

*В.Н. ГЕМБА*, ХНУРЭ (г. Харьков),  
*О.М. ДАЦОК*, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков),  
*Н.П. МУСТЕЦОВ*, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков)

## МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

Робота присвячена механізмам дії низькоінтенсивних електромагнітних полів на біологічні об'єкти. Пропонована модель, яка адекватна експериментальним результатам.

The article discusses mechanisms of low energy electromagnetic field influence to biological entity. The considered models are adequate to known experimental results, some original principles are proposed for physiotherapy apparatus building.

**Постановка проблемы.** В физиотерапии, как правило, применяют низкоинтенсивные воздействия физическими полями для лечения заболеваний как локального, так и общего характера, при этом биологический эффект проявляется в течение некоторого времени после воздействия. Воздействие электромагнитными полями малой интенсивности (ЭМПМИ) может приводить к «ответу», имеющему ярко выраженный резонансный характер, поэтому при некоторых значениях частоты и (или) амплитуды реакция организма имеет ярко выраженные особенности. Для обозначения этой особенности обычно используют термин «резонансный ответ». Однако наличие такого ответа, по мнению авторов, вовсе не подразумевает наличие резонансного поведения структурных элементов живой материи – биологического объекта (БО). Обосновать это утверждение можно, хотя бы, принципиально низкой добротностью некоего условного колебательного контура внутри БО. Существует, однако, и другой механизм получения эффектов, подобных резонансным, хорошо известный в теории синергетики и хаотической динамики – так называемые индуцированные шумом переходы [1].

Ранее в [2] предложены модели на основании аттракторов и странных аттракторов [3, 4], иллюстрирующие поведение БО при воздействии ЭМПМИ. Основаны эти модели на гипотезе [2], что при воздействии ЭМПМИ происходит изменение флуктуационной (шумовой, хаотической) составляющей естественных биологических процессов, причем амплитуда основного колебания существенно превышает амплитуду флуктуационной составляющей. Вопреки интуитивным представлениям, такое увеличение приводит не к деструктивным процессам в организме, а к их стабилизации, что отображается в модели как переход аттрактора к новой квазистационарной орбите.

Один из вопросов, требующий дополнительного обсуждения – определение границ нормы для системы, представленной в виде аттрактора [5].

В работе [6] модель условного биологического процесса описана уравнениями вида:

$$\begin{aligned} dx/dt &= \sigma [x(t) \{ (1 + a \cdot \cos(2\pi ft)) (1 + d \cdot \text{Random}[0\backslash 1]) \} - y(t)]; \\ dy/dt &= (r + c) \{ (1 + a \cdot \cos(2\pi ft)) (1 + d \cdot \text{Random}[0\backslash 1]) \} x(t) - y(t) - x(t) z(t); \\ dz/dt &= -b z(t) - x(t) \{ (1 + a \cdot \cos(2\pi ft)) (1 + d \cdot \text{Random}[0\backslash 1]) \} y(t), \end{aligned}$$

где  $a$  – амплитуда периодического ЭМПМИ;  $f$  – частота периодического ЭМПМИ;  $d$  – амплитуда хаотического ЭМПМИ;  $\text{Random}[0\backslash 1]$  – случайная функция, которая изменяется от 0 до 1;  $c$  – амплитуда постоянного ЭМПМИ;  $\sigma$ ,  $r$ ,  $b$  – константы биологического процесса;  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  – функции, описывающие биологический процесс в координатах  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Начальные условия:  $x(0) = 0$ ,  $y(0) = 0$ ,  $z(0) = 0$ .

Графическое решение уравнений представляет собой фазовые портреты в трехмерном пространстве, отображающие эволюцию системы [6]. Оказалось, что система чувствительная к изменению частоты воздействия, причем не монотонно, а по принципу «частотных окон» – есть зоны (параметров), где влияние не ощущается. Существуют зоны, где влияние ощущается и имеет одинаковый характер при разных амплитудах воздействия. В некоторых зонах влияние ощущается и имеет различный характер при разных амплитудах. Реакция системы в основном сводится к переходу на новые квазипериодические орбиты при определенных частотных и амплитудных параметрах, что и воспринимается внешним наблюдателем как резонансный ответ. Параметры новой орбиты зависят от параметров воздействия и начального состояния объекта. Характерно, что время нахождения в любом подсостоянии также изменяется и его можно оценить по количеству петель в различных плоскостях аттрактора.

Флуктуационная составляющая как бы «прощупывает» пространство возможных состояний и по законам устойчивости переводит организм из состояния «болезнь» в состояние «нормы» («здоровья»), как оптимальное для организма. Напротив, переход организма к абсолютно стабильному процессу (полное отсутствие флуктуационной составляющей) является для организма столь же опасным, как и затухание колебаний вообще. В процессе без флуктуационной составляющей организм, многократно «пробегаая» по одному и тому же жизненному циклу, вырабатывает свои ресурсы, не может подключить новые (нет «рыскающего», поискового фактора флуктуационной составляющей) и, в конечном итоге, также неминуемо

погибает, как и при затухании основных колебательных процессов. С точки зрения теории аттракторов процесс без флуктуационной составляющей может быть охарактеризован как предельный цикл [6].

**Целью работы** является разработка модели, адекватно отражающей поведение биологического объекта при низкоинтенсивном терапевтическом воздействии.

**Предлагаемая модель.** Предлагается модель анализа описанных процессов, основанная на теории устойчивости. Предполагаем ее использование для различных частотных диапазонов, в том числе для воздействия на точки акупунктуры. Подобные модели используются для анализа устойчивости колебаний в генераторах хаотических колебаний с положительной обратной связью [6]. Будем исходить из того, что БО (точнее – аттрактор, описывающий поведение некоторого квазипериодического колебания в этом объекте) в состоянии нормы находится в некотором равновесном состоянии. Это состояние, с одной стороны, ограничено предельными возможностями организма, а с другой – минимальными энергетическими потребностями, необходимыми для поддержания жизнедеятельности. Затухающие колебания, которые приводят к гибели БО, не рассматриваем. Представим аттрактор в виде шарика катающегося в потенциальной яме. Границы этой ямы характеризуют предельные возможности БО (в модели – предельный цикл аттрактора). На шарик воздействуют внешние факторы (окружающая среда, режим питания и т.д.), которые и обеспечивают флуктуацию потенциальной ямы. Таким образом, на фоне значительных квазипериодических возникают дополнительные хаотические колебания, которые можно рассматривать как аналог адаптационных процессов БО. Кривая распределения этой энергии для состояния нормы приведена на рис. 1.

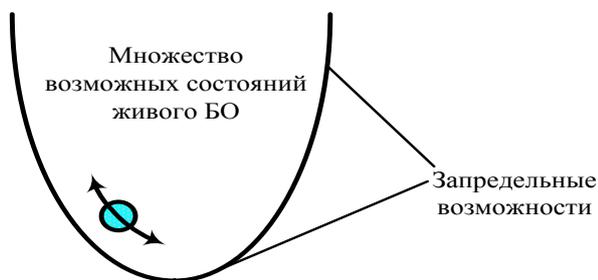


Рис. 1

На рис. 2 и 3 показано распределение энергии для состояния нехронического и хронического заболеваний соответственно. В состоянии нехронического заболевания глубина потенциальной ямы находится выше состояния нормы. Хроническое заболевание характеризуется тем, что БО находится в потенциальной яме на уровне или ниже нормы. При воздействии ЭМПМИ, в первом случае переход системы в состояние нормы более вероятен, чем во втором.

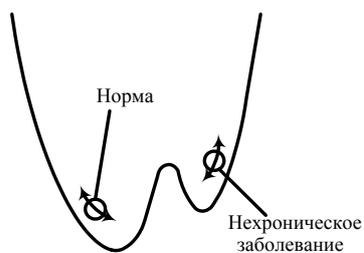


Рис. 2.

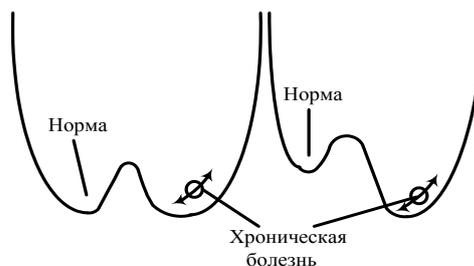


Рис. 3.

Предложенные модели хорошо совпадают с известными [7]. При использовании ЭМПМИ сдвиги в сторону выздоровления пациента наступают через несколько дней после начала сеанса лечения и зачастую проходят через кризис, что вполне соответствует модели (рис. 2). Этап, на котором эффект не наблюдается – «расшатывание» аттрактора в состоянии нехронического заболевания; этап кризиса – переход через пик между заболеванием и нормой; длительный эффект выздоровления – нахождение в норме.

Воздействие ЭМПМИ на здоровый организм практически не дает эффектов, что также соответствует модели. При низкоинтенсивном неповреждающем воздействии не создается новых потенциальных ям типа «заболевание». При этом, естественно, должно происходить изменение флуктуационной составляющей, но для аттрактора нормы (рис. 1) переходить некуда – нет и заметных эффектов. Исходя из этого, можно предположить, что при воздействии ЭМПМИ происходит не переход к новым биологическим процессам, а изменение существующих.

Применение ЭМПМИ имеет очень мало противопоказаний, что также согласуется с моделью. Поскольку, строго говоря, мы не знаем, на какой параметр происходит воздействие, а выздоровление идет по сценарию устойчивости, через возвращение к наиболее оптимальному состоянию, т.е. организм как бы «сам себя излечивает», то и противопоказания минимальны. В этой связи необходимо отметить

принципиальную разницу между медикаментозным лечением сильнодействующими химическими препаратами и лечением при помощи ЭМПМИ.

Рассмотрим биологический процесс в виде аттрактора типа «круг» (рис. 4). Предположим, что в результате заболевания он переходит в аттрактор типа «эллипс» (рис. 5). По традиционной схеме лечения (сильнодействующее лекарство) по узким дугам эллипса «наносится» дозированный удар. Если дозировка и условия применения препарата подобраны удачно, то наступает выздоровление (возврат аттрактора к типу «круг»). В противном случае мы снова получаем эллипс, но в другой плоскости (т.е. другое заболевание или осложнение).



Рис. 4.

Рис. 5.

При применении ЭМПМИ (рис. 5) воздействие идет «не силовым» способом, исходно стремятся не к обратной деформации эллипса, а к изменению флуктуационной составляющей, и далее, через адаптационный механизм, по законам устойчивости – возврат к кругу. Естественно, второй путь для организма будет более щадящим, и более универсальным, и во многих случаях, более эффективным. Однако это не означает, что у таких приборов нет противопоказаний. Учет возможных не очевидных противопоказаний выходит за пределы нашего рассмотрения. Однако заметим, что процесс выздоровления проходит через обострение (не обязательно данной болезни, более правильно обозначить это состояние термином «разлад»). В некоторых случаях, когда такой эффект нежелателен, лучше отказаться от применения ЭМПМИ.

Заметим, что медицинское понимание хронического заболевания и его оценка с точки зрения модели различны. Медицина обычно считает заболевание хроническим, если оно не прекращалось или повторялось в течение некоторого промежутка времени. С точки зрения модели хроническим будет заболевание, для которого потенциальная яма приблизилась либо превысила норму (рис. 3). Поскольку в этом случае переход к норме весьма затруднен либо невозможен (нужно слишком сильно раскачивать условный шарик), то и ожидать существенных эффектов не приходится. Более логичным представляется использование ЭМПМИ после или совместно с лекарственными препаратами. Поскольку те параметры, которые оказались неэффективны, никак не влияют на аттрактор болезни, а эффективные проявляют себя только в состоянии болезнь.

Предлагаемая модель может объяснить эффект плацебо (пустышка, мнимый эффект). Опыт применения ЭМПМИ [8] свидетельствует о том, что, как и всякое лечебное средство, все физиотерапевтические приборы с использованием ЭМПМИ обладают эффектом плацебо. Однако, поскольку под термином ЭМПМИ скрывается великое множество различных параметров поля, универсальная методика в ближайшее время вряд ли будет разработана.

Хотя проверка пациента на эффект плацебо указывает обычно на психические, а не функциональные реакции для конкретного пациента.

**Выводы.** Предложена модель, описывающая процесс эволюции биологического объекта при воздействии низкоэнергетическим электромагнитным полем. Модель позволяет объяснить терапевтический эффект воздействия на биологический объект физическим полем на основе теории устойчивости.

Модельное рассмотрение позволило объяснить индивидуальность физиотерапевтического эффекта при лечении различных заболеваний.

**Список литературы:** 1. Хорстхемке В., Лефевр Р. Индуцированные шумом переходы: Теория и применение в физике, химии и биологии. – М.: Мир, 1987. – 400 с. 2. Гемба В.Н. Теория информации и физические механизмы взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных полей с биологическими объектами // Электроника и связь. – 1999. – № 6. – Т. 1 – С. 202 – 206. 3. Мун Ф. Хаотические колебания. – М.: Мир, 1990. – 312 с. 4. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. – М.: Наука, 1987. – 424 с. 5. Агафонов Б.Е., Живлюк Ю.Н., Черников Ф.Р. Детерминированный хаос в динамике водородной связи // Биофизика. – 1995. – Т. 40. – № 3. – С. 497 – 505. 6. Алдонин Г.М. Синергетика и биоритмы // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1999. – № 1. – С. 51 – 56. 7. Видьбида А.К. Избирательность и чувствительность кооперативной системы при наличии теплового шума. // Биофизика. – 1992. – Т. 37. – № 2. – С. 374 – 377. 8. Беляков С.В., Бецкий О.В., Яременко Ю.Г. Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – № 3. – С. 50 – 56.