

УДК 537.874.7

И.А. Черепнев, Н.В. Полянова

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко*

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАКРОМОЛЕКУЛ С ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

*Рассмотрено влияние импульсных магнитных и ЭМП СВЧ диапазона на модельные полиамиды, биологические объекты. Показана роль стохастического резонанса в биологических объектах. Исследованы свойства воды и ее роль в процессах, протекающих в биологических объектах. Показано, что биологический объект может рассматриваться как конденсированная система, на которую действуют силы Ван-дер-Ваальса.*

### *макромолекулы, внешнее электромагнитное поле*

Огромную актуальность в данное время приобретает проблема воздействия на биологические объекты электромагнитных полей широкого диапазона. В частности, при изучении влияния импульсных магнитных полей (ИМП) на различные элементы установлено, что под воздействием очень слабого ИМП с амплитудой порядка 0,015 Тл на модельный полимер меняются температура плавления, энергия активации и температура кристаллизации, причем не сразу, а через 25 часов после снятия воздействия, и остаются неизменными в течение 1500 часов [1, 2].

Были получены аналогичные результаты по воздействию слабых ИМП (0,4 Тл) на плоскопараллельные пластины монокристаллического кремния. Установлено, что кратковременное воздействие ИМП приводит к долговременным немонотонным изменениям, на сей раз топологии поверхности. Зафиксированные изменения достигают максимума в районе 150 – 200 часов после снятия воздействия [2].

В различных структурах, как физических, так и биологических, в упругой среде, могут возникать объемные и, особенно, поверхностные волны. Свойство поверхностных волн локализовать энергию возмущений, созданных в узком приповерхностном слое, приводит к выраженным явлениям, сопровождающим движение вдоль поверхности источников возмущений. Причем в упругой среде резонансные эффекты проявляются и тогда, когда свободные поверхности возникают, и в подавляющем большинстве носят фрактальный характер [3]. Естественно предположить, что большинство наблюдаемых эффектов воздействия слабых и сверхслабых возмущений на физические и биологические системы связано с резонансными процессами.

Определенный интерес представляет стохастический резонанс. Было установлено, что наличие источников шума в нелинейных динамических системах может индуцировать принципиально новые режимы функционирования, которые не могут быть реализованы в отсутствие шумов [5]. Оказалось, что шум в таких системах может играть конструктивную роль, вызывая усиление или уменьшение ам-

плитуды воздействующего сигнала на определенной частоте. Эффект стохастического резонанса определяет группу явлений, при которых отклик нелинейной системы на слабый внешний сигнал заметно усиливается с ростом интенсивности шума в системе. Эффект стохастического резонанса представляет собой фундаментальное общее физическое явление, которому присущи общие свойства, проявляющиеся в увеличении степени порядка в выходном сигнале при оптимальном уровне шума [4].

Есть основания полагать, что в процессе жизнедеятельности живые организмы приспособились использовать неустранимый внутренний шум и шум окружающей среды для оптимального выделения полезной информации.

При воздействии периодическим сигналом на стохастические системы имеет место стохастическая синхронизация, т.е. может происходить захват системой частоты внешнего сигнала и появляется возможность управлять параметрами системы, находящейся в состоянии стохастической нелинейной динамики, может иметь место также синхронизация слабым внешним периодическим сигналом ансамбля стохастических резонаторов. Этот случай особенно важен для исследования биологических систем. Новое обстоятельство связано с тем, что роль шумового колебания, необходимого для реализации стохастического резонанса, выполняет внутренний шум биологической системы [5].

Особый интерес представляют резонансные явления, при которых отклик системы реализуется на другой частоте, нежели опорный сигнал. К числу таких явлений относится электромагнитно-акустическое преобразование, наблюдающееся в коллоидных системах при падении на их граничную поверхность электромагнитной волны. Суть этого явления заключается в том, что в веществе, не обладающем ни пьезоэлектрическими, ни магнитострикционными свойствами, под действием электромагнитной волны возбуждаются ультразвуковые волны той же частоты (линейный отклик) или на кратных частотах (нелинейный отклик). Наличие границы как места сосре-

доточения возбуждающей силы имеет принципиальное значение. Нетривиальность этого явления в том, что электромагнитная волна, падающая на границу, возбуждает акустические колебания в электрически нейтральном теле, при этом приходится иметь дело с целым кругом явлений, поскольку число механизмов, обеспечивающих преобразование электромагнитных и акустических волн, достаточно обширно [6].

Сходство химического состава клеток всех организмов служит доказательством единства живой природы. В то время как неорганические соединения существуют и в неживой природе, органические соединения характерны только для живых организмов. Так, например, соотношение воды в органических веществах составляет 70 – 95%. Вода играет важную роль во многих реакциях, происходящих в организмах. Например, в реакциях гидролиза. Велика ее роль в терморегуляции и в процессе передачи необходимых веществ от одной части организма к другой и других реакциях.

Свойства воды определяются способностью ее молекул образовывать водородные связи между атомами кислорода и водорода O-H...O. Наряду с электростатическим взаимодействием, Ван-дер-Ваальсовым притяжением или отталкиванием в энергию водородных связей  $U_{\text{водор.}}$  вносит вклад и энергия делокализации  $U_{\text{делок.}}$  двух электронов связи и неопределенной пары электронов другого электроотрицательного атома, что уменьшает ее длину [7].

$$U_{\text{водор.}} = U_{\text{эл.сист.}} + U_{\text{дисп.}} + U_{\text{делок.}} + U_{\text{отт.}}$$

где  $U_{\text{дисп.}}$  – энергия дисперсионного взаимодействия;  $U_{\text{отт.}}$  – энергия отталкивания.

Молекулы воды обладают электронной структурой, позволяющей образовывать с последними молекулами воды сразу четыре водородные связи, в которых участвует по два протона и по две неподеленные пары электронов кислорода (рис. 1).

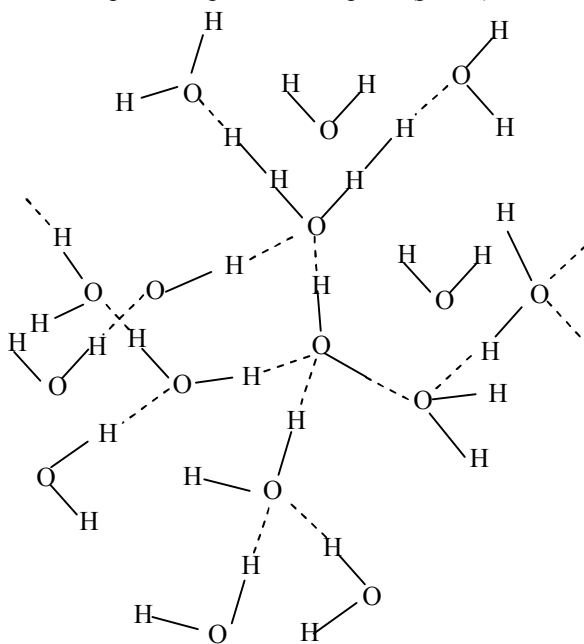


Рис. 1. Структура жидкой воды

Установлено, что вода обладает новым, до сих пор скрытым глубинным свойством, т.е. резонансно-волновым состоянием и что система «водная компонента биообъекта – резонансные электромагнитные ММ-волны» играет особую роль в природе [8]. Молекулярные осцилляторы водной компоненты живого организма, самосинхронизируясь на резонансных частотах, могут представлять естественный внутренний источник и проводник резонансных ММ-волн. Система этих колебаний задает структуре биологической среды пространственную и временную организацию [7, 8].

При исследовании воздействия постоянного магнитного поля на водные структуры был обнаружен эффект сверхслабой генерации резонансных КВЧ-волн водой и биотканями на частотах вблизи 25 и 50 ГГц. Оказалось также, что вода обладает длительной ориентационно-магнитной памятью [9].

Так, например, в работах Н.Д. Девяткова, В.И. Петросяна и др. изучались резонансные свойства воды в диапазоне миллиметровых волн. Для этого водная среда подвергалась воздействию электромагнитного излучения в широком диапазоне частот (от 4 до 100 ГГц), а ее реакция наблюдалась в диапазоне дециметровых волн с частотой около 1 ГГц (1 ГГц =  $10^9$  Гц). В диапазоне 1 ГГц регистрировалось собственное излучение воды. Одним из результатов работы явилось наличие у воды резонансов на частотах 50,8 и 51,3 ГГц, т.е. при действии ЭМИ КВЧ с такими частотами наблюдалось резкое увеличение мощности собственного излучения в диапазоне 1 ГГц.

В то же время вода представляет собой ассоциированную жидкость с большой диэлектрической проницаемостью и большим дипольным моментом у молекул. Молекулы воды образуют с соседними молекулами сразу четыре водородные связи, в которых участвуют по два протона и по две неподеленные пары электронов кислорода от каждой из них.

В данное время рассматривается кластерная модель воды, согласно которой вода является смесью мономерных молекул и водородно-связанных кластеров. Кластеры распадаются и вновь образуются, что создает усредненное постоянное окружение для каждой молекулы воды [7].

При этом молекулы воды совершают колебания около положений равновесия с частотой  $10^{13}$  Гц. Кроме того, за счет флуктуационных разрывов водородных связей может происходить перемещение отдельных молекул воды в пустоты соседних ячеек молекул.

Существуют различные типы взаимодействий, от которых зависит структура макромолекул. Биологические объекты можно рассматривать как конденсированную систему, в которой силы Ван-дер-Ваальса играют большую роль для состояния биологического объекта [7].

**Энергия ориентационного взаимодействия:**

$$U_{\text{cp}} = \frac{-2P_1^2 P_2^2}{3K_B T R^6},$$

где  $P_1, P_2$  – дипольные моменты двух диполей, равные  $P_1 = cl_1, P_2 = cl_2$ ;  $c$  – заряд электрона;  $l_1, l_2$  – расстояния между противоположными зарядами, см. рис. 2;  $T$  – температура ( $T = 360 \text{ K}$ );  $K_B$  – постоянная Больцмана;  $R$  – расстояние между одноименными зарядами.

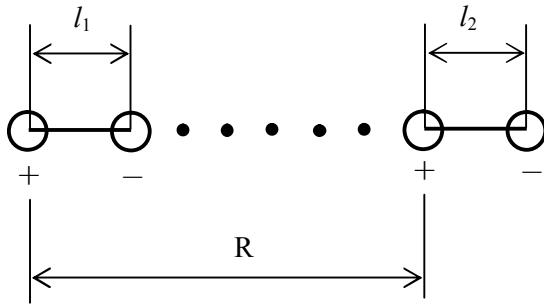


Рис. 2. Ориентационное взаимодействие

**Индукционное взаимодействие:**

$$U_{\text{инд}} = -\frac{1}{2} E_1^2 \approx -2\alpha P_1^2 / R^6,$$

где  $E$  – собственная энергия диполей;  $\alpha$  – коэффициент набухания молекул.

**Дисперсионное взаимодействие:**

$$U_{\text{дисп}} = -\frac{2I_1 I_2}{2(I_1 + I_2)} \cdot \frac{\alpha'_1 \alpha'_2}{R^6},$$

где  $I_1, I_2$  – ионизационные потенциалы;  $\alpha'_1, \alpha'_2$  – поляризация молекул.

**Потенциалы взаимодействия согласно Лепарда-Джонса:**

$$U(R_{ik}) = -A/R_{ik}^6 + B/R_{ik}^{12},$$

где  $A, B$  – константы;  $R_{ik}$  – расстояние между взаимодействующими атомами  $i$  и  $k$ .

**Электростатическое взаимодействие.** Этот вид взаимодействия играет важную роль в стабилизации структур. Взаимодействие частично заряженных атомов характеризуется уравнением

$$U_{\text{эл.сист.}} = \sum \frac{q_1 q_2}{\epsilon R_{ij}},$$

где  $q_1, q_2$  – величина парциальных зарядов на атомах;  $R_{ij}$  – расстояние между атомами;  $\epsilon$  – диэлектрическая постоянная.

Помимо рассмотренных сил взаимодействия между макромолекулами действуют также слабые невалентные силы, которые приводят к притяжению или отталкиванию. На рис. 3 изображена техническая зависимость потенциальной энергии взаимодействия  $U(r)$  двух частиц молекулярной природы от расстояния ( $r$ ) между ними [7].

Энергия взаимодействия  $U(r)$  или потенциал взаимодействия связаны с силой взаимодействия  $F(r)$ :

$$F(r) = -dU(r)dr.$$

Общий потенциал взаимодействия  $U(r)$  равен:

$$U(r) = U_{\text{отт}}(r) - U_{\text{пр}}(r).$$

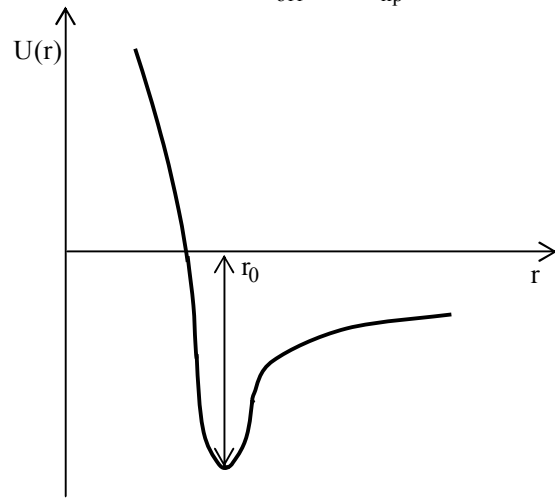


Рис. 3. Зависимость потенциальной энергии взаимодействия от расстояния

Из анализа рис. 3 следует, что на малых расстояниях действуют силы отталкивания, а на больших расстояниях преобладают силы притяжения.

**Выводы**

По материалам, изложенным в статье, можно сделать следующие выводы:

1. Воздействие магнитных и СВЧ-полей вызывает долговременные изменения широкого класса немагнитных материалов.
2. Эффекты воздействия низкоэнергетических СВЧ ЭМП на биологические объекты связано с резонансными процессами.
3. Эффект стохастического резонанса представляет явление увеличения степени выходного сигнала при оптимальном уровне шума.
4. Так как биологический объект можно рассматривать как стохастическую систему, то может происходить захват системой частоты воздействующего сигнала, что характерно для нелинейной биологической системы, а резонансные явления могут возникать на другой частоте, чем опорный сигнал.
5. Из анализа литературных данных установлено, что электромагнитные волны, воздействующие на биологический объект, возбуждают акустические колебания.
6. Показано химическое свойство всех клеток живой природы. Так, например, соотношение воды в органических веществах составляет 70-80 %. Наличие указанного процента воды активно участвует в реакции гидролиза и терморегуляции клетки.
7. Определено, что молекулярные осцилляторы водной компоненты живого организма, самореали-

зуюсь на резонансных частотах, могут представлять внутренний источник проводящих ММ-волн. Следовательно, вода обладает длительной ориентационной памятью.

8. Показано, что за счет флуктуационных разрывов водородных связей происходит перемещение воды в пустоты соседних ячеек молекул, т.е. происходит восстановление водного потенциала молекул.

9. Проанализированы силы Ван-дер-Ваальса, влияющие на структуру биологического объекта. Из анализа следует, что при воздействии внешних ЭМП СВЧ диапазона могут изменяться дипольные моменты, расстояние между диполем, собственный заряд диполей, коэффициент набухания молекул, ионизационные потенциалы.

### Список литературы

1. Матвеев Н.И., Левин М.Н. Импульсное магнитное поле как способ изменения термодинамики процесса кристаллизации полимеров // Тез. докл. 3-го Всерос. семинара «Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении». 3-5 окт. 2000 г. – Воронеж. – 2000. – С. 125-127.

2. Левин М.Н., Татаринцев А.В., Косцова О.А. Модификация поверхности полупроводниковых кристаллов импульсными магнитными полями // Тез. докл. IV Межд. конф. электроники и информации. Зеленоград, 19-21 ноября 2002. – М. – 2002. – С. 237-238.

3. Гольдштейн Р.В. Поверхностные волны и резонансные явления в упругих телах // СОЖ. – 1996. – Вып. II., ноябрь. – С. 123-127.

4. Анищенко В.С., Неман А.В., Мокс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // КУФН. – 1999. – Т. 169. – № 1. – С. 7-38.

5. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Стохастический резонанс в медицине и биологии // Биомедицинская технология и радиоэлектроника. – 2003. – № 1. – С. 3-9.

6. Каганов М.И., Васильев А.Н. Электромагнитно-акустическое преобразование – результат действия поверхностной силы // КУФН. – 1993. – Т. 163, № 10. – С. 67-80.

7. Рубин А.Б. Биофизика. Глава VIII. Различные типы взаимодействий в макромолекулах. – М.: Высшая школа, 1999. – 320 с.

8. Петросян В.И., Синицын Н.И., Елкин В.А., Девятков Н.Д., Бецкий О.В. Вода, парадоксы и величие малых величин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 2. – С. 10-17.

9. Петросян В.И., Синицын Н.И., Елкин В.А., Башкатов О.В. Взаимодействие водосодержащих сред с магнитными полями // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 2. – С. 10-17.

Поступила в редколлегию 9.02.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермолов, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.