

УДК 615.84.03

А.Р. КОРСУНОВ

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОСТРУКТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ПАРАМАГНИТНОМ И ЯДЕРНОМ МАГНИТНОМ РЕЗОНАНСАХ

В статье разработаны методические основы оценки энергетических уровней сигналов при проведении селективных технологий воздействия на организм магнитным и электромагнитным полями. Это позволяет проводить сочетанное воздействие на биоструктуры в отличие от комбинированного воздействия, при котором последовательно, а не одновременно применяются квазипостоянное магнитное поле и электромагнитное поле СВЧ, что аналогично сочетанному влиянию подобных факторов в живой природе в диапазоне радиопрозрачности земной атмосферы.

квазипостоянный, сочетанный, электромагнитное поле, биоструктура, ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс

Введение

Длительное время считалось, что искусственно созданные физические факторы имеют неспецифическое действие на человека (А.Е. Щербак).

Фундаментальные исследования организмов в соединении с результатами биохимических, физиологических и клинических исследований показали, что они так же имеют и действия, свойственные каждому из них [1].

Постановка проблемы. Особенно указанная специфика проявляется при использовании малых интенсивностей физических факторов, в то время как при большой интенсивности эта специфика маскируется общими неспецифическими процессами в тканях организмов. Сюда относится, прежде всего, формирование теплоты и химические изменения. В результате формируется следующая проблема – провести оценку и определить энергетическую грань между специфическими и неспецифическими процессами в тканях организма.

Анализ публикаций. Многослойность и различная электропроводность тканей организма обу-

славливают протекание тока по пути наименьшего сопротивления по межклеточным промежуткам, кровеносным и лимфатическим сосудам [2].

В результате возникающего электролиза создаются его вторичные продукты (кислоты, щелочи) что вызывает химический ожог. При этом появляется привыкание стимулируемого объекта (адаптация) в случае длительного воздействия током одной и той же частоты [3]. В ходе проведения сеансов облучения отсутствуют объективные оценки интенсивности воздействия, кроме болезненных ощущений самого объекта.

Электромагнитные волны могут влиять на биологические процессы, разрывая водородные связи и влияя на ориентацию макромолекул ДНК и РНК. Отдельные авторы [4] считают возможным резонансное поглощение микроволн молекулами белка, аминокислотами, пептидами, поскольку их частотные характеристики близки к тем, которые используются, в частности, при микроволновой терапии (волны длиной 10^{-1} см и волны длиной 100^{-10} см) [5].

Метод микроволнового резонансного воздействия (МРВ) при длине волны 3 – 5 мм [6]. Это при-

мер новых селективных технологий воздействия на организм электромагнитным полем.

СВЧ и магнитные воздействия на организм близки по своей природе и тем самым представляют особый интерес с точки зрения сочетанного воздействия и достигаемых при этом возможностей [7]. Сочетанное воздействие принципиально отличается от понятия комбинированного воздействия, при котором последовательно, а не одновременно применяются указанные факторы. В живой природе также происходит непрерывное сочетанное, а не комбинированное воздействие квазипостоянного магнитного поля Земли и электромагнитных полей СВЧ, находящихся в зоне радиопрозрачности земной атмосферы.

Следовательно, сочетанный магнито-СВЧ метод (МСВЧ) является новым методом информационного характера воздействия на биологические структуры, при котором чувствительность организма оказывается намного выше, чем при тепловой форме воздействия ЭМИ. Объяснение известные эффекты МСВЧ – воздействие находит с позиций ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонансов [8, 9].

Проведенный анализ показал, что развитие новых технологий выдвигает на первый план не общий метод воздействия физических факторов на человеческий организм, а поиск прежде всего избирательного (селективного) характера этого воздействия, которое по уровню мощности значительно меньше теплового, и которое принято называть в настоящее время «информационным».

Целью данной статьи является исследование того, каковы же ожидаемые технические параметры рассмотренных физических факторов в случае воздействия на биологические структуры.

Решение проблемы

При взаимодействии электромагнитной волны СВЧ-диапазона с биоструктурами происходит поля-

ризация молекул вещества и периодическая переориентация их как электрических диполей. Наложение внешнего магнитного поля приводит к ориентированию магнитного момента атома. Каждой ориентации соответствует свой энергетический уровень

$$E = g\mu_0 H M_j,$$

где M_j – магнитное квантовое число;

g, μ_0 – g -фактор и электронный или ядерный магнетон.

Каждый уровень в свою очередь расщепляется на подуровни. Примерная оценка этого расстояния по частоте (ν) показывает следующее [9]: $\nu \sim 3 \cdot 10^4 H$, где H выражено в А/м, а ν – в герцах. Если $H = 10$ кА/м, $\nu \approx 3$ ГГц, при $H = 1000$ кА/м $\nu = 30$ ГГц, т.е. энергетические переходы в подобных структурах попадают в радиочастотную область электромагнитного спектра.

Интенсивностью поглощения энергии этими переходами можно управлять, искусственно производя облучение переменным магнитным полем резонансной частоты, направленным перпендикулярно статическому магнитному полю. При таком облучении будет происходить вынужденное поглощение электромагнитной энергии. Необходимо также, чтобы переменное магнитное поле было относительно слабым, т.к. в противном случае возможно насыщение. Подобное поглощение называется электронным парамагнитным резонансом, и наблюдается он лишь в макроскопических системах.

Если спин ядра I отличен от нуля и ядро обладает магнитным моментом, то при наложении внешнего магнитного поля происходит квантование ориентаций магнитного момента ядра и образование энергетических уровней. Энергия переменного магнитного поля резонансной частоты будет поглощаться за счет вызываемых ним переходов между этими уровнями. Условие резонанса по аналогии со случаем электронного парамагнитного резонанса можно записать в виде

$$h\nu = g_{\text{я}}\mu_{\text{я}0}H,$$

где $\mu_{\text{я}0}$ – ядерный магнетон; $g_{\text{я}} = \mu_{\text{я}}/\mu_{\text{я}0}$ – ядерный фактор спектроскопического расщепления.

Ядерный магнетон в 1837 раз меньше электронного магнетона. Поэтому частоты переходов, обусловленные ядерными магнитными моментами, попадают в область порядка нескольких мегагерц при полях напряжённостью в сотни килоампер на метр, в то время как переходы, обусловленные электронными магнитными моментами при тех же магнитных полях, оказываются в микроволновой области частот.

Таким образом, имея в составе комплекса магнитные системы и СВЧ-установку, можно проводить электромагнитное взаимодействие с биоструктурой вплоть до явлений электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) либо ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при наличии ряда генераторов, либо одного широкополосного.

Методика расчета и разработка структурной составляющей КЭМВБ для проведения ЭПР, ЯМР

В окружающей природе происходит непрерывное сочетанное воздействие квазипостоянного, магнитного, а также электромагнитного полей, в т.ч. СВЧ диапазона, находящихся в зоне радиопрозрачности земной атмосферы. Подобное воздействие управляет колебательным характером процессов как на уровне организма (биоритмы системы), так и на молекулярном, а также клеточном уровне. Следовательно, сочетанный метод магнито- и СВЧ-терапии (МСВЧ) является органическим синтезом отдельно взятых указанных методов, позволяющим эффективно влиять на процессы, протекающие как на уровне организма в целом, так и в ограниченных областях биоструктур.

Поскольку формирование биоструктур в ходе эволюции происходило в магнитном поле планеты, то ядра биомолекулярных структур могли приобре-

сти ориентацию, согласованную с направлением этого поля, что передается на генетическом уровне существующих биоструктур. Клетки, возникающие в данной биоструктуре, в силу патологии могут не иметь подобную ориентацию. При действии модулированного СВЧ поля на биообъект создается значительная плотность электромагнитного излучения (ЭМИ) в локальных точках биоструктур. Детектирование модулированных СВЧ-сигналов в полупроводящих мембранах клеток создает условия для ЯМР, что ведёт к резонансному характеру воздействия ЭМИ.

Сочетанное воздействие при ЭПР более выражено, чем при ЯМР, т.к. эффективность поглощения в спектрах ЯМР мала по сравнению с ЭПР. В частности метод ЭПР позволяет активизировать окислительно-восстановительные превращения ионов Mg, Fe, Co, Ni, Cu, Mn в биоструктурах.

Расчетные характеристики для ЭПР на примере MgO. Для определения резонансной частоты, при которой происходит ЭПР воспользуемся следующей формулой [9]:

$$\nu = \frac{r \cdot 2\pi c}{q},$$

где ν – резонансная частота, при которой происходит ЭПР;

q – заряд электрона, равен $4,80325 \cdot 10^{-10}$;

r – радиус вращения частицы, $r = 2,417 \times 10^{11}$ см;

c – скорость света $2,997925 \cdot 10^{10}$ см/с.

Отсюда получим, что $\nu = 9,41756 \cdot 10^9$ Гц.

Величину магнитного поля (МП) для осуществления ЭПР определим, воспользовавшись известным соотношением

$$H_{\gamma} = h\nu/\beta g,$$

где H_{γ} – напряженность продольной составляющей МП;

ν – резонансная частота ЭПР, в данном случае $\nu = 9,41756$ ГГц;

g – фактор равен 4,2785;

$h = 6,626196 \cdot 10^{-27}$ эрг – постоянная Планка;

$\beta = 9,274096 \cdot 10^{-21}$ эрг/Гс – магнетон Бора.

Тогда имеем $H_\gamma = 1476,56$ Гс.

Для расчета уровня мощности СВЧ поля P_0 при ЭПР воспользуемся следующим выражением:

$$P_0 = N^2 \left(\frac{3V_c k T_s \Gamma}{2\pi g^2 \beta^2 S(S+1) H_\gamma Q_v} \right)^2 T_d F k b,$$

где N – наименьшее число парамагнитных центров $N = 10^{11}$;

Q_v – эффективная добротность нагруженного резонатора $Q = 5000$;

T_d – температура детектора;

T_s – температура образца, $T_d = T_s = 300$ К;

H_γ – магнитное поле в центре линии поглощения $H_\gamma = 3400$ Гс;

Γ – полуширина линии поглощения, $\Gamma = 1$ Гс;

g – джи фактор, $g = 2$;

S – состояние с полным моментом, $S = 1/2$;

V_c – объем резонатора (предполагает тип колебания H_{102}) $V_c = 11$ см³;

F – фактор шума, создаваемого любыми другими источниками, кроме шума детектора, $F = 100$;

b – ширина полосы всей системы детектирования и усиления, $b = 1$ с⁻¹;

k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К.

Это позволяет оценить величину

$$P_0 = 10^6 \text{ эрг/с, либо } 100 \text{ мВт.}$$

ЭПР реализуется при определенной микроволновой частоте, а спектр ЭПР сканируется путем линейного изменения статического МП, поскольку расстояние между энергетическими уровнями зависит от уровня напряженности.

В принципе условие резонанса $h\nu = g\beta H_\gamma$ справедливо для любых частот, поскольку ЭПР-поглощение наблюдается для магнитных полей напряженностью в несколько Гаусс, ν при этом около 3 МГц, до полей около 2000 Гс ($\nu \sim 60$ ГГц). Магнитное поле Земли порядка $\sim 0,5$ Гс.

Статическое МП должно быть достаточно стабильным и однородным в пределах облучаемого участка биообъекта. Так в случае органических свободных радикалов в жидких растворах допускается изменение поля в пределах ± 10 мГс, а для неорганических систем достаточно стабильность и однородность порядка 1 Гс.

Структура формирователя сложных сигналов электромагнитного взаимодействия с биоструктурой в КЭМВБ определяется, прежде всего, задачами сочетанного взаимодействия с биообъектом на основе интегрированной информационной сети, объединяющей высокочастотные сигналы, цифровые сигналы управления и формирователи переменных магнитных полей.

В связи с разнообразием задач, которые ставятся перед подобной установкой (рис. 1), перестраиваемый генератор СВЧ колебаний 6 должен быть включен в информационный контур ПЭВМ 2 через локальную сеть, организованную на основе процессорных сопрягающих устройств 3, 4, 5. Стабильность частоты генератора 6 обеспечивается с помощью ферритового вентиля 7, посредством которого осуществляется развязка от обратной волны в сети связи. Для регулирования уровня мощности СВЧ сигнала и выравнивания ее в каналах передачи предназначены регулируемые аттенюаторы 8, 12. Процессорное устройство 5 управляет частотой генератора 6 и уровнем мощности в канале передачи посредством аттенюатора 8, а также осуществляет амплитудную модуляцию СВЧ колебаний в модуляторе 9. Частотная модуляция обеспечивает условия для ЭПР, а амплитудная – для ЯМР. Направленный ответитель (НО) 10, амплитудный детектор 19 и устройство контроля 20 обеспечивают контроль уровня мощности и стабильности СВЧ-сигнала.

Общий вид НО, детектора, вентиля приведен на рис. 1.

Коммутатор СВЧ мощности 11 распределяет сигнал СВЧ между двумя плечами установки, в которых имеется возможность изменять уровень и фазу колебаний СВЧ излучения с помощью регулируемого аттенюатора 12 и фазовращателя 13. Это предоставляет возможность воздействовать на биообъект либо переменным по уровню, либо переменным по фазе СВЧ сигналом, либо осуществлять когерентное облучение посредством двух сканирующей

облучателей. Электрическое сканирование диаграмм направленности (ДН) облучателей 15, 17 позволяет автоматизировать выбор участка облучения на поверхности биообъекта 16 путем перемещения ДН, а также реализовать не только локальное воздействие, определяемое шириной ДН, но и облучение всей поверхности объекта, задавая необходимую скорость сканирования луча излучаемого СВЧ сигнала.

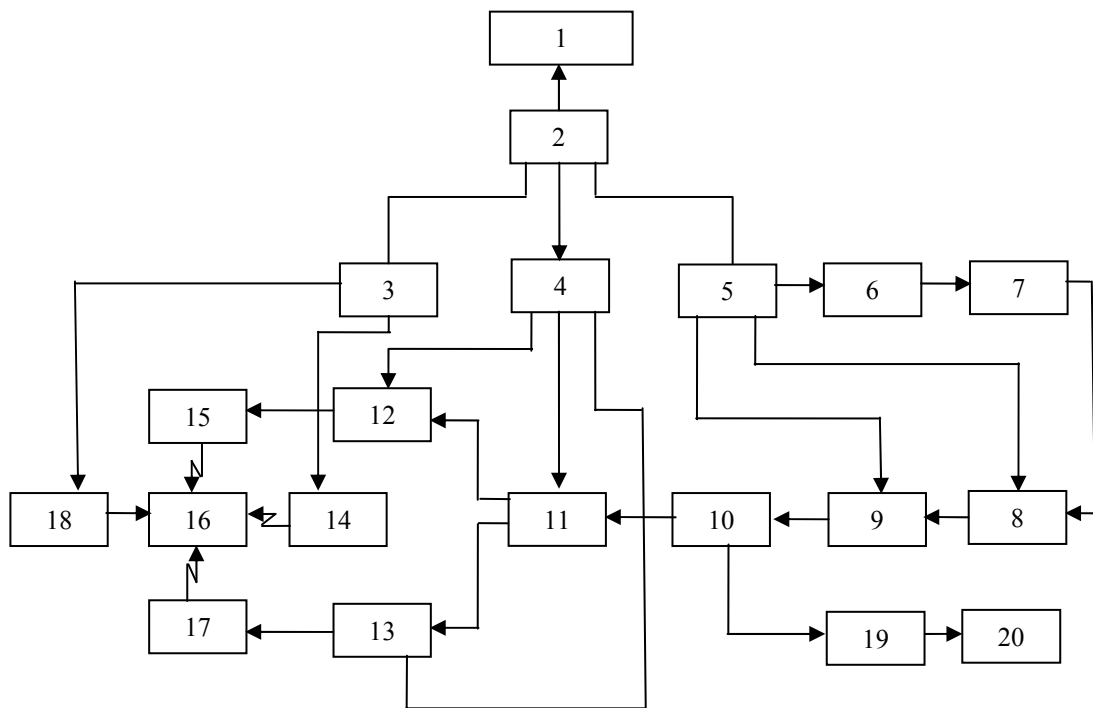


Рис. 1. Структурная схема формирования сложных электромагнитных сигналов на основе ИИС

Внешнее магнитное поле создается электромагнитом 14, управляемым от процессорного устройства 3. Ориентацией векторов магнитного поля излучателей и ДН СВЧ облучателей обеспечивается сочетанное магнито-СВЧ воздействие на выбранную область биообъекта. Общее управление установкой осуществляется ПЭВМ 2 через интегрированную информационную сеть в соответствии с заданным программным обеспечением. Модем 1 связывает ПЭВМ 2 и локальную сеть с глобальной информационной сетью.

Заключение

По своим функциональным возможностям данная установка превосходит серийные аппараты для магнитной и СВЧ физиотерапии, предназначенной, в основном, для теплового воздействия. При использовании нетепловых (информационных) доз ЭМИ понижается проницаемость тканей, имеется возможность управлять процессами метаболизма, иммуногенеза и регенерации, наблюдается стимуляция нервной деятельности, оказывается регулирующей

щее влияние на сердечно-сосудистую деятельность и дыхание.

Дополняется электромагнитное воздействие на биообъект сигналами электрической стимуляции от цифрового генератора ультранизкой частоты 18, включенного в общую интегрированную информационную сеть посредством микропроцессора 3.

В электростимуляции аппаратами электроакупунктуры по Фоллю, например, применяются главным образом импульсные электромагнитные колебания в диапазоне 0,1 – 10 Гц [9].

Существенная особенность колебаний состоит в том, что имеет место чередование импульсов и пауз, которые по своей длительности всегда больше импульсов. Сам импульс заполнен колебаниями частотой 60 – 100 МГц.

Литература

1. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизическая характеристика тканей человека. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

2. Лазарович В.Т. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. – Львов: Высш. шк., 1978. – 114 с.

3. Ясногородский В.Г. Электротерапия. – М.: Медицина, 1987. – 240 с.

4. Голант М.Б. Влияние монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности на биологические процессы // Биофизика. – 1986. – Т.31, вып. 1. – С. 139-147.

5. Радиофизические аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздействий электромагнитных колебаний / Н.Д. Девятков, Э.А. Гельвич, М.Б. Голант и др. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1981. – Вып. 9 (333). – С. 43-50.

6. Резонансные явления при действии электромагнитных волн миллиметрового диапазона на биологические объекты / А.З. Смолянская, Э.А. Гельвич, М.Б. Голант, А.М. Махов // Успехи современной биологии. – 1979. – Т.87, № 3. – С. 455-456.

7. Сорокина Е.И. Физические методы лечения в кардиологии. – М.: Медицина, 1989. – 384 с.

8. Павлович С.А. Магнитная восприимчивость организмов. – М-ск: Наука и техника, 1985. – 110 с.

9. Волькенштейн М.В. Биофизика. – М.: Наука, 1981. – 345 с.

Поступила в редакцию 28.08.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Сахацкий, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.