

## 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 инициирует 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  $\Delta \vec{A} - \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{A} = -\vec{j}$ , 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.

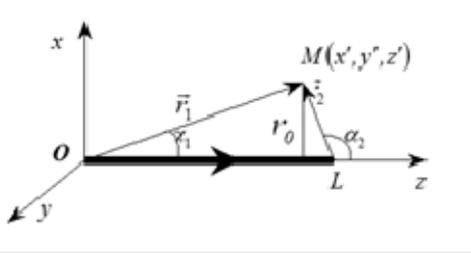


Рисунок 1 - Элемент тока вдоль оси z

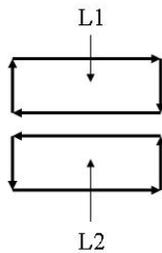


Рисунок 2 - Два витка в сечении плоского тора

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  $\Delta$ . 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.

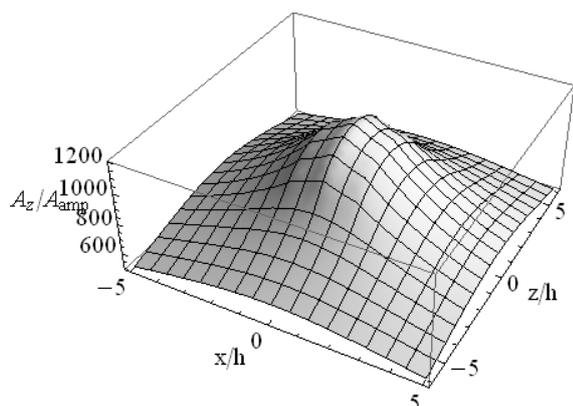


Рисунок 3 - Значения проекции  $A_z / A_{amp}$  векторного потенциала в плоскости  $(x, z)$  для плоского тора с высотой  $h$  и длиной  $2b$ . Соотношение  $b/h = 2,5$ .  
Число витков  $N_{cont} = 250$

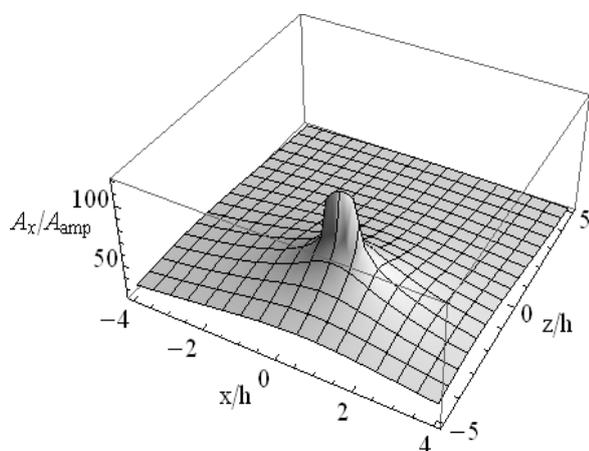


Рисунок 4 - Значения проекции  $A_x / A_{amp}$  векторного потенциала в плоскости  $(x, z)$  для плоского тора с высотой  $h$  и длиной  $2b$ . Соотношение  $b/h = 2,5$ .  
Число витков  $N_{cont} = 250$

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 "ХПІ". – 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.*