

**И.А. Чесноков, Е.П. Ляпина, Я.Е. Анисимов, Н.А. Бушуев,
Е.П. Мурашев, А.В. Корнаухов*, С.И. Анисимов***

ФГУП «НПП» Алмаз», г. Саратов,

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ЛОКАЛИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ КВЧ-ТЕРАПИИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

I.A. Chesnokov, E.P. Lyarina, Ya.E. Anisimov, N.A. Bushuev, E.P. Murashev,
A.V. Kornauhov*, S.I. Anisimov*

The Federal State Unitary Enterprise «SPE «Almaz», Saratov

*N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

OPTIMIZATION OF CHOICE LOCALIZATION OF EXPOSURE DURING EXTREMELY-HIGH FREQUENCIES THERAPY WITH MATHEMATICAL MODELLING

The mathematical model of interaction the energy meridians of human organism for optimization of influence during doing extremely-high frequencies therapy is presented. This mathematical model made with using mathematical methods of automatic control theory.

Для повышения эффективности терапии с использованием низкоинтенсивного электромагнитного излучения (НИ ЭМИ) крайне высокочастотного (КВЧ) диапазона в состав современных лечебно-диагностических комплексов (ЛДК) вводится блок биологической обратной связи (БОС), работающий чаще всего на принципе измерения электропроводности (ЭП) кожи в биологически активных точках (БАТ) – методы Фолля, Накатани, Нечушкина и др.

Однако применение данных методов не решает проблемы БОС. Это связано с тем, что данные, которые получает врач, не несут информации, необходимой для выбора адекватного вида и дозы НИ ЭМИ. В лучшем случае, энергетические нарушения в меридианах, выявляемые с помощью метода Накатани, позволяют определить оптимальные БАТ для рефлексотерапевтического воздействия. Параметры НИ ЭМИ выбираются в соответствии с клиническим опытом применения ЭМИ КВЧ при различной патологии [1,3,4,10]. Кроме того, использование в качестве тестирующего постоянного тока значительной величины (до 200 мкА) ведет к быстрому «утомлению» точки, что не позволяет проводить многократные исследования, необходимые для функционирования БОС.

Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным проведение работы по созданию эффективного блока БОС для ЛДК, лишённого указанных недостатков.

За основу работы блока БОС нами был взят модифицированный метод Накатани, основными отличиями которого от классического являются:

- определение ЭП кожи в БАТ не на постоянном токе, а на переменном импульсном (типа меандр);
- применение математических методов для определения локализации терапевтических воздействий с использованием НИ ЭМИ КВЧ – диапазона.

Предложенные модификации дают возможность:

- не перегружать БАТ, являющуюся своеобразным колебательным контуром, в связи с малой амплитудой входного сигнала (не более 1В) и продолжительностью импульсов воздействия (десятки мс), что позволяет проводить многократные измерения, необходимые для выбора оптимальных параметров воздействия;
- устранить зависимость между силой давления на БАТ и сопротивлением кожи, что приводит к повышению достоверности получаемых данных;
- уменьшить габариты и массу ЛДК с БОС за счет снижения энергетических потребностей при технической реализации модифицированного метода и ввести автономное питание;
- снизить требования к квалификации персонала, работающего на ЛДК, за счет автоматизации процесса принятия решений.

В настоящее время установлена четкая зависимость эффективности КВЧ - терапии от индивидуализации, т.е. правильного подбора вида, дозы и локализации воздействия [2,9,11]. Рядом авторов установлено, что для повышения биологической эффективности ЭМИ КВЧ локализация воздействия играет даже большую роль по сравнению с физическими параметрами ЭМИ. В частности, эффективность лечения язвенной болезни желудка оказалась в 2 раза больше при индивидуальном подборе зон воздействия, чем при облучении с индивидуальным подбором частоты [7]. Поэтому автоматизация процесса выбора локализации воздействия является необходимым условием создания современной, эффективной БОС, кроме того, значительно облегчающим работу врача.

Математическая модель, положенная в основу работы предлагаемого блока БОС, представлена в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих взаимодействие меридианов контролируемого биообъекта, обеспечивающее энергетический баланс в организме [6]. При этом учитываются следующие основные положения:

- Взаимодействие меридианов описывается на основе древнекитайского учения У-СИН, а суточные циклы активности каждого из меридианов соответствуют так называемому Большому Кругу Циркуляции Энергии (БКЦЭ).

- БАТ являются узлами взаимодействия меридианов с внешней средой, а также друг с другом. Физические параметры БАТ отражают энергетическое состояние соответствующих меридианов и органов. Воздействуя на них, можно корректировать нарушения энергетического состояния системы меридианов.

Таким образом, модель должна отражать принципы взаимодействия меридианов в соответствии с концепцией У-СИН и БКЦЭ, а также учитывать физические особенности БАТ и меридианов (инерционность, цикличность активности, нелинейность и некоторую неопределенность параметров).

Для построения математической модели вводятся следующие обозначения:

$x_i (i = \overline{1, \dots, 12})$ - переменная состояния энергии i -го меридиана. При этом нумерация меридианов ведется в соответствии со схемой БКЦЭ:

Меридиан	P	GI	E	RP	C	IG
Номер (i)	1	2	3	4	5	6
Меридиан	V	R	MC	TR	VB	F
Номер (i)	7	8	9	10	11	12

$U_i (i = \overline{1, \dots, 12})$ - внешнее управляющее (регулирующее) воздействие.

k_i - нелинейный коэффициент, учитывающий инерционность БАТ, соответствующую ее физической модели [8], суточную активность меридиана и его собственные колебания.

α_1 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МАТЬ-СЫН» в соответствии с концепцией У-СИН.

α_2 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «СЫН-МАТЬ» в соответствии с концепцией У-СИН.

α_3 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МУЖ-ЖЕНА» в соответствии с концепцией У-СИН.

α_4 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «противоугнетение» в соответствии с концепцией У-СИН.

α_5 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «наружный - внутренний» в соответствии с концепцией У-СИН.

α_0 - коэффициент, учитывающий дополнительные взаимосвязи в соответствии с концепцией У-СИН.

α_6 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МАТЬ-СЫН» в соответствии с концепцией БКЦЭ.

α_7 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «СЫН-МАТЬ» в соответствии с концепцией БКЦЭ.

α_8 - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «полдень - полночь» в соответствии с концепцией БКЦЭ.

β_1 - коэффициент (в общем случае - нелинейный), учитывающий особенности аппаратуры, в т.ч. вид БОС, а также тип измерительного воздействия по Накатани и характер внешнего воздействия.

При этом коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_0, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, k_1, \beta_i$ имеют интервальный характер, т.е. могут изменяться случайным образом в некоторых определенных пределах

$$(\alpha_i \in [\underline{\alpha}_i, \bar{\alpha}_i]; k_i \in [\underline{k}_i, \bar{k}_i]; \beta_i \in [\underline{\beta}_i, \bar{\beta}_i]).$$

Кроме того, коэффициенты $\alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, k_i$, являются функциями, отражающими цикличность активности меридианов:

$$\text{Период функций } T = \frac{2\pi}{\omega} = 24 \text{ часам.}$$

$$f = \lambda(\sin(\omega t + \varphi)), \text{ где } \lambda - \text{весовой интервальный коэффициент.}$$

Рассмотрим математическую модель системы энергетических меридианов, основанную на описанных принципах, с учетом введенных обозначений.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dx_1}{dt} &= -k_1x_1 + \alpha_4x_4 - \alpha_2x_8 - \alpha_3x_5 + \alpha_4x_{12} - \alpha_9x_9 - \alpha_5x_2 + \alpha_6x_{12} - \alpha_7x_2 + \alpha_8x_7 + \beta_1u_1 \\
 \frac{dx_2}{dt} &= -k_2x_2 + \alpha_1x_3 - \alpha_2x_7 - \alpha_3x_6 + \alpha_4x_{11} - \alpha_9x_{10} - \alpha_5x_1 + \alpha_6x_1 - \alpha_7x_3 + \alpha_8x_8 + \beta_2u_2 \\
 \frac{dx_3}{dt} &= -k_3x_3 + \alpha_1x_6 - \alpha_2x_2 - \alpha_3x_{11} + \alpha_4x_7 - \alpha_9x_{10} - \alpha_5x_4 + \alpha_6x_2 - \alpha_7x_4 + \alpha_8x_9 + \beta_3u_3 \\
 \frac{dx_4}{dt} &= -k_4x_4 + \alpha_1x_5 - \alpha_2x_1 - \alpha_3x_{12} + \alpha_4x_8 - \alpha_9x_9 - \alpha_5x_3 + \alpha_6x_3 - \alpha_7x_5 + \alpha_8x_{10} + \beta_4u_4 \\
 \frac{dx_5}{dt} &= -k_5x_5 + \alpha_1x_{12} - \alpha_2x_4 - \alpha_3x_8 + \alpha_4x_1 - \alpha_5x_6 + \alpha_6x_4 - \alpha_7x_6 + \alpha_8x_{11} + \beta_5u_5 \\
 \frac{dx_6}{dt} &= -k_6x_6 + \alpha_1x_{11} - \alpha_2x_3 - \alpha_3x_7 + \alpha_4x_2 - \alpha_5x_5 + \alpha_6x_5 - \alpha_7x_7 + \alpha_8x_{12} + \beta_6u_6 \\
 \frac{dx_7}{dt} &= -k_7x_7 + \alpha_4x_2 - \alpha_2x_{11} - \alpha_3x_3 + \alpha_4x_6 - \alpha_9x_{10} - \alpha_5x_8 + \alpha_6x_6 - \alpha_7x_8 + \alpha_8x_1 + \beta_7u_7 \quad (1) \\
 \frac{dx_8}{dt} &= -k_8x_8 + \alpha_1x_1 - \alpha_2x_{12} - \alpha_3x_4 + \alpha_4x_5 - \alpha_9x_9 - \alpha_5x_{10} + \alpha_6x_7 - \alpha_7x_9 + \alpha_8x_2 + \beta_8u_8 \\
 \frac{dx_9}{dt} &= -k_9x_9 + \alpha_1x_{12} - \alpha_2x_4 - \alpha_3x_8 + \alpha_4x_1 - \alpha_5x_{10} + \alpha_6x_8 - \alpha_7x_{10} + \alpha_8x_3 + \beta_9u_9 \\
 \frac{dx_{10}}{dt} &= -k_{10}x_{10} + \alpha_1x_{11} - \alpha_2x_3 - \alpha_3x_7 + \alpha_4x_2 - \alpha_5x_9 + \alpha_6x_9 - \alpha_7x_{11} + \alpha_8x_4 + \beta_{10}u_{10} \\
 \frac{dx_{11}}{dt} &= -k_{11}x_{11} + \alpha_1x_7 - \alpha_2x_6 - \alpha_3x_2 + \alpha_4x_3 - \alpha_9x_{10} - \alpha_5x_{12} + \alpha_6x_{10} - \alpha_7x_{12} + \alpha_8x_5 + \beta_{11}u_{11} \\
 \frac{dx_{12}}{dt} &= -k_{12}x_{12} + \alpha_1x_8 - \alpha_2x_5 - \alpha_3x_1 + \alpha_4x_4 - \alpha_9x_9 - \alpha_5x_{11} + \alpha_6x_{11} - \alpha_7x_1 + \alpha_8x_6 + \beta_{12}u_{12}
 \end{aligned} \right\}$$

Применение интервальных коэффициентов позволяет несколько упростить математическую модель, т.к. интервалы изменения коэффициентов учитывают неопределенности и нелинейности, присущие любым физическим объектам и биологическим объектам в частности. Такой подход позволяет создавать вполне адекватные модели реальных физических объектов, не повышая порядок дифференциальных уравнений системы и не вводя в модель дополнительных нелинейных элементов.

Запись математической модели системы (1) в матричной форме, с использованием функциональных матриц [5], позволяет применять при

анализе и синтезе систем автоматического регулирования и управления общепринятые подходы:

$$\frac{dX}{dt} = A(X, t)X + B(X, t)U, \quad (2)$$

где $X \in R^n$ – вектор состояний системы; $U \in R^m$ – вектор внешних управляющих воздействий; $A(X, t)$ и $B(X, t)$ – функциональные интервальные матрицы соответствующих размеров.

С точки зрения теории автоматического управления (ТАУ) задача синтеза системы состоит в определении закона управления (в нашем случае – это основа функционирования БОС), который может быть представлен в следующем виде:

$$U = C^T(X, t)X, \quad (3)$$

где $C(X, t)$ – матрица искоемых параметров управления, задающая замкнутой системе желаемое динамическое поведение:

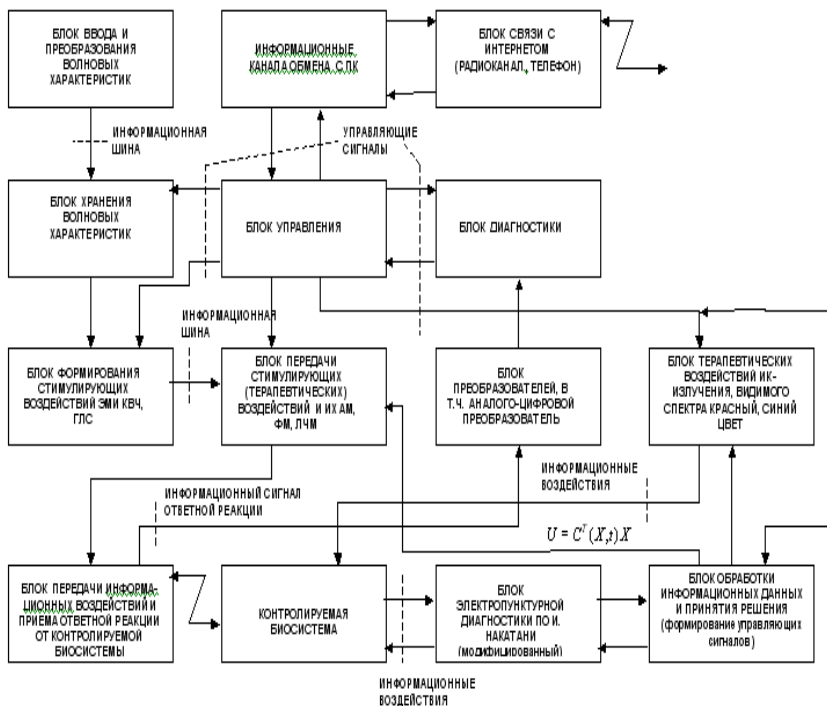
$$\frac{dX}{dt} = [A(X, t) + B(X, t)C^T(X, t)] * X. \quad (4)$$

В нашем случае, с помощью закона управления (3), энергетические характеристики меридианов входят в так называемый «коридор нормы», при минимальных временных и энергетических затратах биообъекта, что позволяет считать воздействие, осуществляемое с помощью предлагаемого ЛДК с БОС, щадящим.

Таким образом, можно представить БОС как следящую систему, в качестве целевой траектории для которой выбраны идеальные энергетические показатели здорового организма (4).

Сигнал управления (3), в сущности, является сигналом, который управляет генераторами КВЧ - диапазона, и может менять, при необходимости, параметры КВЧ–воздействия.

Выбор БАТ, осуществляемый с помощью разработанной программы, позволяет минимизировать количество точек и время воздействия, что наряду с оптимизацией параметров НИ ЭМИ сигнала лежит в основе высокой эффективности работы лечебно-диагностических комплексов.



Структурная схема лечебно-диагностического комплекса (ЛДК) с биологической обратной связью (БОС)

Библиографический список

1. КВЧ-терапия низкоинтенсивным шумовым излучением / В.А. Балчугов, А.Г. Полякова, С.И. Анисимов и др. // Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та. 2002. 189 с.
2. Голант М.Б. Резонансное действие когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн на живые организмы / М.Б. Голант. // Биофизика. 1989. Т. XXIV(6). С. 1007-1614.
3. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессе жизнедеятельности / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий. М.: Радио и связь. 1991. 168 с.
4. Биологическая обратная связь как необходимый элемент эффективной терапии низкоинтенсивным электромагнитным излучением / Е.П. Ляпина, И.А. Чесноков, Н.А. Бушуев и др. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2004. № 1(7). С. 117-126.

5. Подчукаев В.А. Устойчивость, качество и коррекция систем автоматического управления / В.А. Подчукаев. Саратов. Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 190 с.

6. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия / Ф.Г. Портнов. Рига: Зинатие, 1987. 352 с.

7. Многозональная КВЧ – терапия / М.В. Теппоне, А.Н. Веткин, А.А. Кротенко, О.И. Миляев // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: сб. докл. Междунар. симпоз. М: ИРЭ АН СССР, 1991. Т.1. С. 201-207.

8. Холодный Б.П. Элементы анализа физической модели акупунктурной точки как звена системы автоматической регуляции биологического объекта / Б.П. Холодный, А.Я. Уклейн, С.Г. Брянцев // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: сб. докл. Междунар. симпоз. М: ИРЭ АН СССР, 1991. Т.2. С. 321-323.

9. Реакции биосистем различной сложности на воздействие КВЧ - излучения низкой интенсивности / Г.М. Черняков, В.Л. Корочкин, А.П. Бабенко, Е.В. Бигдай // Миллиметровые волны в медицине и биологии: сб. докл. Междунар. симпоз. М: ИРЭ АН СССР 1989. С. 140-167.

10. Чесноков И.А. Диагностические комплексы с использованием аппаратов КВЧ – терапии и биологической обратной связи / И.А. Чесноков, Е.П. Ляпина, Ю.Ю. Елисеев // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2003. № 1(6). С. 99-103.

11. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ / Е.Н. Чуян, Н.А. Темуриянц, О.Б. Московчук и др. Симферополь: ЧП «Эльфинь», 2003. 448 с.