

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

УДК 621.396, 537.6

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОДУЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ЖИВЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОРГАНИЗМАМИ

© Авторы, 2024

doi: 10.25210/jfop-2403-ZPDFDM | edn: ZPDFDM

Дмитриев А. С. — д.ф.-м.н. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, Москва. E-mail: chaos@cplire.ru

Аистова Л. Г. — АО «Концерн Гранит», Москва. E-mail: aistovalg@sgaz.pro

Грязнов В. Г. — к.ф.-м.н., АО «Концерн Гранит», Москва. E-mail: vgg_ngg@rambler.ru

Ицков В. В. — Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, Москва. E-mail: chaos@cplire.ru

Рыжов А. И. — к.ф.-м.н., Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, Москва. E-mail: mef.box@gmail.ru

Турканов И. Ф. — к.ф.-м.н., АО «Концерн Гранит», Москва. E-mail: vgg_ngg@rambler.ru

Аннотация

Статья посвящена проблеме взаимодействия модулированных электромагнитных полей с живыми биологическими объектами (ЖБО). Организм рассматривается как многомасштабная динамическая нелинейная система, на верхних уровнях иерархии которой имеется совокупность разнообразных низкочастотных автоколебаний, и он, в соответствии с теорией нелинейных динамических систем, может быть чувствителен к воздействию внешних переменных низкочастотных полей, вообще говоря, разной физической природы. Наличие и характер этой чувствительности определяется, как динамическими свойствами систем ЖБО, так и частотно-временной структурой воздействующих полей. При определенных условиях воздействие внешних переменных низкочастотных полей может качественно изменять динамическое состояние живых биологических объектов, даже при достаточно малых интенсивностях воздействия.

Высокочастотные электромагнитные колебания, поля и излучения, наряду с низкочастотными, являются составной частью внешней колебательной среды для живых биологических объектов. В отличие от низкочастотных полей, в рамках рассматриваемой динамической модели высокочастотные поля с ЖБО напрямую не взаимодействуют. Выдвинуто предположение о том, что взаимодействие высокочастотного излучения с ЖБО в рамках динамической модели может быть реализовано за счет его модуляции низкочастотными процессами, характерными для колебательных систем самого организма. Высокочастотное электромагнитное излучение при этом выполняет роль переносчика аналоговой информации в форме низкочастотных колебательных паттернов, создавая коммуникационный канал, по которому эти паттерны доставляются из одной точки пространства в другую. В процессе взаимодействия излучения с живым объектом в ряде случаев может происходить непосредственная демодуляция исходных высокочастотных колебаний с получением в результате электрических или других физических типов колебаний, свойственных внутренним процессам в самих живых организмах. Примеры таких взаимодействий известны и приводятся в статье.

Abstract

The article is devoted to the problem of interaction of modulated electromagnetic fields with living biological objects (LBO). The organism is considered as a multiscale dynamic nonlinear system, at the upper levels of the hierarchy of which there is a set of various low-frequency self-oscillations, and, in accordance with the theory of nonlinear dynamic systems, it can be sensitive to the influence of external variable low-frequency fields, generally speaking, of different physical nature. The presence and nature of this sensitivity is determined both by the dynamic properties of reinforced concrete systems and by the time-frequency structure of the influencing fields. Under certain conditions, the influence of external variable low-frequency fields can qualitatively change the dynamic state of living biological objects, even at fairly low intensities of influence.

High-frequency electromagnetic oscillations, fields and radiation, along with low-frequency ones, are an integral part of the external oscillatory environment for living biological objects. Unlike low-frequency fields, within the framework of the dynamic model under consideration, high-frequency fields do not directly interact with the liquid concrete. It has been suggested that the interaction of high-frequency radiation with the liquid-breeding agent within the framework of a dynamic model can be realized due to its modulation by low-frequency processes characteristic of the oscillatory systems of the body itself. In this case, high-frequency electromagnetic radiation acts as a carrier of analog information in the form of low-frequency oscillatory patterns, creating a communication channel through which these patterns are delivered from one point in space to another. In the process of interaction of radiation with a living object, in a number of cases, direct demodulation of the initial high-frequency oscillations can occur, resulting in electrical or other physical types of oscillations characteristic of internal processes in living organisms themselves. Examples of such interactions are known and are given in the article.



Отмечается, что технологическое развитие предоставляет и другую, эквивалентную с динамической точки зрения, но универсальную возможность использования модулированного высокочастотного излучения как для дистанционного снятия информации о низкочастотных процессах в живых системах, так и для воздействия на такие системы низкочастотными колебаниями. Это специальные системы датчиков (сенсоров) и актуаторов, размещаемых на поверхности живого организма (неинвазивный вариант) или внутри него (разного рода импланты), которые производят модуляцию/демодуляцию высокочастотного излучения. И в естественном, и в искусственном вариантах принципы воздействия модулированных электромагнитных полей и излучений одинаковы, такие же, как и у низкочастотных колебаний, взаимодействующих с живыми системами (акустических, механических, контактных электромагнитных и др.).

Ключевые слова: модулированное электромагнитное поле, живая материя, демодуляция

It is noted that technological development provides another, equivalent from a dynamic point of view, but universal possibility of using modulated high-frequency radiation both for remotely obtaining information about low-frequency processes in living systems, and for influencing such systems with low-frequency oscillations. These are special systems of sensors and actuators placed on the surface of a living organism (non-invasive option) or inside it (various types of implants), which modulate/demodulate high-frequency radiation. In both natural and artificial versions, the principles of the influence of modulated electromagnetic fields and radiation are the same, the same as those of low-frequency oscillations interacting with living systems (acoustic, mechanical, contact electromagnetic, etc.).

Keywords: modulated electromagnetic field, living matter, demodulation

«Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora» («Излишне объяснять через многое то, что можно через меньшее») — Лезвие Оккама
«Всё следует упрощать до тех пор, пока это возможно, но не более того» — А. Эйнштейн

Введение

История исследований в области воздействия электромагнитного излучения (электромагнитных полей) на биологические объекты началась практически одновременно с появлением радио и насчитывает к настоящему времени уже около 130 лет [1–8]. Не будет преувеличением сказать, литература по этому вопросу насчитывает не одну тысячу научно-исследовательских статей, а также других, относящихся к теме, материалов. Однако говорить о понимании целостной картины воздействия/взаимодействия электромагнитных полей и живой материи пока не приходится. Некоторым исключением можно считать лишь ситуацию с воздействием достаточно интенсивных полей, при которых происходит нагрев биологических структур либо в целом, либо локально, приводящий к обратимым или необратимым изменениям в этих структурах.

Наибольший же интерес представляют ситуации, когда воздействие/взаимодействие имеет значительно более низкие интенсивности и при этом фиксируются (в основном косвенными методами) некоторые, часто нетривиальные, результаты такого воздействия/взаимодействия.

Проблема выяснения причин, приводящих к изменению «состояния» биологических объектов под воздействием электромагнитных полей сталкивается с целым рядом обстоятельств, отличающих экспериментальную деятельность в пограничной области «физика электромагнитных явлений — живые биологические системы» от классических задач электродинамики тем, что модели взаимодействия излучения с веществом, разработанные в классической электродинамике, могут применяться к «веществу» биологических живых систем в очень ограниченной степени, в основном на уровне представления усредненных линейных электродинамических характеристик «вещества» живых систем. Это позволяет делать некоторые оценки по проникновению/прохождению электромагнитных полей сквозь живые объекты, но совершенно ничего не дает для понимания взаимодействия этих полей со сложной структурой живых объектов и динамическими процессами в них.

С практической точки зрения интерес к рассматриваемой проблеме диктуется по меньшей мере следующими факторами:

- интенсивным развитием средств беспроводной связи, в том числе мобильных, и необходимостью обеспечения электромагнитной экологической безопасности при их использовании;
- возможностью и имеющейся практикой применения электромагнитного излучения в медицинских целях;
- развитием технологии нейроинтерфейсов, особенно их беспроводной реализации.

Интересно отметить, что при общем обилии работ по влиянию электромагнитного излучения (электромагнитных полей) на биологические объекты, в тени остается роль «информационного содержания», взаимодействующего с живой материей излучения, начиная с такого фундаментального фактора, как его модуляция (стационарная, а, возможно, и более сложная). При этом имеется ряд ярких примеров, в которых моду-

ляция излучения, очевидно, является необходимым условием получения результата воздействия. Приведем два из них, для которых достоверность декларируемого результата практически не вызывает сомнений.

В СССР в 1954–1975 годах была создана установка «Радиосон», способная при воздействии в течение нескольких минут приводить к засыпанию людей, находящихся на определенной территории. Судя по фотографиям из Интернета с изображений фрагментов решения семинара в ИРЭ АН СССР, посвященного рассмотрению этого вопроса (рис. 1), речь шла об излучении в частотном диапазоне 20–40 МГц, модулированных прямоугольными или синусоидальными импульсами в диапазоне частот 0,1–20000 Гц. При отсутствии модуляции эффект не наблюдался.

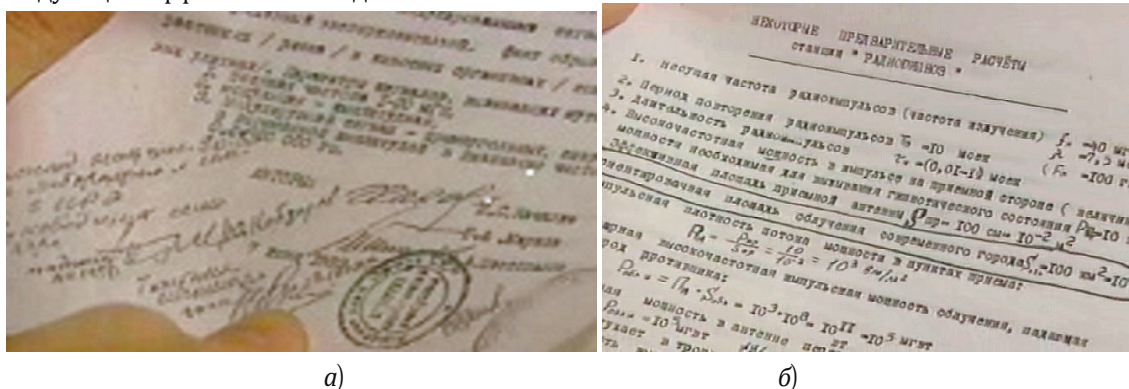


Рис. 1. Фрагменты решения семинара в ИРЭ АН СССР, посвященного устройств «Радиосон»: а) с подписью Ю.Б. Кобзарева; б) с предварительными расчетами характеристик устройства

Вторым показательным примером воздействия электромагнитного излучения с живыми объектами является «радиозвук» — микроволновый слуховой эффект или эффект Фрея, заключающийся в слуховом восприятии модулированного микроволнового излучения. Воспринимаемые звуки возникают непосредственно внутри черепа человека без использования дополнительного радиоэлектронного оборудования. Впервые эффект был зарегистрирован при работе обслуживающего персонала вблизи радаров [9]. Позже явление было объяснено Аланом Фреем и исследовалось как им самим [10], так и другими авторами [11, 12]. Как оказалось, при воздействии импульсного или модулированного микроволнового излучения на участки вокруг улитки уха происходит его поглощение тканями внутреннего уха, сопровождающееся их термическим расширением. Предполагается, что в ходе этого процесса могут возникать ударные волны, воспринимаемые человеком как звук, который больше никому не слышен. В процессе исследований было также обнаружено, что при соответствующем выборе модулирующего сигнала существует возможность передавать человеку информацию в виде отдельных слов, фраз и других звуков.

«Радиозвук» наблюдается в широком диапазоне микроволновых частот (по меньшей мере от одного до нескольких ГГц) при длине модулирующих импульсов 10^{-6} – 10^{-3} сек и частоте следования импульсов от 10 Гц до 20 кГц.

В зависимости от параметров излучения, создаваемый в голове звук может раздражать, вызывать тошноту и даже выводить из строя.

На факторе роли модуляции излучения при воздействии на живые биологические объекты и концентрируется внимание в данной работе.

Прежде всего обращается внимание на то, что собственная динамика живых организмов всегда содержит низкочастотные колебания и, как правило, здоровому функционированию биологического объекта соответствует определенный «нормальный» вид этих колебаний. Это обстоятельство широко используется, например в медицинских целях, как для диагностики, так при терапии.

Далее совокупность макроскопических колебательных (автоколебательных) систем в организме рассматривается как иерархическая многомасштабная нелинейная динамическая система, которая поддерживает свой гомеостаз, а при нарушении гомеостаза, за счет искусственных обратных связей и внешних воздействий может в него возвращаться и находиться там в принудительном порядке. Современные методы нелинейной динамики, включая методы управления сложными режимами, например хаотическими, позволяют успешно решать подобные задачи.

Заметим, что макроскопические колебания в живых биологических организмах — это процессы, частоты которых значительно ниже частот микроволнового и радиодиапазона. И именно столь же низкочастотные колебательные структуры — паттерны, могут быть использованы для корректировки собственных колебательных режимов живых систем, либо в выведение динамики живых систем в нужные режимы и поддер-

жание этих режимов. Имеется значительное число медицинских методик и аппаратуры, реализующих такие принципы.

Высокочастотное электромагнитное излучение, модулированное низкочастотными колебательными паттернами, может рассматриваться как способ дистанционного переноса колебательных паттернов, получаемых в одном месте пространства, в другое место пространства. Воздействие модулированного электромагнитного излучения в этом случае может сводиться к демодуляции (детектированию) поступающего в живой биологический объект излучения на нелинейностях, свойственных автоколебательным системам (предположение, выдвигаемое в работе) и взаимодействию образующихся при этом низкочастотных паттернов с колебательными структурами живой материи. Эффективность воздействия будет при этом определяться величиной «уровня коэффициента детектирования» и соответствием структуры получаемых при демодуляции колебательных паттернов структуре колебательных паттернов, к которым чувствительны колебательные системы организма.

Приводятся примеры, когда такая ситуация, видимо, имеет место.

Но даже в том случае, если величина «коэффициента детектирования» не позволяет напрямую выделить нужные колебательные паттерны, рассматриваемые принципы контроля и управления (воздействия) динамическими процессами в организме можно реализовать с использованием искусственных сенсорных и актуаторных элементов, как это делается в беспроводных нейроинтерфейсах.

1. Живые объекты и динамические системы

При взаимодействии с электромагнитным полем будем рассматривать живой организм как сложную иерархическую пространственно-временную динамическую систему.

В силу своей иерархичности живой биологический объект (ЖБО) потенциально может реагировать на электромагнитные излучения/поля как на уровне системы в целом, так и на уровне подсистем самых разных пространственных масштабов, вплоть до клеточных и молекулярных. С динамической точки зрения это может быть связано с наличием в живых объектах множества собственных автоколебательных процессов и колебательных структур на разных масштабах иерархии с частотно зависимой чувствительностью к внешним воздействиям.

Однако здесь есть нюансы.

Например, пока нет прямых доказательств, подтверждающих возможность генерации электромагнитных колебаний на высоких, сверхвысоких и крайне высоких частотах (КВЧ) в живых организмах и общепринятых теорий о их возможной природе. То же самое относится и к частотной избирательности элементов живой материи по отношению к излучению в различных узких диапазонах частот (например, в КВЧ диапазоне). Исследованиям и дискуссиям по этим вопросам посвящено значительное число работ, в которых авторам, для правдоподобного объяснения реально наблюдающихся эффектов, часто приходится прибегать к достаточно тонким физическим построениям на микроскопическом уровне, включая квантовые свойства биомолекул (см., например, [6, 13, 14]).

С другой стороны, в любой живой биологической системе заведомо присутствуют низкочастотные колебания на макроскопическом уровне, т.е. на уровне достаточно крупных подсистем организма, которые определяют жизненные процессы и без которых бессмысленно вообще говорить о живой материи. Любое животное дышит (колебательный процесс), имеет ритмически работающее сердце, пищеварительную систему, нейронную систему головного мозга и другие автоколебательные и колебательные подсистемы. Взаимодействуя между собой, эти подсистемы образуют макроскопический уровень единой иерархической нелинейной динамической системы живого организма. Изучение динамических систем живых организмов на макроскопическом уровне представляет собой широкую область исследований с большим объемом полученных экспериментальных и теоретических результатов по наблюдению и анализу колебательных процессов различной степени сложности, включая динамический хаос. Диапазон частот собственных колебаний макроскопического уровня в живых организмах, как правило, лежит в пределах от долей герца до единиц килогерц.

В данной статье рассматривается именно воздействие электромагнитных полей на живую систему в целом и на ее достаточно крупные подсистемы, т.е. на объекты макроскопических размеров, относящиеся к верхним уровням иерархии систем организма. Предполагается, что механизмы электромагнитного воздействия на таких масштабах, не связаны непосредственно с микроскопическими процессами и не требуют рассмотрения, ни на клеточном уровне, ни на молекулярном уровне. Поэтому описание воздействия электромагнитного излучения на макроскопическом уровне живых биологических систем может быть осуществлено на уровне макропеременных, подобно тому, как описываются процессы в классической электродинамике: с помощью макроскопической переменной тока и напряженности поля, а не в микроскопиче-

ских терминах зарядов частиц и их квантовых свойств. Далее уже токи используются в качестве макропеременных для описания колебаний в электрических и электромагнитных цепях и системах.

Поскольку речь идет о живом организме, как о динамической системе, его возможная реакция на внешнее воздействие заключается в изменении характера пространственно-временных процессов, в том числе колебательных и автоколебательных режимов жизненно важных органов и структур.

Естественно, возникает вопрос о границах применимости такого подхода. Они определяются частотными характеристиками макроскопических систем, с которыми взаимодействует излучение (или внешние электромагнитные поля). Предполагается, что для эффективного взаимодействия, должно быть определенное соответствие между частотно-временными характеристиками электромагнитного излучения (электромагнитного поля) и частотами автоколебаний (собственных колебаний) тех динамических подсистем организма, которые будут чувствительны к этому излучению.

Когда это может быть? По меньшей мере в трех случаях.

1. Частоты электромагнитного излучения сами по себе соответствуют частотам каких-то колебаний макроскопических систем живого организма. Это возможно при очень низких частотах внешних полей. В этом случае может происходить непосредственное взаимодействие внешних колебаний и колебаний внутри организма. Частично наличие таких эффектов подтверждается результатами исследований по воздействию слабых переменных магнитных полей на живые системы, включая человека. В том числе при вариациях магнитных полей на частотах резонанса Шумана (7,83 Гц и ее гармоники), во время солнечных магнитных бурь [15], в системах коррекции и терапии сна [16, 17] с вариациями напряженности поля в пределах 20–150 мкТл и диапазоном воздействующих частот 1–40 Гц.

2. Частоты электромагнитного поля (излучения) значительно выше характерных частот колебаний в подсистемах организма (дыхательная, сердечно-сосудистая, пищеварительная, кровеносная и, конечно, центральная нервная система и мозг). Однако электромагнитное поле/излучение модулируется низкочастотными колебаниями, частоты которых, соответствуют диапазону частот колебаний макроскопических систем самого живого организма. В этом случае взаимодействие внешнего излучения с собственными колебаниями организма может происходить, если при попадании в биологический объект и в процессе поглощения в живой материи происходит его демодуляция — выделение модулирующего (информационного) сигнала в виде низкочастотных колебаний. И уже эти низкочастотные колебания осуществляют взаимодействие с собственными колебаниями внутри биологического объекта.

3. Организм снабжается специальным искусственным приемником, который принимает модулированное излучение, демодулирует его и воздействует полученными сигналами в виде низкочастотных колебательных паттернов на живой организм через систему актуаторов.

Важно отметить, что утверждение о иерархическом характере воздействия электромагнитного излучения на живую материю хорошо согласуется с результатами исследований в области сложной нелинейной динамики (динамического хаоса) в понимании того, что человеческое тело (как типичный пример живого биологического объекта) представляет собой совершенный образец сложной динамической системы, который может рассматриваться, как пробный камень для оценки эффективности любого подхода к феномену сложности [18]. Из этой согласованности следует, что к рассматриваемой проблеме могут быть применимы подходы нелинейной динамики, в том числе идея о том, что постижение глобальных свойств сложных систем возможно независимо от локальных деталей с помощью предельно упрощенных математических моделей.

Это потенциально дает возможность понять многие процессы и явления, связанные с болезненными состояниями, создавая и изучая математические модели, представляющие собой системы всего из нескольких неавтономных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, моделирующих динамику биологических объектов при наличии воздействия модулированного излучения/поля. (колебаний).

При этом физическая природа внешних колебаний (излучений) может быть очень разной: механические, прикладываемые сразу ко всему объекту или его части, акустические, электрические, электромагнитные, колебания магнитного поля, колебания интенсивности света в видимом диапазоне частот и т.д. Однако в данной статье речь идет только полях и излучениях электромагнитной природы.

Физическая природа колебаний в самих живых организмах тоже разнообразна: химическая, электрическая, механическая, гидравлическая и др. При этом собственные колебательные процессы в том или ином виде взаимодействуют между собой, либо напрямую, либо через промежуточные стадии, связанные, например, с управляющей деятельностью мозга. Следует также отметить, что сами по себе колебательные процессы в живых организмах интенсивно изучаются уже на протяжении многих лет (см., например, [19]), в том числе путем создания достаточно простых математических моделей и их исследования качественными методами нелинейной динамики. При этом анализируются как автономные режимы поведения, так

и неавтономные, когда модели биологических объектов находятся под воздействием внешних возмущений. Специфика рассматриваемой ситуации заключается в том, что здесь речь идет о живом объекте в целом (рис. 2), который рассматривается не как отдельная автоколебательная система, а как сложная иерархическая динамическая система, включающая множество взаимосвязанных автоколебательных систем (вообще говоря, пространственно-распределенных), колебательные подсистемы, сами по себе не генерирующие автоколебания, но обладающие частотной избирательностью к определенным типам колебательных воздействий, а также и многочисленную совокупность датчиков (в том числе распределенных), воспринимающих внешние воздействия и преобразующие их в сигналы — колебания, непосредственно влияющие на внутреннюю динамику живого объекта.



Рис. 2. Взаимодействие живого биологического объекта (ЖБО): а) с внешней средой (ВС); б) с преобразователем колебаний (Пр), порождаемых ЖБО.

Относительно многих физических типов внешних колебательных воздействий (в т.ч. полей и излучений) имеется значительный объем исследований и длительная история. Разнообразие физических типов колебаний в живых системах при безусловном их кооперативном взаимодействии было бы невозможно без существования в живых организмах механизмов трансформации одних физических типов колебаний в другие (а также, на сигнальном уровне, преобразования одних типов (форм — паттернов) сигналов в другие). То же самое справедливо и для воздействия внешних по отношению к живому объекту колебательных процессов на колебательные системы живого объекта.

2. Гомеостаз

Для того чтобы характеризовать влияние внешних колебаний и переменных полей на состояние (динамику, колебания) живого объекта необходимо описать это состояние в терминах понятных с биологической точки зрения. Естественным кандидатом для такого описания такого состояния является гомеостаз [20].

В биологии гомеостаз — состояние устойчивых внутренних, физических и химических условий, поддерживаемых живыми системами. Это условие оптимального функционирования организма, включающее множество переменных, таких как температура тела и баланс жидкости, которые поддерживаются в определенных заранее заданных пределах (гомеостатический диапазон). Другие переменные включают pH внеклеточной жидкости, концентрации ионов натрия, калия и кальция, а также уровень сахара в крови, и их необходимо регулировать, несмотря на изменения в окружающей среде, диете или уровне активности. Каждая из этих переменных контролируется одним или несколькими регуляторами, или гомеостатическими механизмами, которые вместе поддерживают жизнь.

Согласно идеям, заложенным У.Р. Эшби [21] и П.К. Анохиным [22], живые и другие сложные системы, для которых вводится понятие гомеостаза, рассматриваются именно как многоуровневые (многомасштабные, иерархические), многосвязные динамические системы. Такой взгляд, лежащий в основе современных представлений о характере сложности живых биологических объектов [18], немедленно привел к необходимости использовать систему понятий, принятую в теории динамических систем. При анализе работ [21, 22] следует учитывать, что понятие гомеостаза включает в себя не только сам организм, но и окружающую среду, которая взаимодействует с ним. Поэтому, когда мы говорим об описании гомеостаза в рамках теории динамических систем, под динамической системой понимается совокупная система, в которую входит как сам организм, так и окружающая среда.

В книге [21] Эшби аксиоматически ввел понятия «машины», «динамической системы», переменных состояния, фазового пространства и поля, рассмотрение организации как машины, организации и среды, существенных переменных и т.д. Он также отмечал, что в системе определенной организации изменение состояния может быть обусловлено изменением величины параметра, а изменение величины параметра ведет к изменениям стабильности.

В переводе на язык современной теории динамических систем с параметрами ситуацию можно представить так. Действующие лица: объект (организм), внешняя (окружающая) среда, взаимодействующая с объектом и вектор параметров.

- Объект — динамическая система некоторой размерности, в биологическом варианте число переменных вплоть до бесконечности — $\mathbf{v}(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}$ — вектор переменных.
- Внешняя среда — динамическая система, взаимодействующая с объектом и характеризующаяся оператором эволюции $\mathbf{u}(\mathbf{y})$, где $\mathbf{y}$ — вектор переменных внешней среды.
- Вектор параметров — $\boldsymbol{\mu}$, характеризующий воздействие на биологический объект со стороны внешней среды.

Если редуцировать операторы эволюции биологического живого объекта и внешней среды к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, то математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) + \boldsymbol{\mu}\boldsymbol{\gamma}(\mathbf{y}, t), \\ \dot{\mathbf{y}} = \mathbf{u}(\mathbf{y}, t). \end{cases} \quad (1)$$

В (1) предполагается, что в общем случае воздействие внешней среды на биологический объект через нелинейное преобразование переменных внешней среды $\mathbf{g}(\mathbf{y}, t)$.

Для того, чтобы конструктивно работать с биологическим объектом, как системой, необходимо выбрать совокупность существенных переменных, представляющих основные свойства объекта, в том числе отражающие свойства его гомеостаза.

3. Выбор существенных переменных

Подходы здесь могут быть самые разные и во время работы над книгой [21] их разработка находилась в зачаточном состоянии. Однако к настоящему времени имеется набор подходов и методов, позволяющих корректно и целенаправленно формировать для (биологического) объекта совокупность существенных переменных, число которых значительно меньше исходной совокупности переменных, редуцируя тем самым первоначальную динамическую систему к динамической системе со значительно меньшей размерностью, с сохранением динамических свойств. Среди них: параметры порядка Г. Хакена [23], теория катастроф [24], теория нормальных форм [25], реконструкция фазового пространства динамической системы по одной (нескольким) переменным методом запаздывания [26].

Для определенности будем полагать, что уравнения (1) записаны уже для существенных переменных (параметров порядка) редуцированной системы.

Предполагается, что поведение системы в целом описывается детерминированной динамической системой с подсистемами, относящимися к организму, и окружающей среде с вектором параметров $\boldsymbol{\mu}$. Исходно эта динамическая система может иметь очень высокую размерность, однако ее эффективная размерность (например, число параметров порядка, или размерность ее нормальной формы около положения равновесия, считается, что таковое также имеет место) значительно ниже исходной размерности. При этом имеется притягивающее многообразие, которое и определяет эффективную размерность. В свою очередь, это притягивающее многообразие состоит из двух подмногообразий: на одном из них динамика крайне проста и сводится к притягиванию к неподвижной точке на этом многообразии (устойчивое многообразие, в принципе это может быть узел, устойчивый фокус по нескольким парам переменных или их комбинация). Но кроме того, может существовать подмногообразие, на котором образуется более сложная динамика. Для этого, например, при трех параметрах порядка у неподвижной точки нужно иметь хотя бы одно неустойчивое направление с положительным значением собственным числа линеаризованной системы или пару комплексно-сопряженных собственных значений с положительными действительными частями.

4. Динамический гомеостаз

В классическом понимании гомеостаза с точки зрения теории динамических систем, это положение равновесия типа устойчивый узел. То есть динамическая система с предельно простой динамикой. Нигде даже не говорится о том, что в динамике гомеостаза присутствуют затухающие колебания, свидетельствующие о наличии у подмногообразий устойчивых фокусов.

Здесь же мы говорим о совокупности динамических систем живого организма, которым сопоставляется математическая модель, обладающая многокомпонентной и многоуровневой колебательной динамикой, и соответствующей конструкцией траекторий в фазовом пространстве. Ей в исходном живом биологическом объекте соответствует состояние устойчивых внутренних, физических и химических условий, поддерживаемых живыми системами, но устойчивость относится не к статическому состоянию равновесия, а к стационарному состоянию, включающему и стационарные колебательные режимы.

А почему надо говорить о такой, достаточно сложной конструкции? Не достаточно ли просто использовать определение гомеостаза, как положения равновесия редуцированной динамической системы, описывающей динамику живого объекта? Для целей данной статьи заведомо нет. И причин здесь несколько:

- во-первых, в живых системах всегда присутствует динамика в виде одночастотных, многочастотных или более сложных колебаний и описание только статической составляющей будет давать неполное представление о процессах в организме в целом;
- во-вторых, рассмотрение только статических переменных серьезно сужает возможности в использовании оценки гомеостаза для оперативной диагностики состояния организма;
- в-третьих, наличие динамической составляющей в наблюдении гомеостаза, как для здорового организма, так и при болезненных состояниях дает возможность сформировать внешние корректирующие воздействия путем изменения параметров системы, или с помощью воздействия корректирующих колебаний через цепь обратной связи.

По этим причинам для описания стационарного состояния организма, как колебательной системы, уместно использовать термин «динамический гомеостаз», позволяющий идентифицировать состояние организма, включая и динамическую составляющую стационарного состояния системы, и статическую часть гомеостата в традиционном смысле.

5. Роль низкочастотной модуляции/демодуляции

Почему модулированное излучение может оказывать большее влияние на процессы внутри живых организмов по сравнению с немодулированным?

Концептуально это связано с тем, что модуляция электромагнитного излучения/поля означает введение в него некоторой информации. Само по себе немодулированное излучение, как сигнал, содержит в себе минимальную информацию (частота, амплитуда). Модуляция же такого излучения/поля колебательными паттернами, свойственными, например, какому-то колебательному процессу в самом организме, создает условия для взаимодействия внешних колебаний с внутренними и обеспечивает на аналоговом уровне использование поступающей от внешних колебаний информации для управления внутренним колебательным процессом, в том числе для изменения его информационной составляющей. Особенно это важно для систем живого организма, в которых происходят интенсивные информационные процессы, т.е. в первую очередь для нейронных систем мозга.

Диапазон частот от долей герца до десятков килогерц представляет собой совокупность частот, характерных для живого организма. Поэтому причина эффективности воздействия, модулированных этими частотами высокочастотных сигналов может быть связана с фундаментальным свойством нелинейных колебаний: воздействие внешнего сигнала на колебательную систему наиболее эффективно (например, с точки зрения амплитуды внешнего воздействия), когда воздействующий сигнал и собственные колебания сопоставимы по диапазону частот. При этом частота модулируемого сигнала, как переносчика колебательных информационных паттернов может сказываться на эффективности воздействия только в том случае, если частотно зависим уровень демодуляции воздействующего излучения.

Классическим примером, демонстрирующим зависимость эффективности воздействия внешнего сигнала на автоколебательную систему от соответствия частоты внешнего сигнала и частоты собственных колебаний, является синхронизация автоколебаний внешним периодическим сигналом (см. напр. [27]).

Так, например, для мягких режимов автоколебаний генератора Ван-дер-Поля, динамика в безразмерных единицах описывается уравнениями

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -x + \mu [\xi x + (1 - x^2) y + E_0 \cos(t)], \end{cases} \quad (2)$$

где $0 < \mu \ll 1$, ξ — расстройка, $\frac{\omega_0^2}{\omega^2} = 1 - \mu\xi$, ω_0 — частота собственных автоколебаний, ω и E_0 соответственно частота и амплитуда внешнего воздействия.

В системе (2) минимально возможная амплитуда внешнего воздействия, при которой происходит синхронизация автоколебаний, зависит от расстройки между частотой внешнего воздействия и собственной частотой генератора. При расстройке $\xi \rightarrow 0$, синхронизация автоколебаний внешним сигналом может быть осуществлена при сколь угодно малой амплитуде внешнего воздействия E_0 . Амплитуда синхронизованных автоколебаний ρ при этом определяется величиной параметра μ : $\rho = \sqrt{\mu}$, и может иметь значительные размеры. Это пример показывает, что в определенных условиях внешние воздействия на автоколебательные системы могут быть очень эффективными, даже при исчезающе малых амплитудах воздействия.

Осталось понять, как низкочастотная модуляция высокочастотных колебаний может быть выделена живым организмом или его частями из высокочастотного сигнала.

Для этого введем два правдоподобных предположения.

Первое из них относится к преобразованию колебаний различной физической природы друг в друга, имеющее место в живых организмах (электрохимические в механические, механические в электрические и электромагнитные, акустические в электрические и т.д.). наличие ряда таких преобразований известно. Например, электрокардиограмма отражает процесс преобразования части энергии механических колебаний сердца в электрические колебания, фиксируемые с помощью электрокардиографа. Спайки активности нейронов и химические процессы в межнейронной среде при усреднении приводят к электромагнитным колебаниям различных типов, которые фиксирует электроэнцефалограмма или магнитоэнцефалограмма.

Второе — к механизмам, с помощью которых низкочастотная (например, амплитудная) модуляция порождает соответствующие колебания низких частот различной физической природы, непосредственно воздействующие на колебательные структуры в живой материи. Здесь уместно вспомнить, что живая материя в силу своих свойств (например наличия автоколебаний) представляет собой нелинейную систему, что подразумевает наличие нелинейных преобразований. Простейшей же нелинейностью является квадратичная нелинейность. Поэтому эффекты демодуляции, типа, квадратичного детектирования могут иметь место и проводить к появлению в системе низкочастотных колебаний, с частотами, соответствующими частотам модуляции.

Примерами того, что демодуляция модулированных высокочастотных колебаний приводит к реальному взаимодействию с живой материей (в рассматриваемых случаях с головной частью тела, в том числе с мозгом), являются рассмотренные во введении явления «радиосон» и «радиослух».

6. Диагностика на основе электрических и электромагнитных колебаний

Наличие множественных источников колебаний в живых системах позволяет говорить о наличии целого «оркестра», вообще говоря, скоординированных между собой осцилляций. Нарушение гармонии в этом оркестре может служить признаком выхода живой системы из стационарного здорового состояния и наступления патологической ситуации. Анализ более тонких аспектов таких изменений может быть использован для диагностики нормальных и патологических состояний.

Примерами таких методов диагностики являются, уже упоминавшиеся электрокардиография, электроэнцефалография и магнитоэнцефалография.

На этом основана также комплексная система биорезонансной диагностики и терапии, основателем которой считается Ф. Морель [28]. Суть методов биорезонанса заключается в записи собственных колебаний организма на основе измерения электрических потенциалов кожного покрова, сопоставлении характера этих колебаний с соответствующими колебаниями в здоровом состоянии организма (диагностическая часть) и использовании этого сравнения для коррекции колебательного процесса в организме путем воздействия колебаний, корректирующих патологию (терапевтическая часть).

К биорезонансным методам имеются определенные претензии со стороны официальной медицины, но их не больше, чем к акупунктурной диагностике. По существу, некоторые варианты биорезонансного метода являются реинкарнацией акупунктурных методов на основе достижений современной радиоэлектроники.

По сути дела, «динамический гомеостаз», о котором шла речь выше, представляет собой описание состояния живого объекта на основе свойств его аттрактора, который в общем случае характеризует совокупность колебательных процессов в объекте, позволяющих идентифицировать состояние организма, включая и статическую часть гомеостата в виде неподвижной точки, около которой развиваются колебательные процессы, и которая характеризует статическую часть гомеостата в традиционном смысле.

В теории нелинейных динамических систем разработаны экспериментально реализуемые методы восстановления топологической структуры аттракторов, что может быть применено и к динамическому гомеостазу. В соответствии с теоремой Такенса [26] такое восстановление в принципе возможно на основе снятия и обработки реализаций нескольких, или даже одной временной переменной о состоянии организма.

В качестве таких переменных видимо могут быть использованы переменные электрические потенциалы точек акупунктуры, а также компоненты пульсовых волн. Это предположение хорошо согласуется с данными по диагностике с использованием анализа пульса в восточной медицине, где, как утверждается, опытный диагност способен различать по ощущениям до нескольких тысяч состояний организма. Широкими возможностями по распознаванию различных состояний организма на основе анализа паттернов колебаний электрических потенциалов точек акупунктуры в живых организмах, судя по заявленным официальным характеристикам, обладают и современные аппараты биорезонансной диагностики типа MORA, BICOM [28] и др.

7. Идеи Мореля с точки зрения теории динамических систем

Как отмечалось выше, идеи Мореля основываются на наличии и использовании колебательных процессов в системах и подсистемах живых биологических систем (живой материи) для диагностики и терапии (биорезонансная диагностика и терапия в терминологии самого автора). Ее революционность для своего времени (как и предмет постоянного оспаривания) связана прежде всего с ее терапевтической составляющей, поскольку диагностическая составляющая метода является достаточно признанной, в том числе медицинским сообществом. Терапевтическая составляющая, в свою очередь, состоит из двух частей «электрофизической» и «гомеопатической». Здесь будет идти речь только об электрофизической части, связанной с наличием в живом организме колебательных процессов разной физической природы, наличие и характер которых могут наблюдаться с помощью аппаратного измерения физических параметров признанными официальной наукой методами.

Перед обсуждением метода Биорезонансной терапии (МОРА-терапии), рассмотрим основные понятия и терминологию, предложенные и использовавшиеся его основоположниками.

Ф. Морелль и его последователь и соратник Э. Раш в ходе своей работы ввели ряд постулатов, многие из которых являются чисто биофизическими закономерностями, некоторые являются научными фактами, а некоторые до сих пор окончательно не доказаны, но принимаются за аксиому, как часть методики. Следует отметить, что эти постулаты, в большинстве своем связанные с колебательными процессами в живом организме и его подсистемах, опирались в значительной степени на знания о закономерностях поведения (нелинейных) колебательных систем, известных к концу 60-х годов. В связи с бурным развитием теории нелинейных колебаний и нелинейной динамики в целом в последующие годы, многие постулаты теории нелинейных колебаний претерпели качественные изменения. Поэтому, чтобы адекватно оценить идеи Мореля и степень их устойчивости к произошедшим изменениям в области понимания нелинейных процессов, следует еще раз проанализировать основные положения, заложенные в метод биорезонансной диагностики и терапии, основываясь на современном понимании этих процессов в нелинейной динамике.

Всего Ф. Морелем было предложено 12 (далее под номерами 1–12) биофизических и нейрофизиологических постулатов и 5 постулатов, относящихся к технической реализации (далее под номерами 13–17) были добавлены Э. Рашем [28,29]. Ниже, под соответствующими номерами, приведены те из них, которые непосредственно имеют отношение к данной работе, вместе с комментариями для части из них (шрифт италик), в случае необходимости коррекции с точки зрения современной теории нелинейных динамических систем.

7.1. Биофизические и нейрофизиологические постулаты

5. Функционирование человеческого организма в принципе невозможно без участия электромагнитного поля, так как оно заложено в первооснове жизни — клетке.

6. На сегодняшний день выделяют следующие уровни регуляции в организме: волновой → молекулярный → клеточный → органный → системный → организменный.

7. При любой патологии в организме, в первую очередь нарушается самый основной — волновой уровень регуляции. Соответственно, цель биорезонансной терапии — восстановление регуляции на самом низшем иерархическом уровне, то есть, данная терапия во всех смыслах этиотропная.

Речь идет о вещах, близких к гомеостазу. Авторы считают, что восстановление регуляции должно начинаться на низшем уровне, по другим источникам, решающими являются верхние уровни.

8. В процессе жизнедеятельности в организме человека и животных постоянно продуцируется широкий спектр физиологических колебаний. Они были названы гармоническими (Н). При патологии образуются новые источники колебательных процессов. Они были названы дисгармоническими (D).

Морелем используется нестандартное понимание гармонических колебаний по отношению к радиофизическому. Он использует этот термин, в смысле типичных колебаний, свойственных данной системе.

Механизмы возникновения новых типов колебаний — патологических (дисгармонических) Морель связывает с появлением новых источников колебательных процессов. Скорее речь должна вестись о бифуркационных явлениях, в результате которых происходят качественные изменения в структуре колебаний.

9. При относительном здоровье биокibernетический круг регулирования поддерживает определенный баланс между гармоническими и дисгармоническими спектрами частот, либо некоторое преобладание гармонических. В таком состоянии система регуляции уравновешена, и физиологические процессы протекают в нормальном режиме.

Соответственно предыдущему замечанию, при относительном здоровье параметры совокупной колебательной системы имеют значения, отвечающие ее «штатному» функционированию, и физиологические процессы протекают в нормальном режиме.

10. Заболевание (с точки зрения Мореля) — это состояние, когда организм не способен поддерживать равновесие между гармоническими и дисгармоническими спектрами частот, последние начинают преобладать (в начальных стадиях), либо доминировать в регуляционном цикле (в тяжелых, дегенеративных случаях).

В целом с этим можно согласиться, но природа этих изменений — бифуркационная, а сами патологии связаны с отклонениями в параметрах системы.

11. Гармонические колебания в организме имеют постоянные пейсмейкеры (функциональные клетки и органы). Дисгармонические колебательные процессы не имеют постоянной пейсмейкерской поддержки, и, по сути, являются «шумами», помехами, создающими препятствия в регуляционной системе, поэтому чисто физически дисгармонические колебания являются нестойкими и более подверженными элиминации (угасанию), чем гармонические.

Здесь слабое место в обосновании причин возникновения колебаний. Откуда-то возникают новые колебания, но не имеющие постоянной «пейсмейкерской» поддержки. Но причина возникновения колебаний вопрос принципиальный, поскольку исходя из нее формируется способ борьбы с этими «помеховыми» колебаниями.

Совокупность всех колебательных процессов системы (в данном случае живого организма) является своеобразным «белым шумом», в котором по принципу суперпозиции волновые процессы от разных источников следуют независимо друг от друга. Все упорядоченные волновые процессы, являющиеся физиологическими, образуют так называемый «биофизический гомеостаз» организма.

С другой стороны, «совокупность всех колебательных процессов системы», которая является «своеобразным «белым шумом»», конечно без оговорки, что здесь работает принцип суперпозиции и процессы не зависят друг от друга, формирует гомеостаз (электромагнитный?), который является ядром динамической системы организма и ключом к пониманию того, как внешние воздействия или дополнительные обратные связи меняют его (организма) состояние. Возможно, это рациональный путь к объяснению механизмов воздействия, сначала «резонансных» относительно низких частот, а затем и КВЧ (низкие модулирующие частоты выступают в этом случае в качестве информационного содержания излучения КВЧ).

Так как все волновые процессы при биорезонансной терапии происходят из организма пациента, они являются абсолютно когерентными сами себе, поэтому происходит интерференция колебательных процессов в организме, т.е. происходит нарастание амплитуд гармонических колебаний, элиминация (угасание) дисгармонической составляющей, таким образом ПОСТЕПЕННО восстанавливается нормальная регуляция функций клеток и органов, восстанавливается биологический гомеостаз, разблокируются проводящие и ферментные системы, происходит активация механизмов саногенеза.

Этот тезис предполагает линейность совокупности колебательных систем организма и должен быть пересмотрен с учетом основ и новых результатов теории динамических систем.

7.2. Технические постулаты

13. Все виды колебательных процессов можно зарегистрировать приборами, уловить их от места их максимальной силы и концентрации излучения (специальными электродами и резонаторами).

Логично. Более того важно, что Раш говорит об уровне сигналов-колебаний, которые могут быть зафиксированы физическими приборами. Никакой мистики, которая проскакивает в последующих новых трактовках метода биорезонанса, когда колебаниям приписывается сверхмалая амплитуда, выводящая проблему из зоны амплитуд колебаний, где возможны нормальные физические эксперименты.

14. Электромагнитные колебания можно передать по проводникам (проводам, электродам) на расстояние, усилить (с помощью аппаратного усилителя), отфильтровать (выделение определенных спектров фильтрами низких, высоких частот и полосовым фильтром), инвертировать (перевести в обратную фазу).

Отмеченные преобразования сигналов физически реализуемы, синтез любых их комбинаций, при необходимости, не вызывает технических затруднений.

15. Между телом пациента и аппаратом биорезонансной терапии устанавливается замкнутый контур («цепь»), где вся поступающая от организма электромагнитная информация передается по электродам и проводам в аппарат, усиливается, меняются ее физические параметры, и формируется терапевтический импульс, который подается обратно на тело пациента (рис. 3).

Идея использования для коррекции состояния организма информацию о его текущем состоянии и использования с этой целью обратной связи, на концептуальном уровне представляется очень разумной. Вопрос встает о соответствующей подготовке этой информации и методах ее ввода в цепь обратной связи.

Следует отметить, что разработчиками средств на основе идеи биорезонансной диагностики/терапии создано большое число корректирующих паттернов, которые используются для купирования различных болезненных состояний, что, видимо, позволяет достаточно эффективно использовать этот подход. Дело, конечно не ограничивается только первоначальной идеей инвертирования патогенных колебаний и использования инвертированных копий для борьбы с болезненными состояниями.

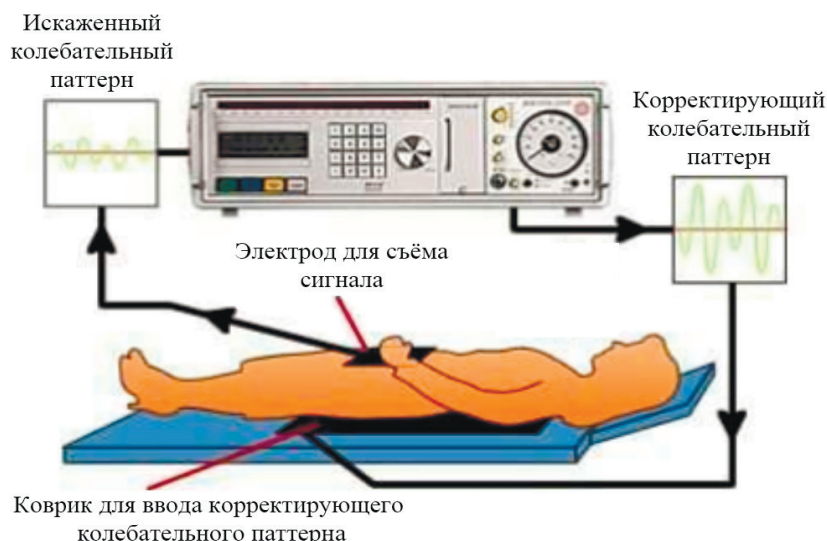


Рис. 3. Взаимодействие между пациентом (ЖБО) и аппаратом биорезонансной диагностики/терапии.

Прежде всего с этой целью создаются большие банки образцов патогенных колебаний на разные типы заболеваний. Это позволяет осуществлять достаточно адекватную диагностику. Затем, в основном эмпирически, подбираются образцы колебаний, вводимые специальным образом в цепь обратной связи и приводящие к подавлению патогенной составляющей собственных колебательных процессов (рис. 4).

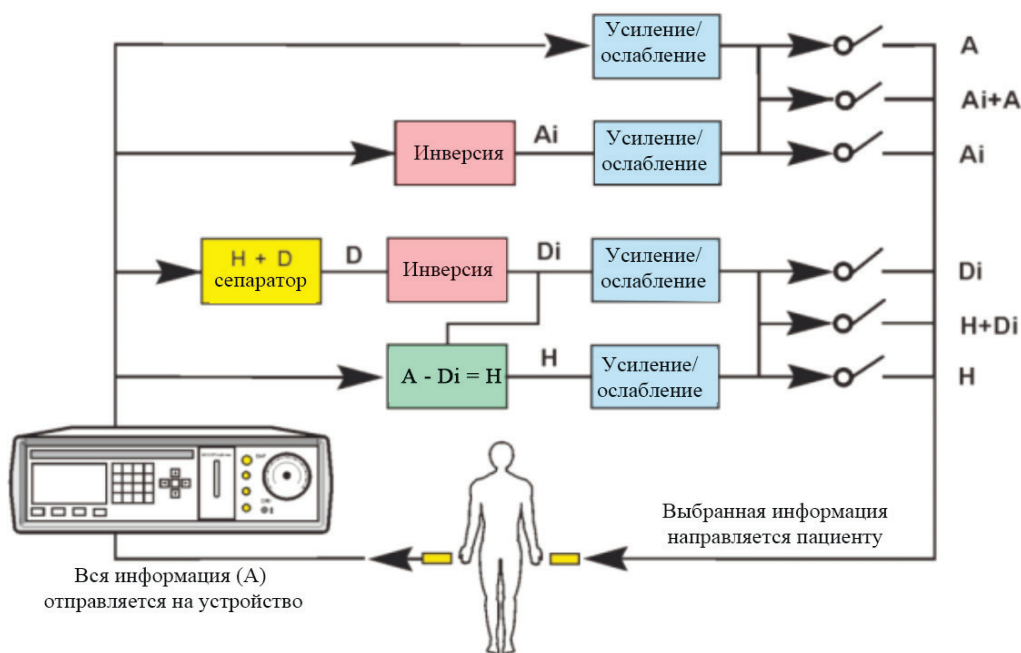


Рис. 4. Структура цепи обратной связи для формирования корректирующих колебаний в аппарате биорезонансной терапии.

Частным примером системы коррекции колебательных процессов в медицине являются, например, кардиостимуляторы.

Как можно построить корректирующую колебания систему, за счет введения обратной связи в общем случае и без эмпирики? Возможно, здесь будет полезна техника управления колебаниями, называемая контролем хаоса (chaos controlling). Об этом пойдет речь ниже.

8. Возможность коррекции динамического гомеостаза методами нелинейной динамики

Идея Мореля об использовании патологических компонентов колебаний для терапии обнаруженных заболеваний была проста и интуитивно выглядела привлекательной: давайте давить патогенную состав-

ляющую ее же инвертированной копией. Вскоре стало понятно, что в большинстве случаев такое «очевидное» решение не работает, но мысль об использовании самих патологических колебаний для борьбы с болезнью оказалась достаточно плодотворной и используется в упомянутой выше аппаратуре.

Исследования разработки в области биорезонансной диагностики и терапии, начавшиеся в середине 70 годов Морелем и его последователями и конкурентами в научном плане опирались на существовавшие в то время представления и результаты теории колебаний. Речь в основном шла о колебаниях и автоколебаниях в слабо нелинейных системах. Отсюда происходили подходы и рекомендации. С тех пор нелинейная динамика в целом, и теория нелинейных колебаний в частности, проделали громадный путь. И сейчас имеется значительно более глубокое понимание в вопросах принципов синхронизации многочастотных колебаний, условий поддержания этой синхронизации, причин разрушения регулярных колебаний и перехода к более сложным их формам, воздействия внешних сигналов на колебательные и автоколебательные системы. Разработаны методы однопараметрического, двух и много параметрического анализа, которые могут быть использованы для параметрического управления колебательными процессами. Развито специальное направление по управлению динамическим хаосом и сложными колебаниями в нелинейных динамических системах. Созданы методы и основанные на них программные комплексы, обеспечивающие восстановление топологии странных аттракторов по наблюдаемым временным реализациям и многое другое. Все это вместе взятое позволяет с оптимизмом смотреть на применение «биорезонансных», а в современной трактовке «биодинамических» методов для терапии (или коррекции гомеостаза), во всяком случае, на верхних уровнях системной иерархии живого биологического организма.

В целом подход Мореля (биорезонансные методы) неплохо согласуется с идеями о живых объектах, как о сложных динамических системах [18, 19]. И нелинейная динамика, с оговорками, о которых шла речь выше, может рассматриваться в качестве одного из важных компонентов научного обоснования «биорезонансных методов».

9. Беспроводной нейроинтерфейс

Среди множества колебательных процессов в иерархической сложной динамике систем живого организма безусловно выделяются колебательные процессы в коре головного мозга. Если в большинстве подсистем имеют место стационарные колебания и изменение их характера рассматривается как некоторое отклонение от нормы, то в мозге превалируют нестационарные колебательные процессы и это — норма. Мозг является «управляющей структурой» для остальных частей живого биологического организма и ответственен за возникновение, сбор, обработку и распространение информации по всему организму. Происходит это на физическом уровне путем формирования низкочастотных колебательных паттернов, в структуре которых, на аналоговом уровне содержится существенная информация, которая может восприниматься другими частями мозга и обрабатываться ими, либо передаваться периферийным подсистемам — исполнительным элементам для осуществления взаимодействий внутри живого объекта, либо с внешней по отношению к нему средой. Разнообразие колебательных паттернов и их информационная насыщенность резко отличает характер колебаний, связанных с мозговой активностью от других типов колебаний в живом организме. Тем не менее, это тоже колебательная динамическая система, которая может быть подвергнута внешнему воздействию и соответствующим образом реагировать на нее.

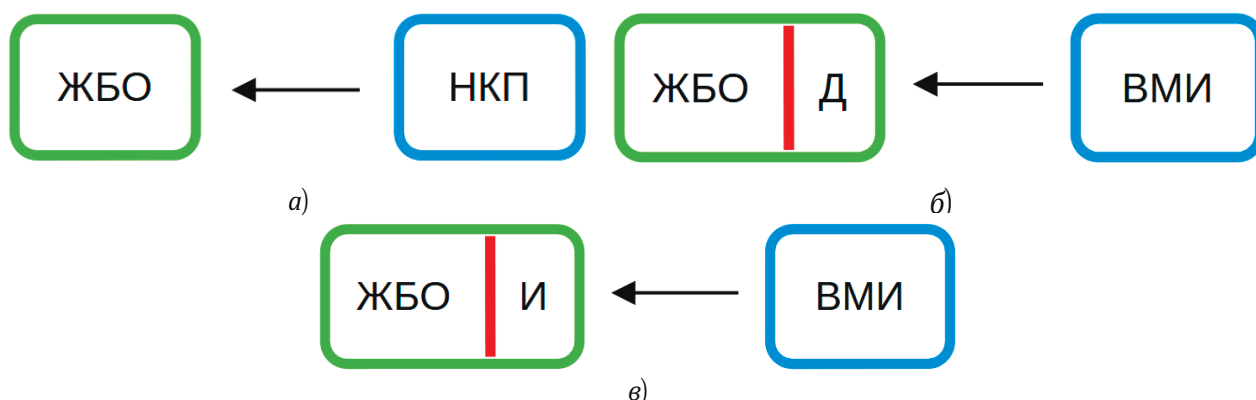


Рис. 5. Дистанционное воздействие внешних полей на живой биологический объект: а) низкочастотные колебательные паттерны (НКО) (переменные магнитные поля); б) высокочастотные модулированные поля (ВМО) с детектированием (Д) («Радиосон», «Радиозвук»; в) ВМО с имплантом (И) («Stimoceiver»).

В связи с работами в области динамического хаоса, синхронизации колебательных процессов и управления ими значительное внимание уделяется и вопросам колебательных процессов в мозге, их связи с наблюдаемыми колебаниями на скальпе (ЭЭГ, МЭГ и др.) и изменению поведения при воздействии на них внешними сигналами. Работы здесь ведутся на теоретическом, с помощью компьютерного моделирования и в реальных биофизических экспериментах [30–33].

Что касается непосредственно методов и подходов исследования динамики, контроля и целенаправленного управления мозговой деятельностью, они идеологически связаны с биодинамическими методами (экспериментальное наблюдение колебаний, их анализ, использование структуры получаемых данных о колебаниях для коррекции, контроля и управления), но при этом имеют и свои яркие особенности, с далеко идущими последствиями.

9.1. *Stimoceiver*

Собственно история отношений колебаний мозга с внешними электромагнитными воздействиями началась более шестидесяти лет назад. В 1963 году впервые на широкой публике было продемонстрировано воздействие на животное электрических сигналов, подаваемых в его мозг через электроды от электронного прибора *Stimoceiver* [34–38], который дистанционно управлялся по беспроводному каналу с помощью FM-радио. Прибор был изобретен испанским и американским ученым испанского происхождения Хосе Дельгадо и испытан в мозге быка. Дельгадо вышел против быка на арену для корриды, а когда тот побежал на него, нажал кнопку на пульте управления и изменил направление движения животного.

Его изобретение сработало! Он придумал способ управления мозгом. В 1950-е годы!

Что же представляла из себя система радиостимуляции с прибором *Stimoceiver*?

Система состояла из двух блоков (частей): 1) **радиочастотного передатчика**, который имел размеры 30×25×15 см и включал схему для контроля частоты повторений, продолжительности и амплитуды (интенсивность) стимулирующих импульсов. Частота повторений могла варьироваться с шагом от 10 до 200 Гц и продолжительностью между импульсами от 0,1 и 1,5 мс. Одиночные импульсы также могли генерироваться. Контроль интенсивности достигался за счет изменения частоты трех поднесущих генераторов, в диапазоне частот от 100 до 500 кГц. Генератор с частотой колебаний 100 МГц включался и выключался последовательностью импульсов от поднесущих генераторов. Длительность этой последовательности импульсов задавалась переключателем длительности импульса. Эти всплески 100 мегагерцовой радиочастотной энергии принимались 2) **приемником-стимулятором**, который переносился субъектом, имел размеры 3,7 x 3,0 x 1,4 см, и весил 20 г. Твердотельная схема была капсулирована эпоксидной смолой, которая обеспечивала ей очень хорошую механическую прочность и делала ее водонепроницаемой. После детектирования радиочастотного сигнала, результирующая частота поднесущей демодулировалась в амплитуду. Эта амплитуда контролировала текущую интенсивность импульса стимуляции с помощью использования транзистора постоянного тока в выходную цепь приемника. Этот метод делает интенсивность импульса независимой от изменений биологического импеданса в широких пределах. В средних условиях стимуляции срок службы батареи составлял примерно 1 неделю. Рабочий диапазон дальностей был до 30 метров, для стимуляции были доступны три канала. Интенсивность импульса в каждом канале можно было контролировать индивидуально с передатчика. Продолжительность импульса и скорость восполнения были одинаковы для всех трех каналов.

Такими были первые импланты, который использовались для дистанционной стимуляции мозга животных. С помощью подобных имплантов, встроенных в черепа животных, ученый добился впечатляющих результатов, которые варьировались от непроизвольного движения конечностей до внушения разных эмоций и вызывания аппетита.

С точки зрения вопросов, рассматриваемых в данной статье обратим внимание на два факта: 1) сама стимуляция производилась прямоугольными электрическими импульсами с частотой следования от 10 до 200 Гц и 2) радиоизлучение использовалось как «канал» передачи информационных аналоговых паттернов в виде этой низкочастотной последовательности импульсов.

После этих успехов Дельгадо начал экспериментировать с *Stimoceiver* на человеческом мозге и, увидел те же реакции, что и у животных. Дельгадо смог использовать свое устройство, чтобы заставить людей чувствовать себя счастливыми или грустными, но это было нечто большее, чем просто базовые эмоции. Состояния счастья могли варьироваться от «хорошего самочувствия» до «легкой эйфории» и «эйфории, выходящей за естественные пределы». Другими словами, он мог провести людей через весь диапазон человеческого удовлетворения: от полного неприятия до абсолютного восторга — и все это одним нажатием кнопки. Дельгадо овладел элементарным контролем над разумом и мог поставить людей в тупик одним нажатием кнопки, и все это в эпоху, задолго до появления персональной вычислительной техники и мобильной связи.

Так было сделано одно из самых важных изобретений в истории человечества. Какова была его судьба?

Надо отдать должное социальной зрелости и ответственности американского (основные события происходили в США) общества в начале 70-х годов. Оно было серьезно обеспокоено возможным негативным потенциалом этой технологии, тем более, что в это время в США проводились масштабные исследования в области управления сознанием с использованием химиотерапии и наркотиков (Программа «МК-ультра», финансируемая ЦРУ), которая, кроме основных направлений, включала в себя и воздействие внешних звуковых и электромагнитных полей (см., например, [39]). Опасения в отношении участия Дельгадо в программе «МК – ультра» были связаны еще и с тем, что часть его исследований финансировалась подразделением министерства обороны США — Управлением военно-морских исследований (Office of Naval Research — ONR). Сам Дельгадо называл себя пацифистом и настаивал на том, что его проекты никогда не финансировались ЦРУ (рис. 6).



Рис. 6. Дельгадо с двумя устройствами *Stimoceiver* (2005 г).

Так или иначе, интерес к исследованиям Дельгадо в США постепенно сошел на нет, и в 1974 году он принял предложение испанского правительства переехать на родину в Испанию. В Испании научные интересы Дельгадо сдвинулись в область неинвазивных методов воздействия на мозг, которые, как он надеялся, будут более приемлемы с медицинской точки зрения, чем импланты.

Вместе с его отъездом, в значительной степени закончилась первая «революционная» эпоха исследований в области дистанционного воздействия низкочастотных аналоговых паттернов на мозг. И этические аргументы широкой общественности сыграли в этом не последнюю роль.

Новый серьезный интерес к этой тематике и связанные с ней термины — нейроинтерфейс, интерфейс мозг — компьютер (МКИ), Brain — Computer Interface (BCI) — возникли много лет спустя, когда морально этические, связанные с возможными катастрофическими негативными последствиями проблемы стерлись в памяти общества и отошли на второй план. Кроме того, стала упорно продвигаться мысль, что эта технология на новом этапе развивается исключительно для блага тяжело больных людей, лишенных без неё возможности вести активную жизнь.

Человечество sentimentalno и забывчиво.

9.2. Современные нейроинтерфейсы

Технологический прорыв в области нейроинтерфейсов произошел 15–20 лет назад, когда появились достаточно мощные компьютеры и новые алгоритмы, включаемые в контур обратной связи с глубокой обработкой сигналов, снимаемых с коры головного мозга (рис. 7). Если раньше можно было расшифровывать только самые простые намерения, например, хочет человек пошевелить правой рукой или левой, то современный нейроинтерфейс может управлять даже отдельными пальцами протеза руки. Для этого нужно внедрить на участке мозга, отвечающем за движение рук, более 100 электродов.

Конечно, новые технологии предоставили новые возможности в этой сфере, но принципиальная идея нейроинтерфейса такая же, как и полвека назад. В интерфейсе «мозг — компьютер» нет ничего мистического: технология позволяет регистрировать электрическую активность мозга и преобразовывать ее в команды для внешних устройств. И для коррекции внутреннего состояния колебательной активности систем его организма.

В нейроинтерфейсах мысленные команды человека расшифровываются по записи электрической активности его мозга, или электроэнцефалограммы. Считывание сигналов мозга производится с помощью инвазивных (вживляемых в мозг пациента) датчиков или неинвазивных датчиков, которые регистрируют ЭЭГ с поверхности головы.



Рис. 7. Современные нейроинтерфейсы: а) взаимодействие между МОЗГом и компьютером (К) через имплант по проводам; б) беспроводной интерфейс МОЗГ — компьютер.

С точки зрения современной нелинейной динамики для анализа активности мозга формально достаточно снимать данные в течении определенного периода времени с помощью одного электрода, однако наращивание числа электродов, как правило, резко улучшает ситуацию: во-первых, при построении искусственного фазового пространства высокой размерности с целью определения топологии пучков фазовых траекторий и размерности множеств на которых развиваются динамические процессы; во-вторых, время требуемое для наблюдения сокращается обратно пропорционально числу используемых при измерениях электродов, что очень важно ввиду нестационарности «мозговых колебаний» во времени; в-третьих, использование нескольких разных координат позволяет снизить уровень шумов при измерениях. Поэтому корректный переход от измерений колебательной активности мозга (как и воздействие на нее) с помощью единичных электродов к десяткам и сотням электродов, безусловно характеризует резких скачок качества и возможностей измерения активности мозга. Для инвазивного нейроинтерфейса требуется операция: электроды вживляются прямо в кору мозга. Выглядят они как маленькая пластинка, примерно пять на пять миллиметров, которая покрыта сотнями иглоочек-электродов. Они регистрируют электрическую активность отдельных нервных клеток в том месте, куда внедрены. Такие датчики отличаются более сильным сигналом, однако инвазивное вмешательство сопряжено с последствиями для здоровья человека. Даже отличные характеристики датчиков нового поколения могут вызвать ряд проблем: риск воспалений, необходимость повторной имплантации из-за отмирания нейронов и даже такие необъяснимые последствия, как эпилепсия. Поэтому такие интерфейсы используют в крайних случаях, для тяжелобольных пациентов, которым не могут помочь другие методы.

Неинвазивный нейроинтерфейс не предполагает вторжения в организм — электроды прикрепляют к коже головы. Несмотря на то, что мозг располагается глубоко в черепе, электрические поля, создаваемые нервными клетками, улавливаются электродами на поверхности головы. Этот метод уже давно применяется при снятии электроэнцефалограмм. С использованием нейрогарнитуры возможно построить интерфейс «мозг — компьютер», обеспечивающий точность распознавания команд пользователя до 95%.

Неинвазивные нейроинтерфейсы могут использовать «мокрые» и «сухие» электроды. В первом случае электроды с подушечками нужно смачивать и лишь затем прикреплять к голове. Как известно, жидкость служит проводником электричества и облегчает снятие данных. Однако у такого метода есть недостатки, и это не только мокрые волосы.

Нейроинтерфейсы на сухих электродах выглядят в виде шлема, который можно легко надеть без какой-либо дополнительной помощи и подготовки. Специальные электроды не требуют использования электропроводящего геля, при этом высокое качество регистрируемого сигнала обеспечивает система активного подавления помех.

9.3. Беспроводные нейроинтерфейсы

Интерфейсы «мозг-компьютер» разрабатываются для повышения независимости и восстановления связи в условиях отсутствия физического движения. За последнее десятилетие было показано, что люди с параличом конечностей могут быстро набирать текст на экране и управлять планшетными приложениями с помощью интракортикальных МКИ типа «укажи и щелкни», которые декодируют предполагаемые движения рук на основе нервных сигналов, записанных имплантированными микроэлектродами в массивы данных. Однако кабели, используемые для передачи нервных сигналов от мозга, привязывают участников к усилителям и декодирующим компьютерам и требуют экспертного надзора, что серьезно ограничивает, когда и где МКИ могут быть доступны для использования.

В работе [40] была продемонстрирована одна из первых версий использования человеком беспроводного широкополосного МКИ.

На основе прототипа системы, ранее использовавшейся в доклинических исследованиях, внешние кабели 192-электродного МКИ были заменены на беспроводные передатчики и при этом удалось добиться записи и декодирования с высоким разрешением широкополосных полевых потенциалов и пиковой активности от МКИ имплантов, расположенных на головном мозге пациентов, страдающих параличом. Два участника пилотного клинического исследования выполнили задачи по выбору элементов на экране, чтобы оценить управление курсором с помощью МКИ. Результаты: скорость передачи данных была одинаковой в кабельной и беспроводной конфигурациях. Участники также использовали беспроводной МКИ для управления стандартным коммерческим планшетным компьютером для просмотра веб-страниц и использования нескольких мобильных приложений.

Таким образом, было продемонстрировано, что беспроводная многоэлектродная запись широкополосных нейронных сигналов в течение длительных периодов времени представляет собой ценный инструмент для исследований в области нейробиологии человека и является важным шагом на пути к практическому внедрению технологии МКИ для независимого использования людьми с параличом.

9.4. Нейролинк

В качестве примера следующего шага в развитии беспроводных нейроинтерфейсов рассмотрим разработку компании Neuralink [41]

Чем чип отличается от других беспроводных МКИ?

Neuralink нацелен на активность отдельных нейронов — подход, который требует электродов, проникающих в мозг. Другие компании разрабатывают электроды, которые размещаются на поверхности мозга (некоторые из них легко снимаются) для записи усредненных сигналов, вырабатываемых популяциями нейронов. Нейробиологи уже давно утверждают, что данные от отдельных нейронов необходимы для сложного декодирования мыслей. Но исследования показывают, что и усредненные сигналы могут позволить декодировать сложные когнитивные процессы, такие как внутренняя речь.

Как и рассмотренный выше МКИ, система Neuralink полностью имплантирована и беспроводна. Однако это первый случай беспроводного МКИ, который записывает информацию с отдельных нейронов. Раньше такие системы нужно было физически подключать к компьютеру через порт в черепе. Это создавало риск заражения и ограничивало использование в реальных условиях.

Устройство Neuralink использует тонкие гибкие нити, оснащенные 1024 электродами, которые записывают активность нейронов, отправляющих сообщения по всему телу, управляя таким путем практически всеми функциями человека. Гаджет размером с монету (рис. 6), включает специальный чип внутри, который обрабатывает эти сигналы и передает их на цифровое устройство через стандартное беспроводное соединение Bluetooth — новый шаг в развитии МКИ. Хирургические роботы тщательно вплетают эти нити в кору головного мозга, отвечающую за процессы более высокого уровня, такие как обучение и эмоции, чтобы обеспечить точное размещение электродов.



Рис. 8. Нейрочип компании Neuralink

Первоначально ориентированный на помощь людям с тяжелым параличом, чип Neuralink нацелен на восстановление личного контроля над конечностями, протезами или устройствами связи. Записывая и декодируя нейронные сигналы от отдельных нейронов, а затем передавая их обратно в мозг с помощью электрической стимуляции, чип позволяет пользователям управлять устройствами исключительно посредством мысли.

По мнению нейробиологов, устройство Neuralink не предлагает особых новых технологических разработок — ряд компаний уже несколько десятилетий разрабатывают поверхностные электроды, предлагающие аналогичную технологию. Однако инновация Neuralink заключается в том, что ее устройство объединяет множество существующих технологий в единую систему и соединяет электроды с отдельными нейронами.

На сегодняшний день беспроводные нейроинтерфейсы представляют самое горячее направление исследований взаимодействия модулированных электромагнитных излучений с живой материей, в качестве которой выступает нейросистема мозга. Воздействие на мозг как динамическую систему организуется здесь через специальный беспроводный имплант, обеспечивающий сбор исходной информации о состоянии мозга в виде аналоговых колебательных паттернов, несущих существенную информацию об интеллектуальных процессах, и последующее преобразование этой информации в модуляцию высокочастотных колебаний, выполняющих в этом случае роль носителя информации о процессах внутри мозга (это в режиме передачи). При воздействии внешних модулированных электромагнитных колебаний на живую биологическую систему в беспроводном импланте нейроинтерфейса происходит демодуляция поступающего излучения с выделением модулирующей низкочастотной компоненты (в режиме приема). Полученные таким образом колебательные информационные паттерны уже непосредственно воздействуют на динамические процессы в мозге, производя коррекцию его динамики или способствуя управлению этими процессами в нужном для поставленных целей направлении.

К настоящему времени существуют определенные ограничения, связанные с этой технологией анализа информационных аспектов колебательных процессов в системах мозга.

Ситуация здесь сходна с картиной в области биодинамических методов в целом, в частности с приборами типа ВИСОМ: критически важным для успеха технологии (опуская этические проблемы) является разработка принципов обработки, интерпретации и использования получаемых из колебательных процессов в живом объекте данных. Совокупность колебательных процессов систем мозга и их связь с информационными процессами, по-прежнему, в значительной степени представляет собой черный ящик и задача текущих и будущих исследований заключается в исследовании его свойств и последующем их использовании. Конечно, рамки возможных применений развиваемых здесь возможностей выходят за рамки узких медицинских применений, которые заявляются авторами разработки аппаратуры и алгоритмов ее применения. Например, вполне вероятно, учитывая участие в этом процессе И. Маска, что участники первых полетов и колоний людей на Марсе, будут чипированы в обязательном порядке, чтобы получить сообщество с контролируемыми свойствами поведения. Последнее может оказаться крайне желательным для обеспечения, например, устойчивости этого сообщества в экстремальных условиях марсианской среды.

Заключение

Анализ проблемы позволяет сделать следующие выводы.

1. Взаимодействие живых биологических организмов, рассматриваемых как системы со сложной динамикой, происходит и может происходить с внешними колебательными процессами различной природы. Сами живые организмы на разных уровнях иерархии также насыщены колебательными и волновыми процессами, совокупность которых условно можно сопоставлять с биологическим понятием гомеостаза. Поскольку речь идет не о статических, а о динамических процессах, в статье для этой комплексной характеристики используется термин **динамический гомеостаз**.

2. На верхних уровнях системной иерархии собственная динамика живого организма характеризуется наличием целого ряда низкочастотных колебаний (диапазон типичных частот 0.1 Гц до 20 КГц), и он, в соответствии с теорией нелинейных динамических систем, может быть чувствителен к воздействию внешних переменных низкочастотных полей, вообще говоря, разной физической природы.

3. Наличие и характер этой чувствительности определяется, как динамическими свойствами систем ЖБО, так и частотно-временной структурой воздействующих полей.

4. При определенных условиях воздействие внешних переменных низкочастотных полей может качественно изменять динамическое состояние живых биологических объектов, даже при достаточно малых интенсивностях воздействия.

5. Высокочастотные электромагнитные колебания, поля и излучения, наряду с низкочастотными, являются составной частью внешней колебательной среды для живых биологических объектов. В отличие от низкочастотных полей, в рамках динамической модели они с ЖБО напрямую не взаимодействуют.

6. С учетом того, что многие наблюдаемые колебания различных подсистем живых объектов лежат в области низких частот, выдвинуто предположение о том, что взаимодействие высокочастотного излучения с ЖБО в рамках динамической модели может быть реализовано за счет его модуляции низкочастотными процессами, характерными для колебательных систем самого организма.

7. Высокочастотное электромагнитное излучение при этом выполняет роль переносчика аналоговой информации в форме низкочастотных колебательных паттернов — канала по которому эти паттерны доставляются из одной точки пространства в другую. В процессе взаимодействия излучения с живым объектом в ряде случаев может происходить непосредственная демодуляция исходных высокочастотных исходных колебаний с получением в результате электрических или других физических типов колебаний, свойственных внутренним процессам в самих живых организмах. Примеры таких взаимодействий известны и приводятся в статье.

8. Однако технологическое развитие предоставляет и другую, универсальную, возможность использования модулированного высокочастотного излучения как для дистанционного снятия информации о низкочастотных процессах в живых системах, так и для воздействия на такие системы низкочастотными колебаниями. Это — специальные системы датчиков (сенсоров) и актуаторов, размещаемых на поверхности живого организма (неинвазивный вариант) или внутри него (разного рода импланты), которые производят модуляцию/демодуляцию высокочастотного излучения. И в естественном, и в искусственном вариантах принципы воздействия модулированных электромагнитных полей и излучений одинаковы, такие же, как и у низкочастотных колебаний, взаимодействующих с живыми системами (акустических, механических, контактных электромагнитных и др.). При этом с развитием технологий имплантирования будет стираться грань между естественной модуляцией/демодуляцией излучения в живых организмах и искусственной, за счет роста числа контактов сенсорных устройств, их дисперсного размещения в организме и снижения травмирующих факторов инвазивности.

Список литературы

1. Гурвич А.Г. Теория биологического поля. М.: Советская наука, 1944. 156 с.
2. Кажинский Б. Б. Биологическая радиосвязь. Киев: АН УССР, 1962. 168 с.
3. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
4. Гуляев Ю. В. Физические поля и излучения человека. Новые неинвазивные методы медицинской диагностики. М.: РБОФ «Знание» им. С. И. Вавилова, 2009. 28 с.
5. Девятков Н. Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты // УФН. 1973. Т. 110. № 7. С. 453–454. DOI: 10.3367/UFNr.0110.1973071.0453.
6. Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева Н. Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. 272 с.
7. Дмитриев А.С., Рыжов А. И. Взаимодействие электромагнитного излучения с биологическими объектами и социальными системами // Известия вузов. «ПНД». 2021. Т. 29. № 4. С. 549–558.
8. Bunkin, N.F., Bolotskova, P.N., Bondarchuk, E.V., Gryaznov, V.G. et al. Stochastic Ultralow-Frequency Oscillations of the Luminescence Intensity from the Surface of a Polymer Membrane Swelling in Aqueous Salt Solutions // Polymers. 2022. Vol. 14. P. 688. DOI:10.3390/polym14040688
9. Airborne Instruments Laboratory. An Observation on the Detection by the Ear of Microwave Signals // Proc. IRE. 1956. Vol. 44. Iss. 10. P. 2A-9
10. Allan F. Auditory system response to radio frequency energy // Aerospace Med. 1961. Vol. 32. P. 1140–1142.
11. Баранов В.К., Кыдырбаева Д.А., Тамбовцев Д.К. Механизм воздействия модулированного высокочастотного сигнала на идеальный диэлектрик. Радиозвук. Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2016. Т. 16. № 2. С. 68–73.
12. Elder, J.A., Chou, C.K. Auditory Response to Pulsed Radiofrequency Energy. 2003. Bioelectromagnetics Supplement. Vol. 6. P. 162–173. DOI: 10.1002/bem.10163
13. Давыдов А.С. Солитоны в биоэнергетике. К.: Наукова думка. 1986. 159 с.
14. Галль Л. Квант мироздания. Квантовая физика и биоэнергетика живых организмов. М., СПб.: Пальмира, 2023. 446 с.
15. Рагульская М.В., Любимов В.В. Приборное изучение воздействий естественных магнитных полей на БАТ человека: методы, средства, результаты. // Журнал радиоэлектроники. 2000. № 11. С. 14.
16. Gleim, P., Klopp, R. Apparatus for stimulating local and higher homeostatic autoregulatory mechanisms in the organism. Patent US 8,808,259. Aug. 19. 2014.
17. Блохин И.С., Дорохов В.Б., Блохин А.С. Способ и система физиотерапевтической коррекции и терапии сна человека. Патент РФ № 2725076. Опубликовано 26.06.2024.
18. Глик Д. ХАОС. Создание новой науки. М.: АСТ, 2021. 410 с.
19. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.: Мир, 1991. 248 с.
20. Homeostasis. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Homeostasis>.
21. Эшби У.Р. Конструкция Мозга. М.: ИИЛ, 1962. 398 с.
22. Анохин П.К. Идеи и факты в разработке теории функциональных систем. Психологический журнал. 1984. Т. 5. С. 107–118.
23. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
24. Арнольд В. И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1978. 304 с.
25. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Москва. 1980. 607 с.
26. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001. 295 с.
27. Некоркин В.И. Лекции по основам теории колебаний. НН: Изд. Нижегородского университета, 2012. 310 с.
28. Hennecke, J. Bioresonance: a new view of medicine. Scientific principles and practical experience. 2017. Books on Demand. www.bod.de. 182 p.
29. Теслин Е.В. Классическая биорезонансная терапия по Ф. Морелю. Методическое руководство для врачей. М.: ТОКРАН. 2012.
30. Spano, M.L., Ditto, W.L. Chaos Control in Biological Systems. Handbook of Chaos and Control. // Wiley-VHC Verlag Gmb H. 1999. P. 427–456.
31. Weiss, J.N., Garfinkel, A., Spano, M.L., Ditto, W.L. Chaos and Chaos Control in Biology. // Journal of Clinical Investigations. V. 93. April 1994. P. 1355–1360.
32. Schiff, S.J., Jerger, K., Doung, D.H., et al. Controlling chaos in the brain. // Nature. Vol. 370. 25 August 1994. P. 615–620.

33. Boccaletti, S., Grebogi, C., Lai, Y.-C., et al. The Control of Chaos: Theory and Applications. // Physics Reports. 2000. Vol. 329. P. 103–197.
34. Delgado, J.M.R. Physical Control of the Mind. Toward to Psychocivilized Society. NY: HARPER&ROW. 1969. 296 p.
35. Horgan, J. The Forgotten Era of Brain. The work of Jose Delgado, a pioneering star. // Scientific American. October 2005. P. 66–73.
36. Salinas, D. Mind Control: From Nazis to DARPA // SM Phys Med Rehabil. 2018; № 2(1): P. 1007.
37. Horgan, J. The Myth of Mind Control. Will anyone ever decode the human brain? // Discover. 2004. Vol. 25. P. 40–47.
38. Delgado, J.M.R., Mark, V., Sweet, W., et al. Intracerebral radio stimulation and recording in completely free patients // The Journal of Nervous and Mental Disease. 1968. Vol. 147 No 4. P. 329–340. DOI: 10.1097/00005053-196810000-00001.
39. Доктор Менгеле из США: как раскрыли самый неприятный секрет ЦРУ. РИА — Новости. 27.05.2024. URL: <https://ria.ru/20240527/sekret-1948207293.html>
40. Simeral, J.D., Hosman, T., Saab, J., et al. Home Use of a Percutaneous Wireless Intracortical Brain-Computer Interface by Individuals with Tetraplegia // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2021. Vol. 68. Iss. 7. P. 2313–2325.
41. Drew, L. Neuralink Brain Chip: Advance Sparks Safety and Secrecy Concerns // Nature. 7 March 2024. Vol. 627. P. 19.

Поступила 13 июня 2024 г.

ON THE INTERACTION OF MODULATED ELECTROMAGNETIC FIELDS WITH LIVING BIOLOGICAL ORGANISMS

DMITRIEV A.S.*, AISTOVA L.G.***, GRAYZNOV V.G.***,
ITSKOV V.V.*, RYZHOV A.I.*, AND TURKANOV I.F.**

*Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences;

**Concern Granit JSC

doi: 10.25210/jfop-2403-ZPDFDM | edn: ZPDFDM

The article is devoted to the problem of interaction of modulated electromagnetic fields with living biological objects (LBO). The organism is considered as a multiscale dynamic nonlinear system, at the upper levels of the hierarchy of which there is a set of various low-frequency self-oscillations. and, in accordance with the theory of nonlinear dynamic systems, it can be sensitive to the influence of external variable low-frequency fields, generally speaking, of different physical nature. The presence and nature of this sensitivity is determined both by the dynamic properties of reinforced concrete systems and by the time-frequency structure of the influencing fields. Under certain conditions, the influence of external variable low-frequency fields can qualitatively change the dynamic state of living biological objects, even at fairly low intensities of influence.

High-frequency electromagnetic oscillations, fields and radiation, along with low-frequency ones, are an integral part of the external oscillatory environment for living biological objects. Unlike low-frequency fields, within the framework of the dynamic model under consideration, high-frequency fields do not directly interact with the liquid concrete. It has been suggested that the interaction of high-frequency radiation with the liquid-breeding agent within the framework of a dynamic model can be realized due to its modulation by low-frequency processes characteristic of the oscillatory systems of the body itself. In this case, high-frequency electromagnetic radiation acts as a carrier of analog information in the form of low-frequency oscillatory patterns, creating a communication channel through which these patterns are delivered from one point in space to another. In the process of interaction of radiation with a living object, in a number of cases, direct demodulation of the initial high-frequency initial oscillations can occur, resulting in electrical or other physical types of oscillations characteristic of internal processes in living organisms themselves. Examples of such interactions are known and are given in the article.

It is noted that technological development provides another, equivalent from a dynamic point of view, but universal possibility of using modulated high-frequency radiation both for remotely obtaining information about low-frequency processes in living systems, and for influencing such systems with low-frequency oscillations. These are special systems of sensors and actuators placed on the surface of a living organism (non-invasive option) or inside it (various types of implants), which modulate/demodulate high-frequency radiation. In both natural and artificial versions, the principles of the influence of modulated electromagnetic fields and radiation are the same, the same as those of low-frequency oscillations interacting with living systems (acoustic, mechanical, contact electromagnetic, etc.).