

17. Smirnov V.A., Shilov A.K., Ageev V.O., Rubashkina M.V. Metod biometricheskoy identifikatsii na osnove atomno-silovoy mikroskopii [Method of biometric identification on the basis of atomic-force microscopy], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to threats of terrorism], 2014, No. 23, pp. 15-18.
18. Alekseev A.N., Sokolov I.A., Ageev O.A., Konoplev B.G. Kompleksnyy podkhod k tekhnologicheskomu osnashcheniyu tsentra prikladnykh razrabotok. Opyt realizatsii v NOTs «Nanotekhnologii» YuFU [Complex approach to the technological equipment of the center of applied research. Experience in the implementation of the REC "Nanotechnology" SFEDU] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 4 (117), pp. 207-210.
19. Ofitsial'nyy sayt ZAO «NT-MDT» [Official site CJSC "NT-MDT"]. Available at: <http://www.ntmdt.ru>.
20. Mironov V.L. Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii [Basics of the scanning probe microscopy]. Moscow: Tekhnosfera, 2004, 143 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.А. Лаврентьев.

Агеев Владислав Олегович – Южный федеральный университет; 347900, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. «Е»; e-mail: agee-vlad@yandex.ru; кафедра безопасности информационных технологий; аспирант.

Ильина (Рубашкина) Марина Владимировна – e-mail: marubashkina@sfedu.ru; тел.: +78634371611; кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; ассистент.

Мальков Игорь Андреевич – e-mail: cpt.svechkin@gmail.com; тел.: +78634371611; кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; студент.

Ageev Vladislav Olegovich – Southern Federal University; e-mail: agee-vlad@yandex.ru; 2, Shevchenko street, korp. "E", Taganrog, 347900, Russia; the department of information technology security; postgraduate student.

Irina (Rubashkina) Marina Vladimirovna – e-mail: marubashkina@sfedu.ru; phone: +78634371611; the department of nanotechnologies and microsystems; assistant.

Malkov Igor Andreevich – e-mail: cpt.svechkin@gmail.com; phone: +78634371611; the department of nanotechnologies and microsystems; student.

УДК 53.047

И.В. Малышев, Н.В. Паршина

УСТАНОВКА ДЛЯ МНОГОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО (МЧЭМРТ) ВОЗДЕЙСТВИЯ

Предложена новая установка для электромагнитно-резонансного терапевтического воздействия, позволяющая сочетать эффект КВЧ активации на известных метаболических частотах с определенными в результате предварительной диагностической локализации НЧ терапевтических частот, которые могут быть использованы в практике воздействия на биообъекты. В основе предложенной установки лежит способ регистрации метаболических частот по изменению проводимости биосреды и получению соответствующего сигнала отклика, частота которого используется для модуляции КВЧ излучения. В работе рассмотрена амплитудная модуляция, однако перспективной представляется и импульсная. Приведены структурная и блок-схемы установки, а также основные соотношения, поясняющие её работу. Весь комплекс представлен в виде рабочих модулей, содержащих приёмно-излучающие и преобразовательные узлы, которые реализованы в диапазонах НЧ и КВЧ. Принцип регистрации метаболических низких частот основан на свойстве биосреды

изменять свою электропроводность при воздействии на них ЭМП, что отражается на уровне прошедшей волны (отклике на воздействие). Далее выявленная частота используется как модулирующая для КВЧ генератора воздействующего на биообъект с терапевтическими или иными целями. Управление уровнем этого воздействия может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режимах. Время экспозиции задаётся таймером. Для повышения точности определения модулирующих частот, локацию биосред предпочтительнее осуществлять в соответствующих контейнерах (аналогах чашкам Петри), где легче определять изменение проводимости образцов. Методика и установка могут быть внедрены в учреждения медицинского профиля, а также использоваться в научно-исследовательских целях в областях сельского хозяйства.

Электромагнитная волна; КВЧ-воздействие; биообъект; метаболические частоты; амплитудная модуляция; биологически активные точки; биологически активные зоны; биорезонансная диагностика.

I.V. Malyshev, N.V. Parshina

AN APPARATUS FOR MULTI-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RESONANCE THERAPEUTIC (MFEMRT) EXPOSURE

In this article presented a new complex for electromagnetic resonating therapeutic exposure which combine the effect of EHF activation on metabolic known frequencies defined with a preliminary diagnostic of the location of the low therapeutic frequencies that can be used in practice of bioobject influencing. At the heart of the proposed system is based on a method of metabolic frequencies registering to change the conductivity of biological media and affords the corresponding response signal whose frequency is used to modulate the EHF radiation. The paper considers the amplitude modulation, however, seems promising and pulse. The block and the block diagram of the installation, as well as the basic relationships, explaining its work. Resulted structural and block- charts of setting, and basic correlations explaining her work are also given. All complex is presented as working modules, containing receiving-radiative and inverter knots that is realized in ranges LF and EHF. Principle of registration of metabolic LFs is based on property of bioenvironment to change the conductivity at affecting them EMF, that is reflected at the level of the last wave (response on influence). In further determined frequency is used as modulating for EHF of affecting generator bioobject with therapeutic or by another aims. Management by the level of this influence can come true both in the hand and in automatic modes. Time of display is set by a timer. For the increase of exactness modulating frequencies determination, the location of bioenvironments preferably to carry out in corresponding containers (analogues double-dish), where it is easy to determine the change of conductivity of standards. Methodology and setting can be inculcated in establishments of medical profile, and also used and research aims in the areas of agriculture.

Electromagnetic wave; EHF-exposure; biological object; metabolic frequency; peak modulation; biologically active points; biologically active zones; biological resonant diagnostics.

Введение. Известно [1], что лечебные свойства электромагнитных волн (ЭМВ) для человека имеют избирательную природу, т.е. достижение лечебного эффекта может получиться при воздействии на организм конкретных, так называемых «метаболических» или лечебных частот низкой интенсивности (нетепловой мощности), которые лежат как в диапазоне низких так и высоких и крайне высоких частот (НЧ, ВЧ и КВЧ). Эти терапевтические частоты в настоящее время широко используются на практике в медицинских учреждениях, имеющих соответствующие промышленные установки.

Пациенты получают курсы лечения при воздействии на них мощности излучения конкретных однотональных метаболических частот [2, 3].

При этом лечебный эффект может быть усилен при сочетании потока ЭМВ имеющего в своем спектре несколько терапевтических частот из разных диапазонов.

Поскольку колебания (сигналы), которые индуцируются живыми биообъектами имеют электромагнитную природу, то возможна их регистрация и использование для терапевтического воздействия в составе спектра метаболических частот. Пройдя специальную обработку (фильтрацию и ограничение по амплитуде, частотную модуляцию), колебания с выхода прибора воздействуют на биообъект [4, 5].

При воздействиях, которые относят к категории эндогенной биорезонансной терапии параметры воздействующих сигналов определяются индивидуально по состоянию самого объекта. При этом доказано, что патологические колебания ослабляются или полностью подавляются и в организме восстанавливается динамическое равновесие (гомеостаз). Электромагнитное поле этого биообъекта (пациента) реагирует на эти терапевтические сигналы и стимулирует иммунологический статус для борьбы с патологическими отклонениями.

Методика эксперимента. В предложенной методике МЧЭМРТ, которую можно отнести к категории экзогенного воздействия, имеется возможность в процессе биолокации выявлять спектральные составляющие, ответственные за метаболические процессы, фиксировать их и использовать в составе терапевтического излучения [6].

Экспериментально и в клинических исследованиях с помощью биолокационных методов определяются метаболические частоты спонтанной биоэлектрической активности (СБА). Так, например, выявлено, что частота следования спонтанных биоэлектрических импульсов желудка составляет 0,043 Гц; нисходящей ободочной кишки – 0,064 Гц. Эти две величины относятся между собой с коэффициентом 3/2, и каждая является опорной для рядов, характеризующих СБА других органов или уровней организации нервной и других функциональных систем организма [2].

В эти ряды попадают частоты СБА почти всех полых органов, сосудов и образований нервной системы. При этом используется последовательное удвоение исходных значений частот, что и служит основой для формирования рядов [3]. Например, атриовентрикулярный узел сердечного автоматизма находится в ряду желудка, а синоаурикулярный узел – в ряду нисходящей ободочной кишки. Таким образом, частота лечебного сигнала при СРТ соответствует спонтанным биопотенциалам, предвещающим работу различных органов в нормальном (физиологическом) состоянии [2].

Предлагаемая здесь установка для МЧЭМРТ воздействия относится к крайне-высокочастотной (КВЧ) электромагнитной терапии, и может быть использована для воздействия на организм человека слабым низкочастотным модулированным электромагнитным полем для лечения различных заболеваний, улучшения работы и повышения защитных сил организма. Устройство воздействует на биологически активные зоны (БАЗ) или биологически активные точки (БАТ) биообъекта (человека) для получения лечебного эффекта и обеспечения активации защитных сил организма [3]. Техническим результатом является возможность обеспечения многочастотного воздействия на зоны, которые восприимчивы к низкоинтенсивному электромагнитному полю.

Принцип такого воздействия основан на комплексном терапевтическом эффекте, сочетающим в себе лечебное действие низкоинтенсивных КВЧ волн (имеющие терапевтически значимые длины: 7,1 мм (42, 2 ГГц), 5,6 мм (53, 5 ГГц), 4,9 мм (60,7 ГГц), или шумовой генерации в диапазоне 42–78 ГГц) [1] с модулирующими

их низкочастотными волнами, значения которых определяются в результате предварительного биосканирования конкретного пациента в ходе сеанса [2] или по методике, которая будет изложена ниже.

Данная установка для МЧЭМРТ воздействия (рис. 1) содержит локационный аппаратно-программный комплекс (ЛАПК), блок управления (БУ), содержащий блок модуляции (БМ) и таймер (Т), КВЧ генератор (ГКВЧ), КВЧ излучатель (И) модулированного ЭМП и работает следующим образом.

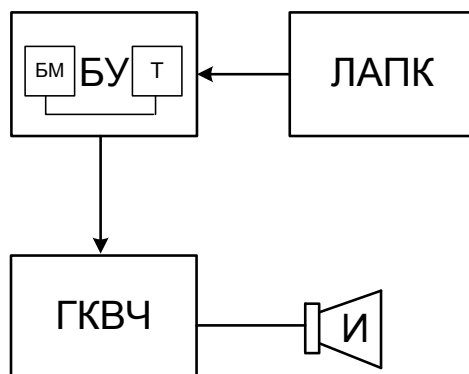


Рис. 1. Установка для МЧЭМРТ

В начале сеанса проводится сканирование (локация) биообъекта при помощи комплекса средств, входящих в ЛАПК когда по методу биорезонансной диагностики определяются низкие метаболические частоты, действие которых на человека приводит к лечебному эффекту.

В дальнейшем БУ при помощи БМ обеспечивает получение управляющих сигналов, модулирующих излучение КВЧ генератора (ГКВЧ). В результате излучатель обеспечивает направленное модулированное КВЧ поле (с плотностью до 10 мВт/см^2 или в шумовом диапазоне) которое воздействует на биообъект [7, 8]. При этом воздействие проводится в режиме амплитудной, частотной или импульсной модуляции КВЧ излучения [3] теми низкими частотами, которые определены как собственные биорезонансные частоты конкретного объекта, определенные у него во время указанной диагностики различных патологий [2]. Эти частоты лежат в диапазоне $0,1 \div 1200 \text{ Гц}$ и подбор их для терапевтических воздействий носит индивидуальный характер [4, 9].

Рассмотрим работу данного комплекса более подробно, представив его в виде рабочих блоков рис. 2.

Биообъект (пациент) 15 помещается между передающей 3 и приемной 4 парами НЧ антенн, которые осуществляют как передачу НЧ сигналов в диапазоне частот от сотых долей до десятков Гц при помощи генератора НЧ (ГНЧ) 1 с дискретной электрической перестройкой частоты посредством генератора с линейно изменяющейся частотой (ГЛИЧ) 10, так и приём отклика на этот сигнал при помощи детектора 7. При этом излучаемый и принятый сигнал усиливается усилителями 2 и 6. Дальнейшая обработка принятого сигнала происходит при помощи аналогового компаратора 9, на который подаётся как часть излучаемого напряжения ответвлённого через делитель напряжения (ДН) 5, так и напряжение отклика от детектора 7 (регистратор 8 показывает уровень биоотклика на резонансной частоте). Очевидно, что в случае, когда биообъект изменяет свою проводимость на метаболической частоте и отклик на воздействие будет зарегистрирован, компаратор 9 – вырабатывает разностный сигнал, который фиксирует соответствующее

значение напряжения ГЛИЧ 10 и таким образом выявленная частота в виде управляющего сигнала поступает в БУ на модулятор (БМ) ГКВЧ 11 и на таймер (Т) 14, который устанавливает начало экспозиции на биообъект (время продолжительности лечебной процедуры).

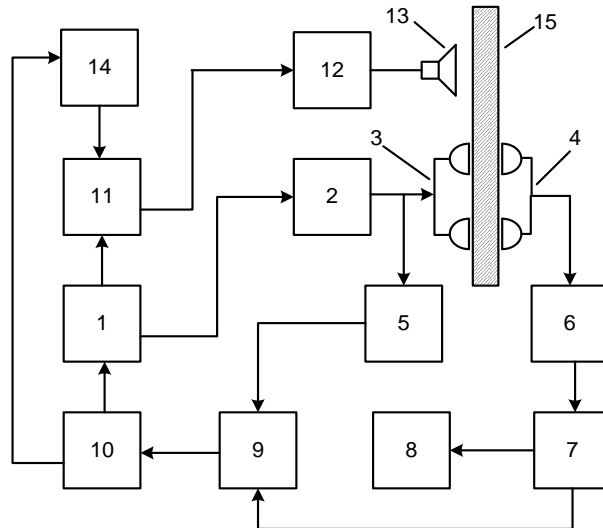


Рис. 2. Рабочие блоки установки для МЧЭМРТ

В дальнейшем сформированный модулированный терапевтический КВЧ сигнал поступает на усилитель (аттенюатор) 12 для обеспечения необходимого уровня мощности воздействия и излучается на биологически-активные точки (БАТ) биообъекта [10, 11, 18].

Всё выше изложенное можно пояснить при помощи следующих соотношений: Сигнал с ГНЧ 1 представленный как:

$$U_1(t) = U_{m1} \cos(\Omega_r t + \varphi), \quad (1)$$

где Ω_r – частота, которая в результате биолокации должна выявить метаболическую частоту биосреды Ω_6 , поступает на усилитель 2 с коэффициентом усиления K_1 :

$$U_2(t) = K_1 U_{m1} \cos(\Omega_r t + \varphi). \quad (2)$$

После ДН 5 будет получено напряжение:

$$U_3(t) = (K_1 U_{m1} / K_d) \cos(\Omega_r t + \varphi), \quad (3)$$

где K_d – коэффициент деления.

После этого сигнал с помощью излучающих антенн 3 попадает на биообъект 15 и в случае совпадения $\Omega_r = \Omega_6$ принимается приемными антеннами 4 [12, 13, 15]:

$$U_4(t) = (K_1 U_{m1} / P) \cos(\Omega_6 t + \xi), \quad (4)$$

где P – коэффициент потерь мощности в биосреде, $\xi = \varphi + \Delta\varphi$ – фаза отклика сигнала.

После усиления в 6 получается соотношение:

$$U_5(t) = (K_2 K_1 U_{m1} / P) \cos(\Omega_6 t + \xi), \quad (5)$$

где K_2 – коэффициент усиления 6.

Детектор 7 даёт постоянное напряжение:

$$U_6 = S |U_5|, \quad (6)$$

где S – крутизна преобразования детектора.

Относительный уровень величины U_6 можно оценить при помощи регистратора 8.

После этого сигнал U_6 поступает на компаратор 9, на второй вход которого поступает напряжение $|U_5|$ из 5.

В компараторе 9 сравниваются уровни этих сигналов на частоте $\Omega_r = \Omega_6$ и на выходе 9 возникает напряжение низкого уровня $U_7 \approx 0$, которое регистрируется в 10 и является для него управляющим. После чего ГЛПЧ 10 приостанавливает перестройку частоты 1 и запускает таймер 14, а сигнал с ГНЧ 1 поступает на модулятор ГКВЧ 11.

Напряжение КВЧ излучения, которое настроено на частоту ω из числа вышеупомянутых терапевтических значений:

$$U_8(t) = U_{m8} \cos(\omega t + \varphi), \quad (7)$$

в случае амплитудной модуляции имеет вид

$$U_9(t) = U_{m8} ((\cos \omega t + \varphi) + m/2((\omega - \Omega_6)t + \varphi - \Phi) + m/2((\omega + \Omega_6)t + \varphi + \Phi)), \quad (8)$$

где Φ – фаза преобразования, m – глубина модуляции, и после усиления в 12 с коэффициентом усиления K_3 имеет вид:

$$U_{10}(t) = K_3 U_9(t). \quad (9)$$

Это напряжение посредством 13 воздействует на биообъект 15.

Рассмотренные воздействия немодулированных КВЧ низкоинтенсивных волн на биологические среды, например, позволили выявить, что такое воздействие на метаболическую активность фотосинтезирующих организмов, а также на выживаемость прокариотических (*Escherichia coli*) и эукариотических (*Candida albicans*) микроорганизмов, показало, что существуют частоты, которые либо вызывают бурный клеточный рост, либо ведут к угнетению жизнедеятельности и приводит к гибели колонии [5].

Так на рис. 3 приведены зависимость роста колоний *Candida albicans* от величины исходной концентрации суспензии при разных частотных режимах облучения в КВЧ полях [22].

При этом важно отметить, что эти результаты имеют большую повторяемость и не зависят от плотности КВЧ мощности, составляющую 0,4–1,2 мВт/см².

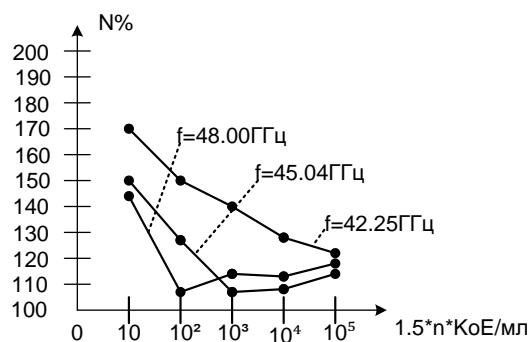


Рис. 3. Зависимость роста колоний *Candida albicans* от величины исходной концентрации суспензии

Эксперимент проводили с использованием суспензий клеток дрожжей (*Candida albicans*) различной плотности, приготовленных по стандарту МакФарланда, позволяющему по мутности раствора определить количество микроорганизмов в единице объема. Для подсчета живых микробных клеток суспензии культивировали на твердой питательной среде [20].

Учитывая, что диаметр чашки Петри, в которых обрабатывали культуру дрожжей составляет 90 мм, а объем суспензии – 5 мл, следует, что высота «микроцилиндра» облучаемой суспензии равна 0,78 мм. Это значение вполне удовлетво-

ряет результатам экспериментов и расчетам [5, 6], из чего следует, что практически весь объём суспензии клеток подвергался равномерному воздействию КВЧ излучения.

Практическая реализация этой установки в научных и лечебных учреждениях позволит получить такие результаты как повышение показателей качества здоровья, за счёт оптимизации курсов КВЧ терапии, необходимых для достижения полного выздоровления, уменьшение количества сеансов необходимых для выздоровления, уменьшение выходной мощности КВЧ излучения [15–17], повышение функциональных возможностей устройства, а также управление параметрами излучаемых колебаний при помощи блока управления и ЛАПК. Особенную роль в таком взаимодействии КВЧ волн и биообъекта играет уровень водной среды в нём, который является основным фактором проявляющим указанные свойства подтверждённые исследованиями по методам радиоспектроскопии [19–22].

Заключение. Предлагаемое устройство МЧЭМРТ в составе единого комплекса осуществляет сочетание диагностических процедур по выявлению всех жизненно-важных низкочастотных характеристик конкретного биообъекта с терапевтическим воздействием модулируемых КВЧ волн на БАТ или БАЗ. Кроме этого большую перспективу представляет возможность управления жизненной активностью растительных сельскохозяйственных культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Яременко Ю.Г.* Аппаратура для КВЧ-терапии // Радиотехника. – 2007. – № 3.
2. Биорезонансная терапия. Методические рекомендации № 2000/74. Минздрав Российской Федерации. – М., 2000.
3. *Готовский М.Ю., Перов Ю.Ф., Чернецова Л.В.* Биорезонансная терапия. – 2-е изд. – М.: ИМЕДИС, 2010. – 206 с.
4. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Будник М.И., Котровская Т.И.* Динамика ЭЭГ-реакций и показателей радиофизического отклика человека при воздействии сложномодулированного КВЧ-стимула // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 8-9. – С. 6-25.
5. *Долгов Е.С., Малышев И.В., Покудина И.О., Рассказов А.Е., Усатов А.В., Цыганков А.Г.* Исследование порогов чувствительности микроорганизмов к ЭМИ миллиметрового диапазона // Технологии живых систем. – 2013. – № 1. – С. 58-61.
6. *Малышев И.В., Паршина Н.В., Червяков Г.Г.* Метод определения проводимости кирально-независимых биологических сред в крайне высокочастотных полях // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 7. – С. 705-708.
7. *Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П.* Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие / Под ред. В.А. Неганова и С.Б. Раевского. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2007. – 744 с.
8. *Lindell, Sihvola A.H., Tretyakov S.A. and Viitanen A.J.* Electromagnetic Waves in Chiral and Bi-Isotropic Media, Artech House, Boston, 1994. – 291 p.
9. *Черепнёв И.А.* Биологические эффекты при воздействии электромагнитных волн // Системы управления, навигации и связи. – 2007. – Вып. 3. – С. 118-124.
10. *Малышев И.В., Мамченко С.О., Заруба В.В.* Широкополосная радиометрическая система для исследования низкоинтенсивных излучений КВЧ диапазона // Наука и образование в XXI веке: Сборник научных трудов по материалам Международной научн.-практ. конференции 31.10.2014 г., Ч. 5. – Тамбов, 2014. – С. 71-74.
11. *Гуров И.М., Малышев И.В., Паршина Н.В.* Метод расчёта проводимости киральных дисперсных структур в электромагнитных полях // «Образование и наука: современное состояние и перспективы развития»: Сб. научн. трудов по материалам Международной научно-практ. конференции 28.02.2013. Ч. 7. – Тамбов, 2013. – С. 41-42.

12. Яненко А.Ф. Микроволновая радиометрия в биологии и медицине: структурные решения, возможности и перспективы использования // Вісник Національного Технічного Університету України, «КПШ». Серія «Радіотехніка. Радіоапаратурубудування». – 2010. – № 43. – С. 72-82.
13. Малышев И.В., Паршина Н.В. Методы выявления метаболических частот биологических объектов в СВЧ и КВЧ диапазонах // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2015. – № 2. – С.65-68.
14. Сеницын Н.И., Ёлкин В.А., Бецкий О.В., Кислов В.В. Миллиметровые волны и наноструктуры – будущее медицины и биоэлектроники // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 3. – С. 21-35.
15. Малышев И.В., Паршина Н.В. Наноструктурный подход к водосодержащим биологическим средам при КВЧ – воздействии // Труды Международной науч-тех. конф. «Нанотехнологии – 2012», 25-29 июня 2012. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2012. – С. 139-140.
16. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных волн на биологические объекты // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2001. – № 3 (24). – С. 5-19.
17. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы / Под ред. Ю.В. Гуляева, А.Х. Тамбиева. – М.: Радиотехника, 2003. – 175 с.
18. Малышев И.В., Паршина Н.В., Червяков Г.Г. Распространение ЭМВ в биозотропных средах с равномерным распределением концентрации дисперсных частиц // Специальная техника. – 2015. – № 1. – С. 41-43.
19. Сеницын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В. Особая роль системы «мм-волны – водная среда» в природе // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – № 1. – С. 4-27.
20. Руководство по медицинской микробиологии / под ред. Лабинской А.С. и Костюковой Н.Н. – Москва: БИНОМ, 2013. Кн. 3. Т. 1. – 875 с.
21. Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А., Сеницын Н.И. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ диапазона // Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40, В.1. – С. 127-134.
22. Малышев И.В. Методы микроволновой регистрации и локации биологических дисперсных сред. // Инженерный Вестник Дона. – 2015. – № 4. ivdon.ru/tu/magazine/archive/n4p2y2015/3458.

REFERENCES

1. Betskiy O.V., Lebedeva N.N., Yaremenko Yu.G. Apparatura dlya KVCh-terapii [Apparatus for EHF-therapy], *Radiotekhnika* [Radioengineering], 2007, No. 3.
2. Biorezonansnaya terapiya. Metodicheskie rekomendatsii № 2000/74. Minzdrav Rossiyskoy Federatsii [Bioresonance therapy. Methodical recommendations No. 2000/74. The Ministry Of Health of the Russian Federation]. Moscow, 2000.
3. Gotovskiy M.Yu., Perov Yu.F., Chernetsova L.V. Biorezonansnaya terapiya [Bioresonance therapy]. 2nd ed. Moscoov: IMEDIS, 2010, 206 p.
4. Betskiy O.V., Lebedeva N.N., Budnik M.I., Kotrovskaya T.I. Dinamika EEG-reaktsiy i pokazateley radiofizicheskogo otklika cheloveka pri vozdeystvii slozhnomodulirovannogo KVCh-stimula [Dynamics of EEG-reactions and indicators of Radiophysics response on exposure to complex-modeled short-wave stimulus], *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2007, No. 8-9, pp. 6-25.
5. Dolgov E.S., Malyshev I.V., Pokudina I.O., Rasskazov A.E., Usatov A.V., Tsygankov A.G. Issledovanie porogov chuvstvitelnosti mikroorganizmov k EMI millimetrovogo diapazona [The study of thresholds of sensitivity of microorganisms to EMR of millimeter range], *Tekhnologii zhivyykh system* [Technologies of Living Systems], 2013, No. 1, pp. 58-61.
6. Malyshev I.V., Parshina N.V., Chervyakov G.G. Metod opredeleniya provodimosti kiral'nozavisimyykh biologicheskikh sred v krayne vycokochastotnykh polyakh [A method of determining the conductivity Kiral-nezavisimyykh biological environments in the extremely high frequency fields], *Radiotekhnika i elektronika* [Journal of Communications Technology and Electronics], 2015, Vol. 60, No. 7, pp. 705-708.

7. Neganov V.A., Osipov O.V., Raevskiy S.B., Yarovoy G.P. Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln: Uchebnoye posobie [Electrodynamics and propagation of radio waves applied. The manual], Ed. by V.A. Neganova i S.B. Raevskogo. 3rd ed. Moscow: Radiotekhnika, 2007, 744 p.
8. Lindell, Sihvola A.H., Tretyakov S.A. and Viitanen A.J. Electromagnetic Waves in Chiral and Bi-Isotropic Media, Artech House, Boston, 1994, 291 p.
9. Cherepnev I.A. Biologicheskie efekty pri vozdeystvii elektromagnitnykh voln [Biological effects when exposed to electromagnetic waves], *Sistemy upravleniya, navigatsii i svyazi* [Systems of Control, Communication and Security], 2007, Issue 3, pp. 118-124.
10. Malyshev I.V., Mamchenko S.O., Zaruba V.V. Shirokopolosnaya radiometricheskaya sistema dlya issledovaniya nizkointensivnykh izlucheniye KVCh diapazona [Broadband radiometric system for exploration of low-intensity EHF radiation], *Nauka i obrazovanie v XXI veke: Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchn.-prakt. konferentsii 31.10.2014 g.* [Science and education in XXI century: Collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference 31.10.2014], Part 5. Tambov, 2014, pp. 71-74.
11. Gurov I.M., Malyshev I.V., Parshina N.V. Metod rascheta provodimosti kiral'nykh dispersnykh struktur v elektromagnitnykh pol'yakh [Method of calculation of conductivity of chiral disperse structures in electromagnetic fields], *«Obrazovanie i nauka: sovremennoe sostoyaniye i perspektivy razvitiya»: Sb. nauchn. trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konferentsii 28.02.2013* ["Education and science: current state and prospects of development": Collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference 28.02.2013]. Part 7. Tambov, 2013, pp. 41-42.
12. Yanenko A.F. Mikrovolnovaya radiometriya v biologii i meditsine: strukturnye resheniya, vozmozhnosti i perspektivy ispol'zovaniya [Microwave radiometry in biology and medicine: structural solutions, opportunities and prospects of use], *Vicnik Natsional'nogo Tekhnichnogo Universitetu Ukraini, «KPI». Seriya «Radiotekhnika. Radioapparaturubudovannya»* [Bulletin of National Technical University of Ukraine, "KPI". Series "Radotina. Radiopathy"], 2010, No. 43, pp. 72-82.
13. Malyshev I.V., Parshina N.V. Metody vyyavleniya metabolicheskikh chastot biologicheskikh ob'ektov v SVCh i KVCh diapazonakh [Methods of identifying metabolic frequencies of biological objects in the UHF and EHF bands], *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2015, No. 2, pp.65-68.
14. Sinitsyn N.I., Elkin V.A., Betskiy O.V., Kislov V.V. Millimetrovye volny i nanostruktury – budushchee meditsiny i bioelektroniki [Millimeter waves and the micrograph of rectory – the future of medicine and bioelectronics], *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2009, No. 3, pp. 21-35.
15. Malyshev I.V., Parshina N.V. Nanostrukturnyy podkhod k vodosoderzhashchim biologicheskim sredam pri KVCh – vozdeystvii [Nanostructural approach to aqueous biological media at EHF – influence], *Trudy Mezhdunarodnoy nauch-tekh. konf. «Nanotekhnologii – 2012», 25-29 iyunya 2012* [Proceedings of International scientific and technical conference "Nanotechnologies – 2012", June 25-29 2012]. Taganrog: TTI YuFU, 2012, pp. 139-140.
16. Betskiy O.V., Lebedeva N.N. Sovremennye predstavleniya o mekhanizmax vozdeystviya nizkointensivnykh voln na biologicheskie ob"ekty [Modern concepts of the mechanisms of action of bottom-condensing waves on biological objects], *Millimetrovye volny v biologii i meditsine* [Millimeter Waves in Biology and Medicine], 2001, No. 3 (24), pp. 5-19.
17. Millimetrovye volny i fotosinteziruyushchie organizmy [Millimeter wave and photosynthetic organisms], Ed. by Yu.V. Gulyaeva, A.Kh. Tambieva. Moscow: Radiotekhnika, 2003, 175 p.
18. Malyshev I.V., Parshina N.V., Chervyakov G.G. Rasprostraneniye EMV v biizotropnykh sredakh s ravnomernym raspredeleniem kontsentratsii dispersnykh chastits [The propagation in biisotropic media with a uniform distribution of the concentration of dispersed particles], *Spetsial'naya tekhnika* [Special Technique], 2015, No. 1, pp. 41-43.
19. Sinitsyn N.I., Petrosyan V.I., Elkin V.A., Devyatkov N.D., Gulyaev Yu.V. Osobaya rol' sistemy «mm-volny – vodnaya sreda» v prirode [A special system role "mm wave – water medium" in nature], *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 1998, No. 1, pp. 4-27.
20. Rukovodstvo po meditsinskoy mikrobiologii [Guidance on medical Microbiology], Ed. by Labinskoy A.S. i Kostyukovoy N.N. Moscow: BINOM, 2013. Book 3. Vol. 1, 875 p.

21. *Petrosyan V.I., Gulyaev Yu.V., Zhiteneva E.A., Elkin V.A., Simitsyn N.I. Vzaimodeystvie fizicheskikh i biologicheskikh ob"ektov s elektromagnitnym izlucheniem KVCh diapazona [The interaction of physical and biological objects with electromagnetic radiation in the EHF band], Radiotekhnika i elektronika [Journal of Communications Technology and Electronics], 1995, Vol. 40, V. 1, pp. 127-134.*
22. *Malyshev I.V. Metody mikrovolnovoy registratsii i lokatsii biologicheskikh dispersnykh sred [Methods a registration and location of dispersed biological media], Inzhenernyy Vestnik Dona [Engineering journal of Don], 2015, No. 4. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3458>.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.А. Лаврентьев.

Малышев Игорь Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: im1960@mail.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634393046, +79185372656; зав. кафедрой РТЭ; к.т.н.; доцент.

Паршина Наталия Владимировна – e-mail: natali_e75@mail.ru; тел.: 89043497455; кафедра РТЭ; инженер.

Malyshev Igor Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail address: im1960@mail.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634393046, +79185372656; head of Radioengineering Electronics Department; cand. of eng.sc.; associate professor.

Parshina Natalia Vladimirovna – e-mail address: natali_e75@mail.ru; phone: 89043497455; the department of radioengineering electronics; engineer.

УДК 621.38-022.532

В.Н. Вязьмитин, В.В. Поляков

МИКРОФЛЮИДНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЕПАРАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Приводится анализ биологических жидкостей в организме человека и их свойства. Дается характеристика современных методов исследования и взятия проб образцов для анализа, подчеркнута актуальность развития системы персонализированной медицины. Показаны особенности и некоторые параметры форменных элементов крови, раскрыты возможные области применения микрофлюидных устройств в современных системах диагностики и анализа. Раскрываются особенности и принципы построения элементов микрофлюидных устройств. Показана взаимосвязь проблем персонализации медицины и миниатюризации устройств с применением современных микро- и нанотехнологий. Отмечается, что современные системы диагностики и анализа широко используют микрофлюидные устройства при химических тестах, цитометрии, иммунологическом анализе, клинической диагностике, доставке лекарственных средств в организм. Это могут быть различные микроканалы, микронасосы, ингаляторы, микрореакторы и др. Приведен расчёт протекания жидкости по микроканалам методом ламинарного течения. В проведенных оценочных расчетах показано, что ламинарное течение возможно только до некоторого критического значения числа Рейнольдса, после которого оно переходит в турбулентное. В микроканалах, при выполнении условия «прилипания» скорость движения жидкости очень мала. При этом, увеличение скорости требует значительных давлений, что может привести к разрушению канала. Одним из возможных решений данной проблемы является использование гидрофобных поверхностей. В данном случае, для микрофлюидных устройств на кремнии, используется оксидирование поверхности микроканалов. В статье указано, что существует несколько способов реализации системы каналов на чипе: перекрестная, двойная-Т, двойная-Л, двойная-перекрестная, тройная-Т, мульти-Т и др. Отмечено, что наиболее простым в реализации и применении для проведения простых анализов