

РАЗРАБОТКА СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АППАРАТУРЫ  
С МИНИМИЗАЦИЕЙ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПАТОГЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.В. ЛАРКИН, С.А. ЯШИН

*Тульский государственный университет, пр-т Ленина, д.92, г. Тула, Россия, 300012*

**Аннотация.** В статье предложен, разработан и на схемотехническом уровне апробирован синергетический подход к созданию электромагнитной аппаратуры широкого ареала применения с минимизацией несанкционированных побочных патогенных излучений. Показано, что в последние годы вопросу минимизации воздействующего на медицинский персонал патогенного излучения при разработке процедур и аппаратуры электромагнитной физиотерапии уделяется особое внимание. В работе сформулированы основные принципы при организации синергетических биотехнических систем электромагнитной терапии. Указано, что современный этап исследования и разработки систем защиты персонала характеризуется реализацией синергетического принципа при организации соответствующих биотехнических систем, которые имеют многоступенчатую иерархическую организацию. Соблюдение данного принципа при проектировании биотехнического контура позволяет одновременно повысить эффективность целевого действия аппаратуры и минимизировать побочные патогенные эффекты для персонала предприятий и учреждений. На примере проектирования аппаратуры крайневыхочастотной терапии рассмотрен синергетический подход к разработке аппаратуры с минимизацией патогенного воздействия на персонал. Приведена разработанная конструкция и основная элементно-узловая база устройства КВЧ-терапии, позволяющего реализовать режимы комплексного воздействия на пациента различных физиотерапевтических факторов с целью обеспечения биологических эффектов на многих иерархических уровнях организма и повышения эффективности проводимой терапии, а также исключить побочные эффекты. Аргументированы преимущества данного устройства по сравнению с другими известными техническими решениями и разработками.

**Ключевые слова:** синергетический подход, принцип, аппаратура, излучение, персонал, электромагнитная терапия.

DEVELOPMENT OF SYNERGETIC ELECTROMAGNETIC EQUIPMENT WITH MINIMIZATION OF  
UNAUTHORIZED PATHOGENIC RADIATION

E.V. LARKIN, S.A. YASHIN

*Tula State University, av. Lenin, 92, Tula, Russia, 300012*

**Abstract.** In this paper the authors present a synergetic approach developed and circuit level proven to the creation of electromagnetic equipment of the wide range of application with the minimization of unauthorized side of pathogenic radiation. In recent years, the issue of minimizing exposure to medical personnel pathogenic radiation when developing procedures and equipment electromagnetic physiotherapy is given special attention. In this paper the basic principles in development of synergetic biotechnical systems of the electromagnetic therapy have been formulated. The authors indicated that the modern stage of research and development personnel protection systems characterized by the implementation of synergistic principles for organization of relevant biotechnical systems that have a multi-level hierarchical organization. Observance of this principle in the design of the biotech circuit allows simultaneously to increase the effectiveness of actions equipment and to minimize adverse pathogenic effects for the personnel of enterprises and institutions. Synergetic approach to development of equipment with minimization of the pathogenic effect on staff is considered on the example of the hardware design of extremely high frequency therapy. The authors propose the developed design and basic element-anchor base of the device EHF therapy, which allow to realize the modes of a complex influence on the patient's various physiotherapeutic factors to ensure the biological effects on many hierarchical levels of the body and to improve the effectiveness of the therapy, and to avoid side effects. The authors argue the benefits of this device compared with other known technical solutions and developments.

**Key words:** synergetic approach, principle, equipment, radiation, staff, electromagnetic therapy.

Как известно, в электромагнитной физиотерапии используются процедуры, включающие в себя крайневыхочастотную терапию (КВЧ-терапию), магнитотерапию, включая вихревую, лазеротерапию. Эту группу терапевтических процедур объединяет тот фактор, что эндогенными агентами воздействия на организм являются низкоинтенсивные электромагнитные излучения (ЭМИ) и магнитные поля (МП). Они полезны для пациента, но вредны для медперсонала.

Используемые человеком поля по своим характеристикам (частота, мощность, поляризация, киральность и пр.) отличаются от природных *электромагнитных полей* (ЭМП), в процессе эволюции ставших имманентными процессам жизнедеятельности. Поэтому с осознанием этого факта в последние десять лет внимание разработчиков соответствующих процедур и ЭМ-защиты и обеспечивающей их аппаратуры привлечено не только к достижению терапевтического эффекта, но во многом к минимизации патогенных воздействий:  $\text{Max}[\text{Ter}] \gg \text{min}[\text{Pat}]$ . (1)

Однако неравенство (1) является лишь желательным условием, но не строгим законом. Последний – в самой общей форме – имеет вид:

$$F = \text{opt}\{\text{max}[\text{Ter}]; \text{min}[\text{Pat}]\}, \quad (2)$$

где *opt* – оператор функциональной оптимизации, а *F* – регулирующая функция, в данном случае – общесистемный закон распределения.

Известен такой закон, согласно которому в любой сложной, целостной и устойчивой системе все возможные варианты оптимизации *opt* подчиняются гиперболическому ранговому распределению, то есть закон *F* (2) действителен в функциональном пространстве геометрии Лобачевского – гиперболической геометрии. Заметим, что такой закон в зависимости от конкретной области применения – имеет различные названия, например, в экономике – закон Парето и т.п. Геометрическая иллюстрация закона *F* (2) такова: площадь под гиперболой динамически изменяется при стабильности формы гиперболы.

Поскольку живые организмы относятся к указанным системам, то справедливо утверждение, что процесс оптимизации биотехнической системы электромагнитной защиты подчиняется общесистемному гиперболическому ранговому распределению (2), что позволяет, в принципе, минимизировать  $\text{min}[\text{Pat}]$  патологические сопутствующие эффекты.

Из этого утверждения следует, что минимизация  $\text{min}[\text{Pat}]$  пропорциональна уменьшению интенсивности воздействующего на организм ЭМП и приближению его характеристик (мощность, частота, частота модуляции, киральность, поляризация) к характеристикам естественных ЭМП, имманентных процессам жизнедеятельности, что подтверждается исследованиями, например, С.П.Ситько [8, 9, 11].

Справедливо также утверждение, что биотехническая система электромагнитной терапии, включающая в себя контур «организм – излучающая аппаратура», замкнутый по системе обратных связей, является самоорганизующейся, синергетичной, то есть открытой, устойчиво неравновесной и нелинейной, на рабочем участке – квазилинейной.

**Цель исследования** – разработка и схемотехническая апробация синергетического подхода к созданию электромагнитной аппаратуры с минимизацией несанкционированных побочных патогенных излучений на персонал.

Синергетически спроектированная биотехническая система является оптимальной и характеризуется тем, что в ней действует процесс самоизменения ее структуры, направленный на увеличение степени организации, векторизованной на переход от хаоса к упорядочению – по И. Пригожину [5-7].

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать основные принципы при организации синергетических биотехнических систем электромагнитной терапии:

- движение от первоначального хаоса к упорядочению, то есть автоматический поиск наиболее устойчивого режима работы биотехнического контура;
- структура системы задается «изнутри», то есть ее функционирование не определяется факторами, внешними по отношению к биотехнической системе; оператор же выполняет только функции контроля;
- функционирование биотехнической системы не определяется начальными условиями; это противоречит самому определению самоорганизующейся системы;
- устойчивая работа системы не требует притока и оттока энтропии извне, только затрат не векторизованной энергии;
- самоорганизация биотехнической системы адекватна увеличению ее разнообразия, конфигурационной свободы; при этом система характеризуется избыточной информацией и поглощением, преобразованием, свободной энергии;
- синергетическая система характеризуется повышением функциональности при кооперативности процессов; для биотехнических систем электромагнитной защиты это проявляется в части снижения патогенности воздействия при расширении диапазона варьирования характеристик воздействующего ЭМП;
- синергетическая биотехническая система требует постоянного совершенствования, иначе неизбежна ее деградация, понимаемая как отставание ее возможностей от уровня развития научного знания, в частности, в физиологии, биофизике, биохимии, медицинском приборостроении; в данном рассмотрении – в части электромагнитной защиты персонала.

Кроме названных принципов действуют и другие, сравнительно просто раскрываемые для конкретности биотехнических систем электромагнитной защиты: самоорганизация выполняется скачкообразно; для синергетических систем выполняется закон постоянства суммы энтропии (*S*) и информации (*I*):  $S+I=\text{Const}$ ; в самоорганизующихся системах информационное (*I*) действие превышает энергетическое (*E*):  $I \gg E$ ; соотношение степени порядка и хаоса в синергетической системе подчиняется гармоническому закону; малые флуктуации в самоорганизующейся системе могут в определенных ситуациях усиливаться и «руководить» системой (прин-

цип И.Пригожина); самоорганизация возникает только при нарушении симметрии процесса и/или среды – по И.Пригожину [5-7].

Таким образом, современный этап исследования и разработки систем защиты персонала характеризуется реализацией синергетического принципа при организации соответствующих биотехнических систем. Последние имеют многоступенчатую иерархическую организацию, а соблюдение его при проектировании биотехнического контура позволяет одновременно повысить эффективность рабочего, целевого действия аппаратуры и минимизировать побочные патогенные эффекты для персонала предприятий и учреждений.

Теперь перейдем от краткого введения в проблематику к основным принципам разработки синергетической аппаратуры.

**Материалы и методы исследования.** *Синергетический подход к разработке КВЧ-аппаратуры с минимизацией патогенного воздействия на персонал.* Рассмотрим – ввиду обширности темы, требующей отдельного рассмотрения – данный вопрос на примере проектирования синергетической аппаратуры КВЧ-терапии, которая для медперсонала является существенным источником патогенных воздействий (но саногенных для пациентов!).

Перспективно, например, устройство для воздействия на пациента *электромагнитного излучения крайне высокой частоты* (КВЧ ЭМИ), содержащие полупроводниковый генераторный диод, включенный между двумя планарными проводниками и запитываемый от источника постоянного тока через фильтр нижних частот в виде конструктивной емкости, образованной низкоимпедансным отрезком коаксиальной или планарной линии. Отсутствие четко выраженного колебательного контура в конструкции такого генератора обеспечивает широкополосную шумовую генерацию, диапазон частот которой определяется преимущественно параметрами генераторного диода. Отсутствие настроечных (перестроечных) элементов в генераторе не позволяет оптимизировать амплитудно-частотную характеристику устройства, в связи с чем функциональные возможности устройства весьма ограничены. Для широкополосного некогерентного излучения не удастся известными средствами осуществить необходимую биоадекватную поляризацию воздействующих *электромагнитных волн* (ЭМВ). Из конструктивных соображений в таком устройстве трудно обеспечить повышение терапевтической эффективности и за счет включения в процесс лечения иных физиотерапевтических факторов, например, постоянных магнитных полей, источник которых был бы органично связан с излучателем, а поляриность магнитного поля соответствовала характеру патологии.

Эффективно устройство для электромагнитной КВЧ-терапии, содержащей генератор, диэлектрический стержень, диэлектрический цилиндр из вспененного полимерного материала, цилиндрический волновод, волноводный рупор, втулку для крепления рупора и диэлектрическую насадку. Конструкция указанного устройства преимущественно решает задачу вывода электромагнитного излучения КВЧ-диапазона из генератора и ввода его в *биологически активные точки* (БАТ) на теле человека. Наличие в устройстве цилиндрического волновода и волноводного конусного рупора позволяет сформировать структуру (конфигурацию) ЭМП так, что допускается любая взаимная ориентация излучателя и тела человека — в отличие от излучателей полоскового или пирамидального типа, где взаимное расположение излучателя и биообъекта строго детерминировано, что затрудняет проведение терапевтических процедур и получение положительного эффекта. Однако неопределенность конструктивных признаков в генераторе ЭМИ, которые позволили бы обеспечить когерентность излучения, варьировать поляризацию ЭМВ в соответствии с характером заболевания и осуществить амплитудную или частотную модуляцию излучения, не позволяют считать указанное устройство КВЧ-терапии в достаточной мере свободным от недостатков.

Наконец, возможно решение устройства для КВЧ-терапии, содержащего полупроводниковый генераторный диод, то есть диод Ганна, установленный между широкими стенками отрезка прямоугольного волновода номинального сечения и запитываемый от источника смещения через фильтр нижних частот, установленный в широкой стенке отрезка прямоугольного волновода, к одному концу которого, являющемуся отражающим, подключен отрезок волновода запредельного сечения с поглощающей, балластной нагрузкой, а другой конец отрезка прямоугольного волновода является выходным и обращен к пациенту. Наличие отрезка запредельного для основного типа колебаний волновода с установленной в нем балластной нагрузкой позволяет обеспечить отражение волны основного типа и отфильтровывать колебания второй и более высоких гармоник основного типа колебаний и таким образом обеспечить получение высококогерентного сигнала и потенциально повысить биологический и терапевтический эффекты ЭМИ. Однако вследствие отсутствия четко выраженного резонансного колебательного контура в таком устройстве и вследствие того, что для существующих полупроводниковых генераторных диодов КВЧ-диапазона, то есть диодов Ганна, лавинно-пролетных диодов) характерна довольно сложная форма тока с высокой долей гармоник, остающейся доли основного типа колебаний может оказаться недостаточно для достижения необходимого воздействующего эффекта. Кроме того, отсутствие в указанном устройстве возможности управления амплитудно-частотной характеристикой, как и режимом модуляции, не позволяет адаптировать режим работы устройства к лечению конкретного пациента и конкретной нозологии, а также способствует увеличению несанкционированного патогенного воздействия на обслуживающий персонал.

В основу настоящей разработки поставлена задача создания устройства КВЧ-терапии, которое могло бы реализовать режимы комплексного воздействия на пациента различных физиотерапевтических факторов,

которые позволяют обеспечить биологические эффекты на многих иерархических уровнях организма и за счет этого повысить эффективность способа терапии и *исключить побочные эффекты*. Разработанная конструкция устройства (рис. 1) позволяет это осуществить.

Устройство содержит отрезок 1 прямоугольного волновода, полупроводниковый генераторный диод 2 (преимущественно диод Ганна), подключенный через фильтр нижних частот 3 к источнику питания (на рисунке не показан), отрезок коаксиальной линии 4, короткозамыкающий поршень 5, выходной волновод 6, узел крепления полупроводникового диода 7, ферритовый вкладыш 8, установленный в щелевом зазоре коаксиальной линии. К выходному волноводу 6 подключен электроуправляемый аттенуатор 9 на *n-i-p-i-n*-диоде 10, подключенный через фильтр нижних частот 11 (проходной конденсатор) к источнику модулирующего напряжения (на рисунке не показан). Аттенуатор 9 подключен к входу преобразователя типов волн 12, который преобразует ЭМВ типа  $H_{10}$  в волну типа  $H_{11}$  и конструктивно представляет собой плавный волноводный переход с прямоугольного поперечного сечения на круглое поперечное сечение. Выход преобразователя подключен к входу девиатора поляризации волн 13, который своим выходным концом входит в отверстие кольцевого магнита 14, обращенного к облучаемому участку тела пациента и непосредственно к нему примыкающего, причем обращенность северным или южным полюсом к пациенту определяется конкретными терапевтическими задачами.

При подаче номинального постоянного напряжения высокой стабильности на установленный в узле крепления полупроводниковый генераторный диод 2 последний возбуждается на резонансной частоте, определяемой импедансом полупроводникового диода и цепи, образованной короткозамкнутым отрезком волновода 1 и коаксиальной линией 4. Так как импеданс полупроводникового диода 2 емкостного характера, преимущественно из-за емкости дипольного слоя, временных задержек на формирование и рассасывание доменов, емкости кристаллодержателя, то длина волноводного отрезка с короткозамыкающим поршнем выбирается равной четверти длины волны, его входное сопротивление в зависимости от длины волны имеет вид, представленный на рис. 2, где кривой *a* соответствует идеализированная картина – без учета потерь в поршне, кривым *b* и *v* – соответствует ситуация с увеличивающимися от *b* к *v* потерями.

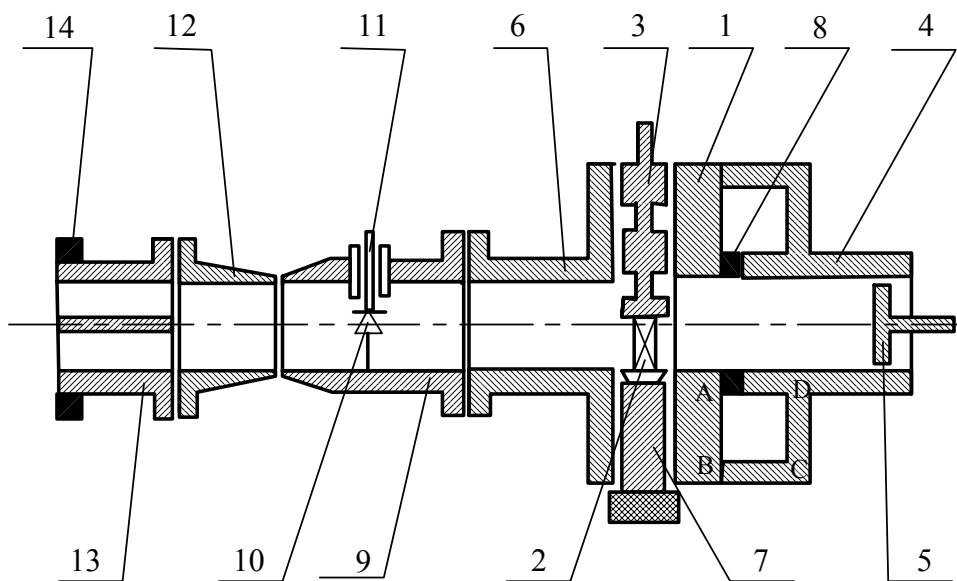


Рис. 1. Конструкция устройства электромагнитной терапии (разработана совместно с И.И.Соколовским и С.И.Соколовским, Днепропетровск) [10]

Изменение длины короткозамкнутого отрезка позволяет механически изменять частоту ЭМИ. Поскольку импеданс полупроводникового генераторного диода является частотно-зависимым, то при некоторых условиях индуктивного импеданса отрезка волновода с плохо подогнанным короткозамыкающим поршнем может оказаться недостаточно для выполнения условия резонанса в диапазоне частот, задаваемых резонатором. Как следствие, возможны скачки частоты, срывы генерации при перестройке. В данной разработке эти нежелательные явления предотвращены благодаря наличию большой индуктивности, создаваемой введенным отрезком коаксиальной линии.

Это индуктивное сопротивление, вносимое в колебательный контур, создается следующим образом. В соответствии с выбранными размерами введенной коаксиальной линии (выбор будет мотивирован ниже) в точке *B*, расположенной на расстоянии четверти длины волны от замкнутого конца *C*, протекающие токи минимальны, сопротивление велико и по отношению к точке *A*, находящейся на расстоянии в полдлины волны, участок *AB* представляет собой разомкнутую полуволновую линию, входное сопротивление в точке

$A$  представляет собой положительную реактивность (индуктивность) и велико по модулю. Причем, так как в точке  $C$  обеспечивается истинно нулевое сопротивление (соединение может быть реализовано пайкой, сваркой), а в точке  $B$  соединение обеспечено механической стяжкой или сваркой, то в реальной конструкции величину индуктивности можно сделать достаточно большой. Отрезок волновода с короткозамыкающим поршнем и отрезок коаксиальной линии при условии пренебрежения потерями могут быть представлены в виде реактивной цепи – рис. 3.

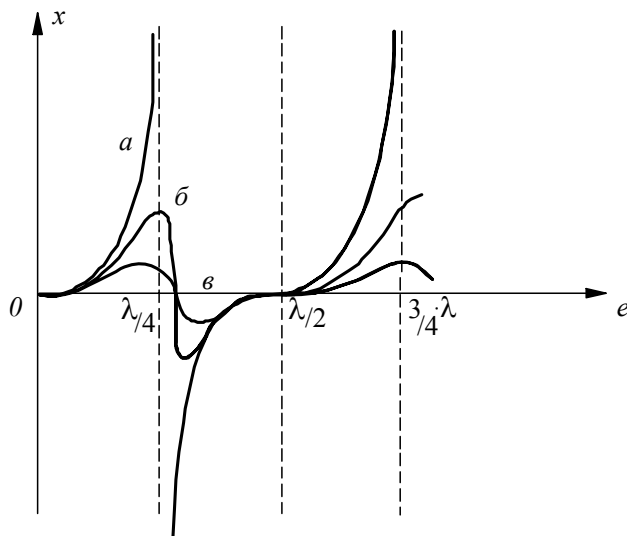


Рис. 2. Зависимость входного сопротивления короткозамкнутого отрезка волновода различной длины и при различных (возрастающих от  $a$  к  $b$ ) величинах потерь в нем

Здесь  $C_{кп}$  – емкость, образованная межконтактным зазором в короткозамыкающем поршне;  $L_a(H)$  – индуктивность отрезка коаксиальной линии, участок  $AD$  которой заполнен ферритом, а реактивное сопротивление может быть записано в виде:

$$X = \omega L_a \left( \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega^2 - \omega_1^2} \right) \quad (3)$$

где  $\omega_1^2 = 1/L_{кп}C_{кп}$ ,  $\omega_0^2 = \omega_1^2 + 1/L_a(H)C_{кп}$ ;  $L_{кп}$  – индуктивность короткозамкнутого четвертьволнового отрезка волновода.

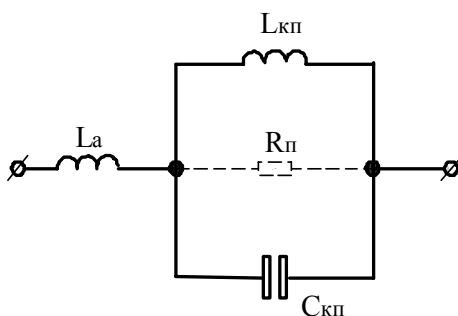


Рис. 3. Эквивалентная схема резонансной системы с учетом емкости межконтактного зазора в короткозамыкающем поршне и индуктивности введенного отрезка коаксиальной линии

Поскольку собственная добротность колебательной системы определяется выражением  $Q_{нн} = \omega L_{\Sigma} / R_{п}$ , где  $L_{\Sigma}$  – эквивалентная индуктивность,  $R_{п}$  – сопротивление потерь (рис. 3), то повышение добротности колебательной системы, с одной стороны, повышает эффективность контролирующего влияния КВЧ ЭМП на доменную неустойчивость в полупроводниковом генераторном диоде (диоде Ганна) и тем самым расширяет частотный диапазон генерации и эксплуатационную надежность устройства, а с другой стороны, повышение добротности приводит к повышению когерентности излучения, что особо важно для собственно терапии и снижения уровня побочных, патогенных ЭМИ. Причем широкополосная перестройка частоты достигается путем перемещения короткозамкнутого поршня, быстродействующая магнитная перестройка за счет изменения магнитной проницаемости ферритового вкладыша 8 при изменении напряженно-

сти магнитного поля, создаваемого, например, конструктивным соленоидом. Изменение значений  $L_a(H)$  приводит к изменению значений реактивного сопротивления (кривые I, II, III на рис. 4) и, соответственно, частоты генерации. Для реализации требуемой внутримпульсной перестройки частоты управляющие устройства амплитудной модуляции и частотной модуляции надлежащим образом взаимосвязаны.

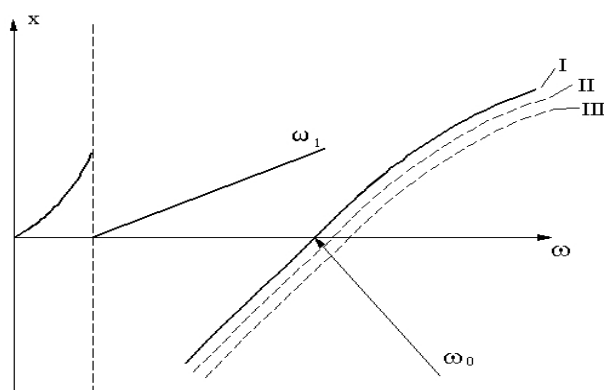


Рис. 4. Частотная характеристика сопротивления резонансной системы, где поз. I, II, III соответствуют различной намагнитченности ферритового вкладыша

Как видно из рис. 4, существует достаточно протяженный интервал частот, в котором реактивное сопротивление цепи имеет положительное (индуктивное) сопротивление.

Как указывалось, для повышения собственной добротности генератор содержит короткозамкнутый отрезок коаксиальной линии, размещенный соосно с продольной осью отрезка прямоугольного волновода, связанного с отрезком коаксиальной линии при помощи щелевого зазора, выполненного в его стенках в плоскости поперечного сечения между полупроводниковым диодом и подвижным короткозамыкателем. В щелевом зазоре размещен ферритовый вкладыш, а короткозамкнутый отрезок коаксиальной линии выбран длиной  $1/4\lambda_{0cp}$ , где  $\lambda_{0cp}$  – длина волны электромагнитного излучения в середине рабочего диапазона, с внутренним диаметром  $D_g$  внешнего проводника, удовлетворяющим соотношению  $D_g \leq \epsilon + \lambda_{0,мин}$ , где  $\epsilon$  – высота отрезка прямоугольного волновода;  $\lambda_{0,мин}$  – минимальная длина волны, и внешним диаметром  $d$  внутреннего проводника, удовлетворяющим соотношению  $d \geq \sqrt{a^2 + \epsilon^2}$ , где  $a$  – ширина поперечного сечения отрезка прямоугольного волновода. Указанные соотношения между поперечными размерами волновода и отрезка коаксиальной линии являются конструктивными признаками генератора, и их выполнение обеспечивает включение в состав колебательной системы конструктивной индуктивности.

Введение в устройство отрезка коаксиальной линии с указанными поперечными и продольными размерами обеспечивает включение в состав колебательной системы большой по модулю положительной реактивности (индуктивности), что резко повышает собственную добротность колебательной системы и, соответственно, обеспечивает высокую когерентность электромагнитного излучения и низкую модуляционную чувствительность, то есть неизменность частоты генерируемого излучения при паразитных уходах напряжения питания на полупроводниковом генераторном диоде.

Высококогерентный сигнал обладает высокой проникающей способностью в биоткань, что обеспечивает его взаимодействие со значительным числом биоструктур. При этом указанная когерентность и фазовый характер взаимодействия излучения с биотканью приводит к быстрому – на малом участке распространения ЭМВ – изменению пространственно-временных распределений интенсивности излучения, что проявляется в появлении «пятнистой» структуры поля не только на поверхности биоткани, но и в ее глубине. При этом энергетически значимыми в смысле максимального воздействия на биоткань оказываются распределения интенсивности, хорошо согласованные по микроструктуре со значительным объемом облучаемой биоткани. Вследствие такой согласованности будет происходить взаимодействие ЭМИ с многокомпонентным ансамблем биомолекул, молекул-рецепторов и т.п., и вследствие их кооперативного взаимодействия, частотно- и фазово-согласованных, реализуется планируемый эффект.

С целью выбора оптимальной частоты ЭМИ и для оперативного управления частотой используется установленный в щелевом зазоре коаксиальной линии ферритовый вкладыш, параметры которого изменяются магнитным полем, создаваемым, например, конструктивным соленоидом. Такое магнитное управление частотой излучения существенно эффективнее по сравнению с управлением частотой с помощью варикапа в том отношении, что исключаются скачки частоты и мощности при перестройке, достигается линейное изменение частоты с изменением магнитного поля в большом диапазоне перестройки, что предопределяет возможность гибкого управления частотой излучения.

**Результаты и их обсуждение.** В отличие от известных СВЧ- и КВЧ-генераторов, работающих в импульсном режиме, в которых амплитудная модуляция ЭМИ достигается за счет использования импульсного источника

питания генераторного диода и вследствие этого значительная часть радиоимпульса (при «включении»-«выключении») содержит частоты, определяющиеся не настройкой колебательной системы, а переходными процессами нагрева-охлаждения генераторного диода, в данной синергетической конструкции амплитудная модуляция излучения достигается за счет периодического поглощения непрерывного установившегося излучения в электроуправляемом аттенуаторе, преимущественно на *n-i-p-i-n*-диоде, выполняющем роль амплитудного трактового модулятора, где времена переключения состояний «включено»-«выключено» менее  $10^{-7}$  с, что позволяет формировать прерывистое излучение с любой формой радиоимпульсов без нарушения когерентности излучения и с легко управляемой глубиной модуляции мощности. Последнее важно в том отношении, что позволяет привлечь к процессу лечения дополнительные механизмы регуляции гомеостаза.

Так как современные электроуправляемые аттенуаторы могут обеспечивать глубину модуляции мощности до 40 дБ, то их использование позволяет легко осуществить требуемую глубину модуляции мощности до 90% как в режиме модуляции треугольными импульсами с необходимым соотношением длительностей переднего и заднего фронтов, так и в режиме меандра с прямоугольной формой радиоимпульса.

Использование режима амплитудной модуляции треугольными импульсами с соотношением длительностей переднего и заднего фронтов 20...30, определенном экспериментально, обусловлено необходимостью реализовать режимы, концептуально соответствующие методу использования акупунктурных игл: вводить медленно и извлекать быстро для реализации режима активации; вводить быстро и извлекать медленно – для реализации режима седатации. Аналогичная дифференциация достигается при использовании различных режимов частотной модуляции ЭМИ: для задач активации и мобилизации защитных средств организма необходим режим с линейной медленной девиацией частоты  $\Delta\omega/\omega_0$  со снижением частоты в начальной части радиоимпульса и быстрой девиацией с нарастанием частоты в конечной части радиоимпульса, где  $\omega_0$  – значение частоты в центральной части радиоимпульса; режим седатации с экспоненциально нарастающей девиацией с увеличением частоты в начальной части и медленное линейное снижение этого параметра с уменьшением частоты в конечной части радиоимпульса или линейной резко нарастающей и медленно снижающейся девиацией в начальной и конечной частях радиоимпульса, соответственно.

Введение в устройство волноводного преобразователя типов волн 12 (рис. 1), выполненного в виде отрезка волновода с постепенным изменением профиля от прямоугольного поперечного сечения к круглому, позволяет преобразовать волну типа  $H_{10}$ , формирующуюся при включении генераторного диода между широкими стенками прямоугольного волновода, в волну  $H_{11}$  в круглом волноводе. Структура поля с волной  $H_{11}$  осесимметрична и благоприятна для медицинских целей в том отношении, что не требует осуществлять строгую ориентацию волновода и, соответственно, излучателя относительно продольной оси (позвоночника) тела пациента, что упрощает проведение процедуры и обеспечивает воспроизводимость результатов, а также минимизирует побочное излучение.

Введение девиатора поляризации 13 (рис. 1), обеспечивающего получение на его выходе циркулярно-поляризованной волны с возможностью изменения направления вращения плоскости поляризации, важно для повышения эффективности устройства, так как обеспечивает возможность согласовать структуру воздействующего поля с пространственной архитектурой клеточных и субклеточных структур организма и структурой физических полей организма человека. Действительно, использование четвертьволнового отрезка круглого волновода, содержащего прямоугольную диэлектрическую пластину, одна из сторон которой совпадает с осью отрезка волновода, другая – с его диаметром, позволяет преобразовать линейно-поляризованную волну в циркулярно-поляризованную с правым направлением вращения, а дополнительно включенный полуволновый отрезок круглого волновода, также содержащий диэлектрическую пластину, позволяет инвертировать направление циркуляции волны — обеспечить левое направление циркуляции.

Включение в состав устройства электромагнитной терапии постоянного магнита 14 (рис. 1), совмещенного с выходом девиатора поляризации и примыкающего непосредственно к телу пациента, порождает ряд новых биофизических эффектов. Модулированное на частоте пульсаций крови электромагнитное излучение порождает в биоткани продольные механические колебания, которые осуществляют биорезонансную механостимуляцию кровеносных сосудов. Периодические перемещения стенок кровеносных сосудов по отношению к торцевой поверхности постоянного магнита, плотно примыкающего к облучаемой биоткани, эквивалентно приложению *переменного магнитного поля* (ПМП) с частотой модуляции, то есть имеет место выделение модулирующего сигнала самой биологической системой. Приложение к сосудистой системе организма многовекторного магнитного поля порождает на стенках кровеносных сосудов, обильно снабженных электрорецепторами, электрические поля, значения которых определяются величиной индукции МП и морфофункциональными свойствами биосистемы. Так что при проведении такой комплексной, а именно – электро-ЭМИ-КВЧ-магнито-механотерапии биообъект является и регистрирующим, и управляющим активным элементом физиотерапевтического воздействия, являясь активной контурной системой.

Включение в терапию многовекторного МП, обеспечивающего суммарное с ЭМИ воздействие, обусловлено необходимостью увеличения биотропных параметров, что особенно важно при лечении клинически сложных больных. При глубоких патологиях терапевтическая эффективность миллиметровых электромагнитных полей снижена из-за резкого увеличения в организме дефектных биоструктур, большого разброса потенциалов мембран клеток, а также из-за уменьшения глубины проникновения ЭМИ в биоткань, вслед-

ствие ее деструктурированности, так что снижается интегральное количество биоструктур, ответственных за «прием» ЭМИ и участвующих в выработке необходимых биологических эффектов, так что терапевтические эффекты могут и не проявляться. В то же время достоверно установлена биологическая эффективность постоянных МП и ПМП, причем пропускная способность биотканей для магнитных полей не зависит от их структурного состояния, а чувствительность организма к указанным полям и их эффективность возрастают, если их частота соразмерна с частотными характеристиками определенных биологических ритмов. Включение в состав разработанного устройства источника магнитных полей в виде кольцевого магнита (тороида) 14 (рис. 1) обеспечивает многовекторное воздействие на соответствующие структуры биоткани. Так как указанные МП содержат компоненты индукции магнитного поля как нормально и касательно ориентированные к биообъекту, так и компоненты, направление которых заключено в интервале углов  $0-90^\circ$  относительно нормально ориентированной к пациенту компоненты, то это позволяет осуществить взаимодействие такого многовекторного поля с биоструктурами, имеющими различную пространственную ориентацию, в том числе и с кровеносными сосудами всех ориентаций. При этом, так как кольцевой магнит одной своей стороной непосредственно примыкает к телу пациента и так как воздействие осуществляется амплитудно-модулированным электромагнитным излучением, то за счет радиоакустического эффекта в месте ввода ЭМИ возникает продольные (в направлении распространения ЭМВ) механические колебания на частоте амплитудной модуляции, которые осуществляют биомеханическую стимуляцию кровеносных сосудов.

В заключении статьи поясним предыдущую фразу о стимуляции кровеносных сосудов: это важно как в аспекте КВЧ-терапии, так и для оценки побочного, патогенного воздействия ЭМИ на обслуживающий персонал.

Напомним общую схему воздействия внешних ЭМИ и МП на микроциркуляцию крови (рис. 5).

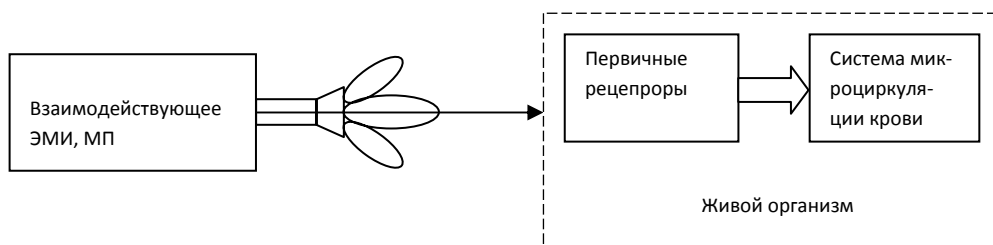


Рис. 5. Общая схема воздействия внешних ЭМИ и МП на микроциркуляцию крови

Данные механизмы исследуются во многих работах Пушинской и Тульской научных биофизических школ. Согласно современным представлениям, первичный механизм влияния внешнего ЭМИ на биосистемы заключается в изменении динамических скоростей базовых биохимических реакций. При этом важнейшим стимулятором такого отклика является изменение конформационных свойств структурированной воды (водного матрикса), преимущественно в кожном покрове и подкожном слое, под воздействием ЭМИ. Кроме того, ЭМИ и МП существенно влияют на движение ионов  $H^+$ , что также влияет на динамику изменения скорости биохимических реакций.

Согласно известным гипотезам школы академика Н.Д. Девяткова [1-4], первичное воздействие на биосистемы ЭМИ КВЧ связывается с общими для различных биообъектов структурами: белками-ферментами, клеточными мембранами и др., имеющими дипольные электрические моменты  $\vec{p} = p_0 \sin \omega t$  с собственными частотами  $\omega$ , совпадающими с поддиапазоном  $30 \div 70$  ГГц, входящим в длинноволновую часть КВЧ-диапазона  $30 \div 300$  ГГц. При этом «первичной мишенью»  $\{\vec{E}, \vec{H}\}$  (рис. 5) также являются молекулы воды.

Тульская научная биофизическая школа, признавая действенность указанных выше факторов, подтвержденных на практике, полагает, что не весь кожный слой и подкожные слои со структурированной водой являются первичными рецепторами, а только *рефлексогенные зоны* (РГЗ) Захарьина-Геда, Подшибякина с БАТ. В любом случае происходит ЭМ-накачка верхних слоев кожи, что приводит к увеличению фракции ротационно-энергезависимых молекул  $H_2O$  с выраженной химической активностью. Их взаимодействие со слабогидратированной поверхностью образует «канал» передачи возбуждения в нижележащие слои кожного покрова, где расположены гидратационно-чувствительные элементы нейронных регуляторных систем.

Изменение степени гидратации белков клеточной мембраны и приводит к их конформационным изменениям. Это отражается на ионном транспорте и активности АТФ-синтазы энергообразующих мембран. А сам синтез *аденозинтрифосфата* (АТФ) и накопление ее обуславливает физиологические эффекты стимуляции. Конечный эффект воздействия на организм формируется с участием нейрогуморальной системы (передача сигнального возбуждения от первичных БАТ-рецепторов в систему микроциркуляции крови). То есть процесс идет в последовательности: ЭМИ→первичные рецепторы→БАТ→нейрогуморальная система→конкретный орган или система (в данном случае - микроциркуляторная).

**Выводы:**



1. Сформулированы основные принципы при организации синергетических биотехнических систем электромагнитной терапии.
2. Разработано устройство КВЧ-терапии, реализующее синергетический подход к созданию электромагнитной аппаратуры с минимизацией несанкционированных побочных патогенных излучений на персонал предприятий и учреждений.

#### Литература

1. Высокочастотная аппаратура для терапии и биофизического эксперимента: проектирование современной элементно-узловой базы: монография / Яшин С.А. [и др.] ; под ред. А.А.Яшина ; НИИ НМТ, НИЦ «Матрикс». Москва;Тверь;Тула: Триада, 2008. – 192 с.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Гипотеза о взаимосвязанности воздействий когерентных волн малой мощности КВЧ, ИК, оптического и УФ диапазонов на функционирование клеток. Миллиметровые волны в медицине: сб. ст. Т. 2 / под ред. Н.Д. Девяткова, О.В. Бецкого. М.: Ин-т радиотехн. и электрон. РАН, 1991. С. 349–362.
3. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий М.Б. Миллиметровые волны и их роль в процессе жизнедеятельности. М.: Радио и связь; 1991. 169 с.
4. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. М.: Ин-та радиотехн. и электрон. РАН, 1994. 164 с.
5. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивость // Успехи физических наук. 1973. Т. 109. № 3. С. 517–544.
6. Пригожин И. Время, структура и флуктуации (Нобелевская лекция). М.: ВЦ переводов науч.-техн. лит-ры и документации, 1980. 38 с.
7. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.
8. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф.; под общ. ред. С.П. Ситько. Киев: ФАДА ЛТД, 1999. 199 с.
9. Ситько С.П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. Киев: Паттерн, 1994. 145 с.
10. Соколовский С.И., Яшин С.А. Биологическая управляемая крайневсочастотная терапия в лечении стоматологических заболеваний // Физика и технические приложения волновых процессов: тез. докл. I Межд. науч.-техн. конф. Самара: Самарск. гос. ун-т, 2001. Т. 2. С. 131.
11. Sitko S. The crucial evidence in favour of the fundamentals of physics of the alive // Physics of the Alive.: Int. Journ. 1998. V. 6. № 1. P. 6–10.

#### References

1. Yashin SA, et al. Vysokochastotnaya apparatura dlya terapii i biofizicheskogo eksperimenta: proektirovanie sovremennoy elementno-uzlovoy bazy: monografiya; pod red. A.A.Yashina; NII NMT, NITs «Mat-riks». Moskva;Tver';Tula: Triada; 2008. Russian.
2. Devyatkov ND, Golant MB, Betskiy OV. Gipoteza o vzaimosvyazannosti vozdeystviy kogerentnykh voln maloy moshchnosti KVCh, IK, opticheskogo i UF diapazonov na funktsionirovanie kletok. Millimetro-vye volny v meditsine: sb. st. T. 2. pod red. N.D. Devyatkova, O.V. Betskogo. M.: In-t radiotekhn. i elektron. RAN; 1991. Russian.
3. Devyatkov ND, Golant MB, Betskiy MB. Millimetrovye volny i ikh rol' v protsesse zhiznedeyatel'-nosti. Moscow: Radio i svyaz'; 1991. Russian.
4. Devyatkov ND, Golant MB, Betskiy OV. Osobennosti mediko-biologicheskogo primeneniya millimetrovykh voln. Moscow: In-ta radiotekhn. i elektron. RAN; 1994. Russian.
5. Prigozhin I, Nikolis Zh. Biologicheskii poryadok, struktura i neustoychivost'. Uspekhi fizicheskikh nauk. 1973;109(3):517-44. Russian.
6. Prigozhin I. Vremya, struktura i fluktuatsii (Nobelevskaya lektsiya). Moscow: VTs perevodov nauch.-tekhn. lit-ry i dokumentatsii; 1980. Russian.
7. Prigozhin I. Ot sushchestvuyushchego k vznikayushchemu. Moscow: Nauka; 1985. Russian.
8. Apparaturnoe obespechenie sovremennykh tekhnologiy kvantovoy meditsiny / Sit'ko S.P., Skripnik Yu.A., Yanenko A.F.; pod obshch. red. S.P. Sit'ko. Kiev: FADA LTD; 1999. Russian.
9. Sit'ko SP, Mkrтчyan LN. Vvedenie v kvantovuyu meditsinu. Kiev: Pattern; 1994. Russian.
10. Sokolovskiy SI, Yashin SA. Biologicheskaya upravlyaemaya kraynevysokochastotnaya terapiya v lechenii stomatologicheskikh zabolevaniy. Fizika i tekhnichesknie prilozheniya volnovykh protsessov: tez. dokl. I Mezhd. nauch.-tekhn. konf. Samara: Samarsk. gos. un-t; 2001. T. 2. Russian.
11. Sitko S. The crucial evidence in favour of the fundamentals of physics of the alive. Physics of the Alive.: Int. Journ. 1998;6(1):6-10.