

ВОЗМОЖНОСТИ ТОРОИДАЛЬНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Черепнев И. А., Ляшенко Г. А.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

В статье рассматриваются возможности использования тороидальных антенн в аппаратуре низкоэнергетической электромагнитной терапии для избегания поглощения излучения в водосодержащих средах кожного покрова сельскохозяйственных животных.

Постановка проблемы. Актуальная проблема лечения сельскохозяйственных животных с применением низкоэнергетических электромагнитных излучений связана с некоторыми трудностями из-за того, что во многих терапевтических случаях (например, при бронхопневмонии) необходимо эффективно доставлять излучение к очагам пневмонии в глубине тела животного, несмотря на проводимость тканей. С точки зрения эффективности воздействия на живой организм наиболее оптимальными является электромагнитные излучения миллиметрового (ММ) и субмиллиметрового диапазона ввиду их поглощения в плотных слоях атмосферы и отсутствия адаптации к ним живых организмов в процессе эволюции. Однако ММ-волны сильно поглощаются водой, и поэтому биоткани, состоящие на 70-80 % из воды, почти полностью поглощают излучение этого диапазона в тонком слое кожи, толщиной в доли миллиметра. Несмотря на эти свойства кожного покрова, на протяжении десятилетий накоплен значительный опыт лечения различных заболеваний людей и животных с применением низкоэнергетических ММ ЭМИ.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время одной из гипотез, объясняющих действие ММ-волн на биологические объекты, является информационно-резонансное взаимодействие ЭМВ ММ с биосредой.

В ряде работ для объяснения этого эффекта предлагались различные физические и биомедицинские модели [1-6], однако ни одна из них не решала вопрос принципиально. Не объясняет факта передачи в глубь биосреды информации о воздействии ЭМВ ММ-диапазона ни гипотеза об информационно-резонансном характере взаимодействия ММ ЭМВ с биосредой, ни другие предложенные физические и биомедицинские модели [7]. В работе [8] обоснована концепция информационного воздействия сложных сигналов с малой интенсивностью на одни из основных биологических объектов – клетки, на основе моделей, адекватно описывающих их поведение под воздействием широкополосных сигналов. Ясно при этом, что важнейшим вопросом остается доставка сигналов на необходимую глубину.

Отметим, что поглощение излучения (электромагнитного поля в волновой зоне) качественно связано с тем, что излучение обычно представляет собой поперечную волну и электрическое поле волны иницирует токи вдоль поверхности среды (поперек направления распространения волны), и возникают ин-

дуцированные поля, которые и уменьшают падающее поле.

Из геометрических соображений ясно, что при использовании волн продольной поляризации генерация экранирующих полей будет резко уменьшена, и поле будет проникать глубже. Для низкоэнергетической электромагнитной терапии становится актуальным исследование возможности конструирования систем излучения электромагнитных волн продольной поляризации.

Цель статьи. Целью статьи является анализ возможности создания таких тороидальных антенных систем, которые позволят осуществить генерацию волн продольной поляризации и обеспечить проникновение ММ ЭМИ непосредственно к очагу патологии в биологическом организме.

Основные материалы исследования. Как было отмечено для увеличения степени воздействия на клетки наиболее оптимальной является сложная последовательность коротких импульсов. Часто для формирования импульсного излучения (и, в частности, его электрической компоненты) используют импульсную разность потенциалов $\varphi(\vec{r}, t)$, прикладываемую к антенной системе. Здесь мы рассмотрим другой способ генерации электрического поля – генерацию электрического поля с помощью нестационарных токов $i(t)$.

Для решения проблемы доставки энергии поля в заданную область в глубине тела животного важно отметить, что, как известно, в общем случае электрическое поле всегда имеет две составляющие

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \varphi.$$

Первая компонента связана с векторным потенциалом $\vec{A}(t)$, который определяется нестационарными токами $i(t)$. При быстром импульсном изменении токов эта величина может иметь большую величину при однородном распределении в пространстве (вплоть до интересующих нас областей в глубине тела животного), в отличие от второго слагаемого, величина которого в квазиоднородном случае не может быть большой и стремится к нулю. Наиболее эффективным способом создать импульсное электрическое поле

$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ без больших разностей потенциалов является их возбуждение с помощью тороидальных катушек, запитанных импульсными токами. Электромаг-

нитные поля элементарных токовых систем оценим, воспользовавшись тем, что потенциалы \vec{A} удовлетворяют волновому уравнению Даламбера $\Delta \vec{A} - \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\vec{j}$, а его общее решение, как известно, может быть записано в виде интеграла от плотности тока

$$\vec{A}(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(x', y', z')}{r} d\Omega', \quad (1)$$

где $r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$, $d\Omega'$ - элемент объема, занятого током, и следовательно, векторное поле $\vec{A}(x, y, z)$, а следовательно, и связанная с ним компонента электрического поля всегда направлена вдоль движения зарядов, то есть имеет продольную поляризацию.

Основными токовыми источниками напряженности электрической составляющей электромагнитного поля являются элементы токов и пары витков с противоположным направлением токов, лежащие в одной плоскости, т.е. конечные прямолинейные отрезки токов и элементы торов, рис. 1-2.

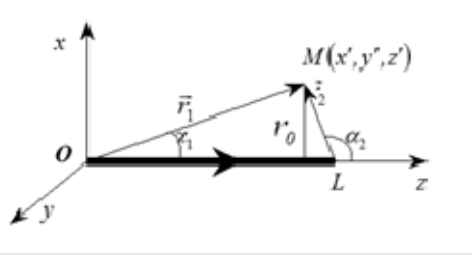


Рисунок 1 - Элемент тока вдоль оси z

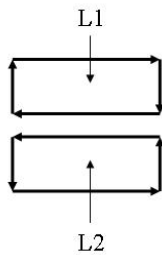


Рисунок 2 - Два витка в сечении плоского тора

Все компоненты электромагнитных полей в случае контуров, составленных из прямолинейных отрезков тока, представляются в виде суммы полей от этих отрезков, а каждый из вкладов в векторный потенциал выражается интегралами вдоль соответствующих горизонтальных и вертикальных отрезков (оси системы координат ориентируются параллельно соответствующим отрезкам тока):

$$\int_{-d_1}^{d_2} \frac{dz'}{\sqrt{a^2 + z'^2}} = \ln \left(z' + \sqrt{a^2 + z'^2} \right) \Big|_{z'=-d_1}^{z'=d_2}. \quad (2)$$

Воспользовавшись выражением для векторного потенциала (1), соотношением (2) и условием $A_z(\infty) = 0$, можно получить выражение для векторного потенциала от отрезка тока (рис. 1), который имеет компоненту, совпадающую по направлению с этим отрезком. Разместив начало координат в середине отрезка длиной $2b$ и совместив направление оси z с отрезком, получаем:

$$A_z = A_{amp} \ln \left| \frac{b-z+r_{12}^k}{r_{11}^k - (b+z)} \right|, \quad A_{amp} = \frac{\mu_0}{4\pi} j. \quad (3)$$

Витки тока, показанные на рис. 2, составляют основу любой токовой тороидальной системы. Характерной чертой этих токовых систем является то, что ближайшие между собой элементы токов направлены в одну сторону и соответствующие электрические поля усиливаются, а все остальные токи создают поля, которые почти компенсируют друг друга.

Тороидальные антенные системы уникальны по своим свойствам и гибкости управления свойствами излучения и, благодаря этому, находят широкое применение [9]. В широком смысле тороидальной можно назвать любую систему, которая состоит из пар замкнутых контуров с токами, текущими навстречу друг другу. Каждая пара контуров лежит в своей плоскости, которые могут или быть параллельны или образовывать систему плоскостей, проходящих через одну прямую. В последнем случае тороидальная система контуров представляет собой обычную тороидальную катушку. Плоский тор может быть представлен как совокупность сечений, перпендикулярных оси y , причем каждое сечение состоит из двух компонент (рис. 2) - двух катушек, намотанных на сердечники в виде параллелепипеда (с высотой h , шириной $2b$, длиной l), уложенных друг на друга широкой стороной с промежутком, равным удвоенному диаметру проволоки Δ . Ось y направлена вдоль длинных сторон параллелепипедов, а начало координат расположено посередине между двумя параллелепипедами. Каждое k -ое сечение представляется четырьмя отрезками тока, направленными вдоль оси z , и четырьмя отрезками, направленными вдоль оси x . Векторный потенциал имеет две компоненты $\vec{A}(A_x, 0, A_z)$, и в A_z вносят вклад только отрезки вдоль оси z , а в компоненту A_x - вдоль оси x . Полное выражение для компоненты векторного потенциала A_z имеет вид:

$$A_z(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \times \sum_k \left(\ln \left| \frac{b-z+r_{12}^k}{r_{11}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z+r_{13}^k}{r_{14}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z+r_{22}^k}{r_{21}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z+r_{23}^k}{r_{24}^k - (b+z)} \right| \right). \quad (4)$$

На рис. 3. изображена поверхность $A_z = A_z(x, y, z)$ от тора из 250 витков.

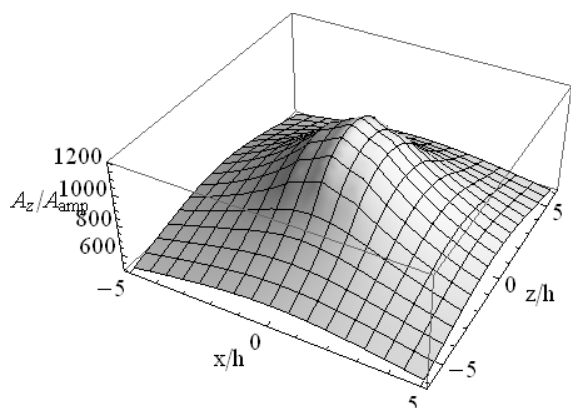


Рисунок 3 - Значения проекции A_z / A_{amp} векторного потенциала в плоскости (x, z) для плоского тора с высотой h и длиной $2b$. Соотношение $b/h = 2,5$.
Число витков $N_{cont} = 250$

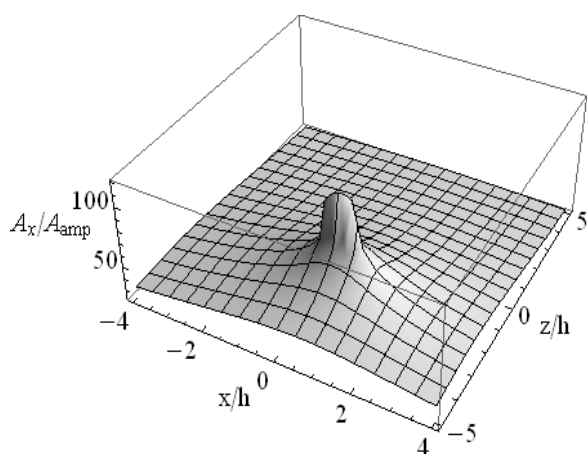


Рисунок 4 - Значения проекции A_x / A_{amp} векторного потенциала в плоскости (x, z) для плоского тора с высотой h и длиной $2b$. Соотношение $b/h = 2,5$.
Число витков $N_{cont} = 250$

Видно, что векторный потенциал спадает с ростом расстояния от центра отрезка тока, но знак проекции векторного потенциала от отрезка во всех точках одинаковый. Распределение значений векторного потенциала A_x в плоскости (x, z) от катушки с 250 витками изображено на рис. 4. Полученные соотношения описывают все необходимые характеристики излучения тороидальной системы в широком частотном диапазоне.

Список использованных источников

1. Девятков Н. Д. Об информационной сущности некоторых нетепловых энергетических воздействий электромагнитных колебаний на живой организм / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант // Письма в ЖТФ, 1982. – Т. 8. – Вып. 1. – С. 39 – 41.
2. Бецкий О. В. Электромагнитные миллиметровые волны и живые организмы. / О. В. Бецкий, Н. Д. Девятков // Биомедицинская радиоэлектроника, № 3, Радиотехника, 1996.

3. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий // М: Радио и связь, 1991.

4. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии и медицине / О. В. Бецкий // Радиотехника и электроника, 1993. – Т. 38. – В. 10.

5. Лукьяница В. В. Структурные изменения воды под действием аппарата УВЧ-терапии / В. В. Лукьяница // Медицинский журнал, 2010. – Вып. 4. – С. 87 – 90.

6. Лукьяница В. В. Структурные изменения воды под действием аппарата КВЧ-терапии / В. В. Лукьяница, И. А. Мельников, Л. А. Малькевич // Медицинский журнал, 2013. – Вып. 4.

7. Савельев С. В., Морозова Л. А., <http://www.biophys.ru/archive/congress2012/proc-p181.htm>. Механизм действия КВЧ-излучения на живые объекты.

8. Черепнев И. А. Изучение влияния электромагнитных полей на развитие воспалительных процессов живых организмов на основе неравновесной термодинамики / И. А. Черепнев, А. Н. Мороз // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". – Харків, 2011. – Вып. 12 "Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов". – С. 163 – 168.

9. Афанасьев Г. Н. Электромагнитные свойства тороидальных соленоидов / Г. Н. Афанасьев // Физика элементарных частиц и атомного ядра. Дубна, 1992. – Т. 23. – Вып. 5. – 58 стр.

10. Афанасьев Г. Н. Физические приложения соленоидов / Г. Н. Афанасьев // Физика элементарных частиц и атомного ядра. Объединенный ин-т ядерных исследований. Дубна, 1993. – Т. 24. – Вып. 2. – 82 стр.

Анотація

МОЖЛИВОСТІ ТОРОІДАЛЬНИХ АНТЕН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРАПЕВТИЧНОГО ВПЛИВУ МІЛЛИМЕТРОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Черепньов І. А., Ляшенко Г. А.

У статті розглядаються можливості використання тороїдальних антен в апаратурі низькоенергетичної електромагнітної терапії для уникнення поглинання випромінювання в водомістких середовищах шкірного покриву сільськогосподарських тварин.

Abstract

POSSIBILITIES OF TOROID ANTENNAS FOR INCREASING OF THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF MILLIMETRE RADIATION

I. Cherepnev, G. Lyashenko

This article discusses the possibility of using of toroid antennas in the low-energy electromagnetic therapy apparatus to avoid the absorption of radiation in water-based tissue of the skin of farm animals.