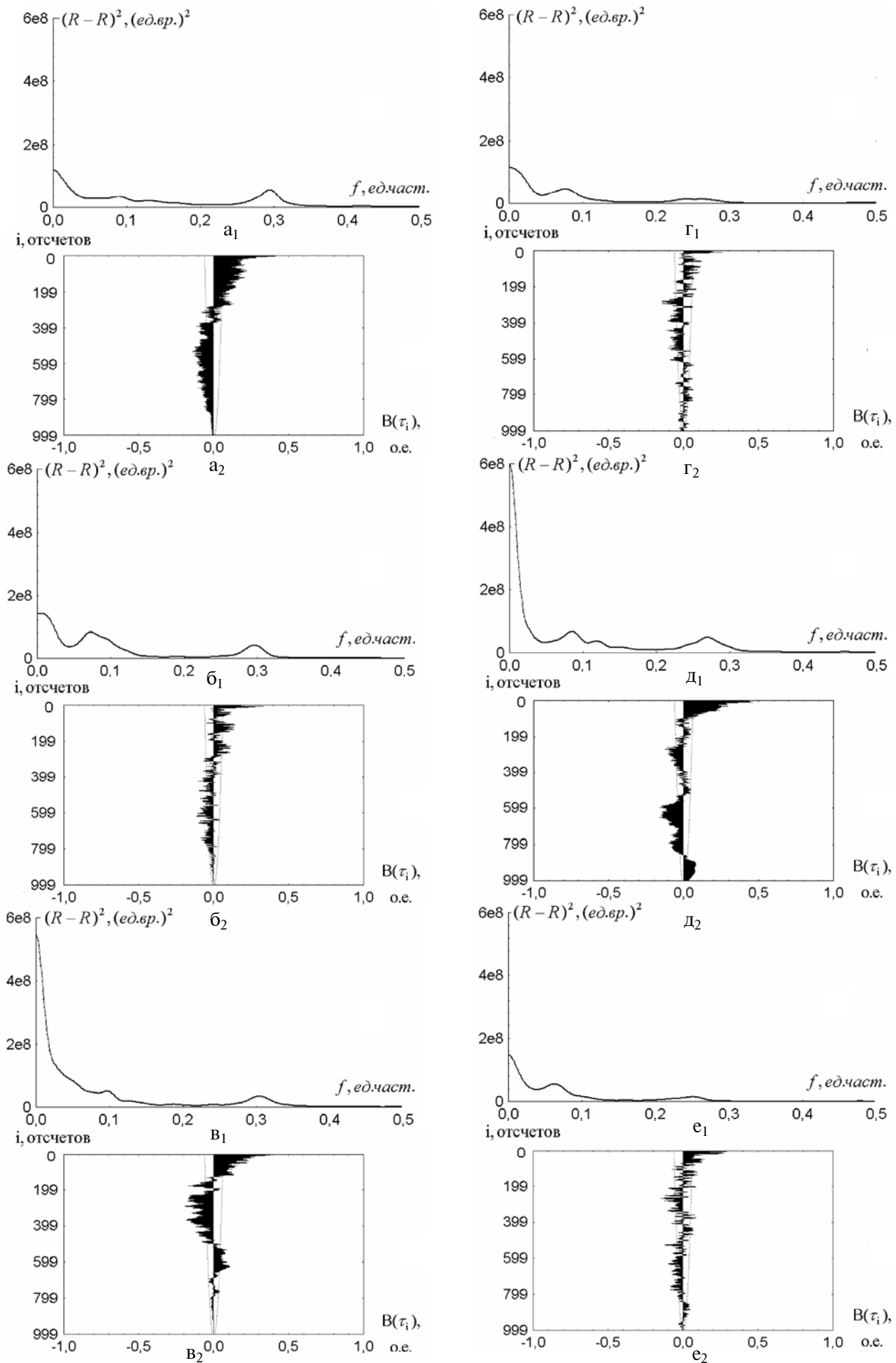


Рис. 2. Спектры (a_1 - e_1) и АКФ (a_2 - e_2) R-R интервалов для испытуемого №2

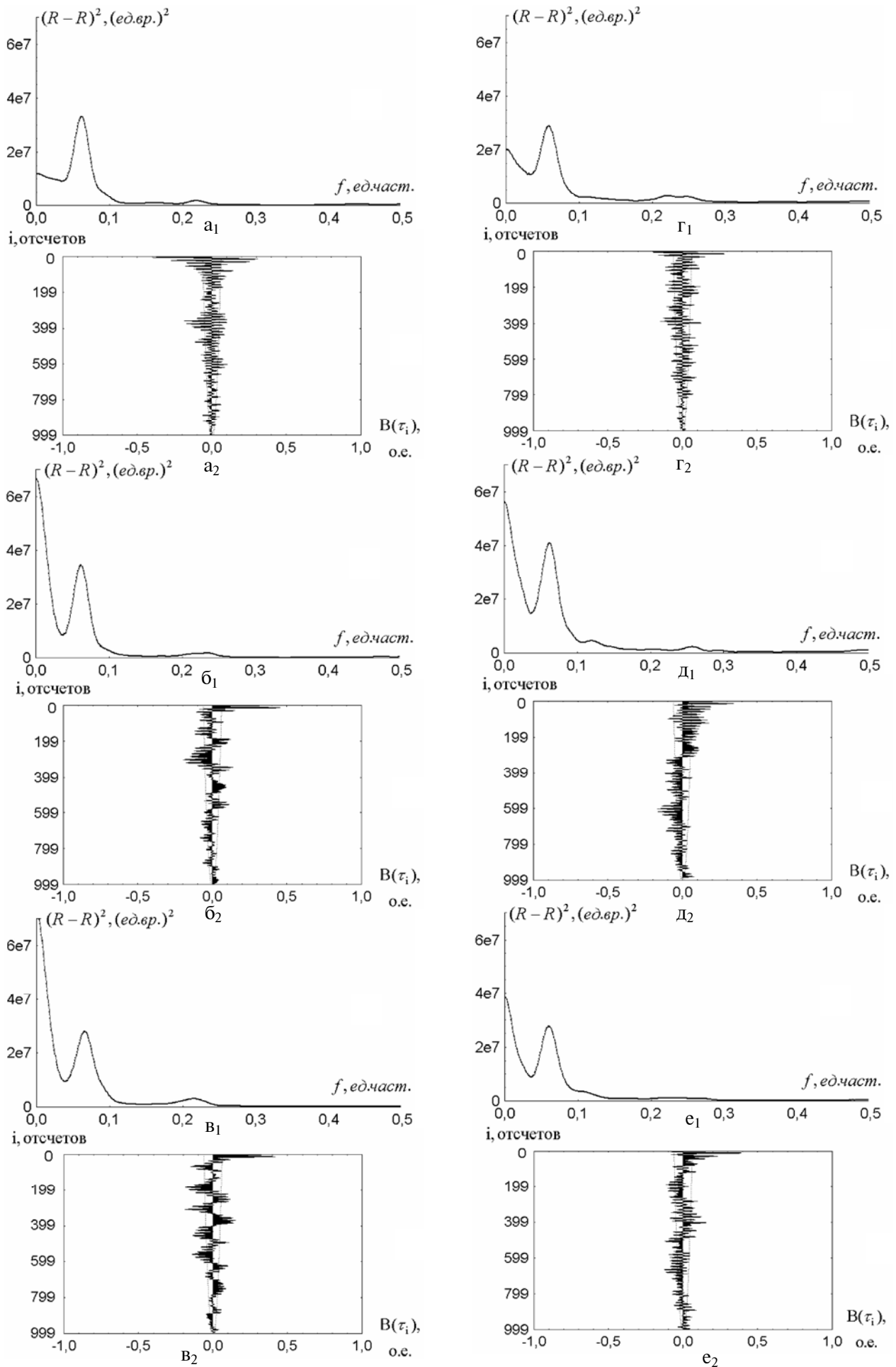


Рис. 3. Спектры (a_1 - e_1) и АКФ (a_2 - e_2) R-R интервалов для испытуемого №3

преобладания низкочастотных компонент с периодом, сравнимым с интервалом наблюдения. Однако изменения спектра в эксперименте после воздействия КВЧ (см. рис.2, e_1) по сравнению с экспериментом до воздействия КВЧ (см. рис.2, Γ_1) не наблюдается, как для предыдущего испытуемого.

На рис.3 представлены результаты опытов по регистрации отклика на КВЧ воздействие для испытуемого №3. Они проводились в такой последовательности: первый опыт 5.04.02 с воздействием КВЧ (см. рис.3, a_1 - v_1), второй опыт 6.04.02 с пустой пробой (см. рис.3, Γ_1 - e_1). Воздействие КВЧ испытуемый ощущал в виде специфического, распространяющегося по телу волнового процесса.

Воздействие КВЧ зарегистрировано на спектре R-R интервалов (см. рис.3, b_1) в виде роста величины мощности фликкерной составляющей части спектра по сравнению с исходным состоянием (см. рис.3, a_1) от $1,2 \cdot 10^7$ (ед. вр.)² до $6,5 \cdot 10^7$ (ед. вр.)². Фликкерная часть доминирует и в спектре, полученном для опыта после КВЧ воздействия (см. рис. 3, b_2). При предъявлении пустой пробы эти изменения оказались несущественными (см. рис.3, a_1 и b_1).

4. Заключение

Таким образом, можно отметить, что изменения, возникающие в вегетативной нервной системе в ответ на воздействие КВЧ нетепловой интенсивности, не носят универсального для всех испытуемых характера. Для наших опытов, однако, следует отметить тенденцию увеличения мощности фликкерной части спектра во время эксперимента с воздействием КВЧ. Это, вероятно, говорит о влиянии КВЧ излучения на метаболические процессы в организме, поскольку фликкерная часть спектра характеризует процессы обмена веществ [5]. На АКФ это соответствует увеличению интервала корреляции и преобладанию низкочастотных компонент с периодами, сравнимыми с интервалом наблюдения.

Для повышения достоверности регистрируемых изменений следует использовать дополнительные способы обработки информации, содержащейся в R-R интервалах (например, применение статистических оценок, фрактального анализа, оценивания спектральной мощности в диапазонах LF и HF).

УДК 534.232

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЫ СЖАТИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ЖИДКОСТИ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ЛАЗЕРНОМ ПРОБОЕ

МЕГЕЛЬ Ю.Е., ШЕВЧЕНКО В.В.

Рассматривается вопрос преобразования лазерного излучения в акустическую волну с использованием метода оптического пробоя. Приводятся количественные оценки ряда физических параметров при формировании фронта давления в жидкой среде.

Желательно также исследовать состояние вегетативной нервной системы по дыхательной ритмике. Для повышения достоверности регистрации подпорогового воздействия КВЧ целесообразно использовать резонансные явления в вегетативной системе при модуляции воздействия.

Литература: 1. *Лагутин М.Ф., Огиенко А.А. и др.* Синергетический подход к анализу кооперативного влияния КВЧ воздействия и тепловых шумов на одноклеточные организмы // Радиотехника. 2001. Вып. 121. С.20 – 26. 2. *Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В.А.* Роль резонансных молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. № 5-6. С.62-129. 3. *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение. М.: Мир, 1988. 248 с. 4. *Лебедева Н.Н.* Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. № 1. С.24-36. 5. *Дабровски А., Дабровски Б., Пиотрович Р.* Суточное мониторирование ЭКГ. М.: Медпрактика, 2000. 208 с. 6. *Дослідження* варіабельності серцевого ритму у кардіологічній практиці (методичні рекомендації) / Бобров В.О., Чубучний В.М. та ін. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, Український центр наукової медичної інформації, 1999. 28с. 7. *Родионов Б.Н.* Некоторые вопросы обеспечения энергоинформационной безопасности // Вестник новых медицинских технологий. 1999. Т. VI, № 3-4. С.25.

Поступила в редколлегию 03.10.2002

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Стрелков А.И.

Лагутин Михаил Федорович, д-р техн. наук, профессор кафедры радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Научные интересы: синергетика, теория и практика нелинейных систем, исследование биологических динамик живых организмов. Увлечения и хобби: растениеводство. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-94-44.

Заболотний Антон Анатольевич, стажер-исследователь кафедры радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Научные интересы: модели взаимодействия КВЧ с водной средой и живыми организмами и методы регистрации таких взаимодействий. Увлечения и хобби: дальний прием радио и телевидения, антенно-фидерные устройства, растениеводство. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-94-44.

При реализации ряда биотехнологических процессов возникает необходимость использования акустических волн для формирования упругих колебаний в жидкой среде. К числу таких процессов относятся: изменение проницаемости клеточных мембран, их разрушение для определенного класса вирусов, разделение ранних эмбрионов, разрушение тканей и т.п. [1].

Преобразование электромагнитного оптического излучения в акустическую волну приводит к появлению гармонических колебаний, а также к возникновению распространяющейся в среде сферической волны сжатия и разряжения. При этом существует несколько механизмов преобразования, зависящих от параметров лазерного излучения [2-7].