

8. Кудрявцева, С. Трансформація системи освіти України на основі впровадження сучасних комунікаційних технологій [Текст] / С. Кудрявцева, В. Колос // Праці семінару НЦІТН. — К., 2000. — С. 9–13.
9. Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/URL: http://grafika-politech.io.ua. — 19.05.2014.
10. Мясникова, Т. С. Система дистанційного навчання MOOD-LE [Текст] / Т. С. Мясникова, С. А. Мясников. — Харків, 2008. — 232 с.
11. Советов, Б. Информационные технологии [Текст] / Б. Советов. — М.: Высшая школа, 2006. — С. 29.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОМУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СРЕДСТВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В статье проведен обзор теоретико-методических основ внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в высших учебных заведениях на современном этапе; отмечены преимущества и проблемы использования ИКТ в образовательной сфере; рассматривается методика использования в учебном процессе общедоступных мультимедийных средств в переходной период внедрения в образовательные процессы элементов дистанционного образования в сложных экономических условиях.

**Ключевые слова:** учебный процесс, дистанционное образование, мультимедийные средства, информационно-коммуникационные технологии.

*Гумен Олена Миколаївна, доктор технічних наук, професор, кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: gumens@ukr.net.*  
*Коломієць Наталія Ярославівна, асистент, кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: gumens@ukr.net.*

*Гумен Елена Николаевна, доктор технических наук, профессор, кафедра начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*  
*Коломиец Наталья Ярославовна, ассистент, кафедра начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Gumen Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: gumens@ukr.net.*  
*Kolomiets Natalia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: gumens@ukr.net*

УДК 621.374

Думанский А. В.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЖИВОТНЫМИ, БОЛЬНЫМИ ЭНДОМЕТРИТОМ

*Решена задача по распределению электромагнитного поля внутри матки коров, модель которой может быть представлена в виде многослойного цилиндра с различной диэлектрической проницаемостью. Изучение распределения электромагнитного поля в поверхностном слое матки животных позволит определить необходимые биотропные параметры электромагнитного поля (частота; плотность потока мощности; экспозиция для лечения эндометрита коров, вызванного патогенными микроорганизмами).*

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, эндометрит животных, модели внутренних органов животных, электромагнитная терапия.

### 1. Введение

Состояние агропромышленного комплекса Украины за последнее десятилетие характеризуется сложившейся и продолжающейся углубляться тенденцией спада производства молока и мяса не только за счет уменьшения поголовья, но и за счет бесплодия маточного поголовья коров. Основной послеродовой болезнью у коров является эндометрит, который приносит хозяйствам огромный экономический ущерб. Экономический ущерб от этого заболевания складывается из низкой молочной продуктивности, недополучения телят, увеличения расхода спермы и ранней выбраковки скота. Быстрое и эффективное лечение эндометрита — важнейшая экономическая задача, как в мясной, так и в молочной промышленности [1]. В современных условиях для лече-

ния эндометрита животных используются антибиотики, гормоны и другие химические препараты. Антибиотики и другие медикаменты, попадая в организм человека через молоко и мясо коров, угнетают иммунитет, поражают печень и другие органы, что приводит к различным заболеваниям. Поэтому немедикаментозное лечение эндометрита у коров является актуальной задачей [2]. В связи с этим возникла практическая необходимость изучить возможность применения микроволнового излучения для лечения патологий матки крупного рогатого скота (КРС). Основой предлагаемого метода является концепция рассмотрения человека и животного как открытой самоорганизующейся информо-энергетической нелинейной системы (ИЭС), функционирующей по синергетическим законам аттракции, бифуркации, и диссипативности — в рамках единой теории поля [3, 4].

## 2. Анализ литературных данных

В настоящее время для лечения эндометрита пытаются использовать метод квантовой терапии [5]. Однако, учитывая длину волн лазерного излучения, и то, что излучающая система помещается в предохранительную оболочку при проведении обработки матки коров, результаты лечения оказываются малоэффективными [4, 6]. Литературный анализ показывает, что лечение эндометрита у коров возможно на основе применения информационного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона. Это связано с тем, что глубина проникновения электромагнитного излучения этого диапазона в области матки коров, в отличие от оптического, значительно выше, что в итоге приведет к более эффективному лечению [3, 4]. Однако при этом следует иметь в виду, что данный метод требует создания модели, описывающей распределение электромагнитных полей в матке коров при разных частотах излучения, разных плотностях потока мощности и экспозициях.

## 3. Цель статьи

Для лечения эндометрита коров решить электродинамическую задачу по распределению электромагнитного поля внутри матки животных, модель которой может быть представлена в виде цилиндра.

## 4. Изложение основного материала по распределению напряженности электромагнитного поля в матке коров

Для получения исходных выражений, позволяющих решить оставленную задачу, рассмотрим вначале рассеяние плоской электромагнитной волны на биологическом объекте, имеющем структуру однородного цилиндра. Будем предполагать, что среда, заполняющая внутреннюю часть цилиндра, характеризуется диэлектрической и магнитной проницаемостями  $\epsilon$  и  $\mu$ , которые, при наличии неоднородности, могут являться функциями радиуса цилиндра. Внешнее по отношению к рассеивателю пространство предполагается однородным. Оно характеризуется постоянными электромагнитными проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\mu_1$ . Если окружающая среда воздух, то:

$$\epsilon_1 \approx \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \frac{\Phi}{\text{м}}.$$

Кроме того, поскольку рассматриваются биологические объекты, то везде в дальнейшем:

$$\mu = \mu_1 \approx \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_{\text{Н}}}{\text{м}}.$$

Далее будем считать, что для падающих электромагнитных полей применяемые обозначения имеют следующий смысл:  $\vec{E}_0(t)$ ,  $\vec{H}_0(t)$  — их амплитуды;  $\omega(t)$  — их частоты;  $\vec{k}$  — волновой вектор;  $\vec{r}$  — радиус-вектор рассматриваемой точки;  $\vec{E}_0(t)$  и  $\vec{H}_0(t)$  связаны между собой посредством сопротивления окружающей тело среды.

Для решения изложенных ниже задач используются уравнения Максвелла в дифференциальной форме [7].

Итак, пусть на однородный бесконечный биологический объект, имеющий форму кругового цилиндра радиуса  $R$ , падает плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в направлении, перпендикулярном оси цилиндра, которую совместим с осью  $OZ$  цилиндрической системы координат  $(r, \varphi, z)$ . Возможны две поляризации падающей волны относительно оси  $OZ$ :

- 1) вектор  $\vec{E}$  параллелен оси  $OZ$  ( $E$ -поляризация);
- 2) вектор  $\vec{H}$  параллелен оси  $OZ$  ( $H$ -поляризация).

Общий случай поляризации падающей волны может быть получен с помощью суперпозиции указанных выше поляризаций.

В случае  $E$ -поляризации, поля падающей, рассеянной и прошедшей внутрь цилиндра волн удобно разложить по цилиндрическим функциям [8]:

$$\begin{cases} E_z^{\text{пад}} = E_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(k_1 r) e^{i\omega t}; \\ E_z^{\text{расс}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^{\text{расс}} H_n^{(2)}(k_1 r) e^{i\omega t}; \\ E_z = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n J_n(kr) e^{i\omega t}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} H_z^{\text{пад}} = 0; \\ H_z^{\text{расс}} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n^{\text{расс}} H_n^{(2)}(k_1 r) e^{i\omega t}; \\ H_z = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n J_n(kr) e^{i\omega t}, \end{cases} \quad (2)$$

где падающая и рассеянная волны отмечены, соответственно, индексами  $\text{пад.}$  и  $\text{расс.}$ ; внутренние поля индексов не имеют;  $i = \sqrt{-1}$  — мнимая единица;  $k_1 = \omega \sqrt{\epsilon_1 \mu_1}$ ;  $k = \omega \sqrt{\epsilon \mu}$ ;  $r$  — текущая координата поперечного сечения цилиндра;  $\omega$  — частота падающего поля;  $a_n^{\text{расс}}$ ,  $b_n^{\text{расс}}$ ,  $a_n$ ,  $b_n$  — неизвестные коэффициенты;  $J_n(*)$  — функция Бесселя 1-го рода;  $H_n^{(2)}(*)$  — функция Ханкеля 2-го рода.

Нахождение неизвестных коэффициентов и является решением данной задачи. С этой целью воспользуемся граничными условиями при  $r = R$  для тангенциальных составляющих поля:

$$\begin{cases} H_z^{\text{пад}} + H_z^{\text{расс}} = H_z|_{r=R}; \\ E_z^{\text{пад}} + E_z^{\text{расс}} = E_z|_{r=R}; \\ H_\varphi^{\text{пад}} + H_\varphi^{\text{расс}} = H_\varphi|_{r=R}; \\ E_\varphi^{\text{пад}} + E_\varphi^{\text{расс}} = E_\varphi|_{r=R}. \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему (3), получаем вышеуказанные коэффициенты:

$$\begin{aligned} a_n^{\text{расс}} &= E_0 i^n \left[ \frac{J_n(k_1 R)}{H_n^{(2)}(k_1 R)} - \frac{2i \left[ \frac{H_n^{(2)'}(k_1 R)}{k_1 R H_n^{(2)}(k_1 R)} - \frac{J_n'(kR)}{kR J_n(kR)} \right]}{\pi k_1^2 R^2 \left( H_n^{(2)}(k_1 R) \right)^2 D} \right]; \\ b_n^{\text{расс}} &= 0; \\ b_n &= 0; \end{aligned}$$

$$a_n = \left[ E_0 i^n J_n(k_1 R) + a_n^{\text{расс}} H_n^{(2)}(k_1 R) \right] \frac{1}{J_n(kR)}, \quad (4)$$

где

$$D = \left[ \frac{H_n^{(2)'}(k_1 R)}{k_1 R H_n^{(2)}(k_1 R)} - \frac{J_n'(kR)}{k R J_n(kR)} \right] \times \\ \times \left[ \frac{H_n^{(2)'}(k_1 R)}{k_1 R H_n^{(2)}(k_1 R)} - \frac{N^2 J_n(kR)}{k R J_n(kR)} \right]; \\ N^2 = \frac{k^2}{k_1^2} = \frac{\epsilon}{\epsilon_1}.$$

Из уравнений Максвелла определяются остальные проекции падающей, рассеянной и прошедшей внутрь цилиндра волн [9]. Таким образом, амплитуды внутренних полей цилиндра описывается с помощью следующих выражений:

$$\begin{cases} E_z = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n J_n(kr); \\ H_\rho = - \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{n a_n J_n(kr)}{\omega \mu r}; \\ H_\varphi = - \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{i k a_n J_n'(kr)}{\omega \mu}. \end{cases} \quad (5)$$

Однако, для выяснения энергетических характеристик прошедшего внутрь биологического объекта поля, а также для определения основных электромагнитных характеристик взаимодействия поля с объектом нет необходимости брать большое число гармоник в выражениях (5). Достаточно взять нулевую гармонику. Положив  $n=0$ , получаем формулы, пригодные для практических расчетов внутренних полей в биообъектах цилиндрической формы:

$$\begin{cases} E_z = a_0 J_0(kr); \\ H_\varphi = i \frac{a_0 k^2 J_1(kr)}{\omega \mu}, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$a_0 = \frac{J_0(k_1 R) + a_0^{\text{расс}} H_0^{(2)}(k_1 R)}{J_0(kR)} E_0; \quad (7)$$

$$a_0^{\text{расс}} = \frac{J_0(k_1 R)}{H_0^{(2)}(k_1 R)} - 2i \frac{\left[ \frac{J_1(kR)}{a J_0(kR)} - \frac{H_1^{(2)}(k_1 R)}{a H_0^{(2)}(k_1 R)} \right]}{\pi k_1^2 R^2 \left( H_0^{(2)}(k_1 R) \right)^2 D}; \quad (8)$$

$$D = \left[ \frac{J_1(kR)}{R J_0(kR)} - \frac{H_1^{(2)}(k_1 R)}{R H_0^{(2)}(k_1 R)} \right] \times \\ \times \left[ \frac{k^2 J_1(kR)}{k_1^2 R J_0(kR)} - \frac{H_1^{(2)}(k_1 R)}{R H_0^{(2)}(k_1 R)} \right]. \quad (9)$$

Для получения соответствующего результата в случае  $H$ -поляризации необходимо везде в полученных

формулах  $E$  поменять на  $H$ ,  $H$  поменять на  $-E$ ,  $\epsilon$  поменять на  $\mu$ , а  $\mu$  поменять на  $\epsilon$ .

В частности, рассмотрим биологические объекты, у которых  $\epsilon$  меняется только по радиусу, так как на практике другие случаи неоднородности встречаются гораздо реже. Так же как и в случае однородного цилиндрического биологического объекта, будем рассматривать бесконечно длинный цилиндр, ось которого совпадает с осью цилиндрической системы координат  $(r, \varphi, z)$ . Решение будет показано для  $E$ -поляризации.

Поскольку  $\epsilon = \epsilon(r)$ , то внутренние поля должны удовлетворять дифференциальным уравнениям [10]:

$$\frac{d^2 E_{zn}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dE_{zn}}{dr} + \left( k^2 - \frac{n^2}{r^2} \right) E_{zn} = 0; \quad (10)$$

$$\frac{d^2 H_{zn}}{dr^2} + \left( \frac{1}{r} - \frac{d\epsilon}{dr} \frac{1}{\epsilon} \right) \frac{dH_{zn}}{dr} + \left( k^2 - \frac{n^2}{r^2} \right) H_{zn} = 0. \quad (11)$$

Решение уравнений (10), (11) производится численным методом. На основании того, что рассматривается неоднородный биологический объект, в котором  $\epsilon$  меняется в широких пределах за счет перехода от одного слоя к другому, а вблизи оси цилиндра эти изменения незначительны и линейны, представим  $\epsilon$  в виде степенного ряда по параметру малости  $\delta$  (где  $\delta$  — малое отклонение от оси цилиндра).

Исходя из реальной физиологической структуры биологического объекта, степенной ряд ограничивается двумя первыми членами, что приводит уравнение (10, 11) к уравнению Бесселя [10].

Следовательно, начальные условия при  $\delta \ll R$ ,  $\epsilon = \epsilon(\delta)$  будут иметь вид:

$$\begin{cases} E_{zn}(\delta) = J_n(k\delta); E'_{zn}(\delta) = J'_n(k\delta); \\ H_{zn}(\delta) = J_n(k\delta); H'_{zn}(\delta) = J'_n(k\delta). \end{cases} \quad (12)$$

Продольные составляющие поля в области  $\delta < r \leq R$  равны:

$$E_z = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n E_{zn}; \quad H_z = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n H_{zn}.$$

Компоненты падающего и рассеянного полей записываются так же, как и в системах (1), (2).

Используя граничные условия при  $r=R$  (3), получим систему:

$$\begin{cases} a_n E_{zn} - a_n^{\text{расс}} H_n^{(2)}(k_1 R) = E_0 i^n J_n(k_1 R); \\ b_n H_{zn} - b_n^{\text{расс}} H_n^{(2)}(k_1 R) = 0; \\ \frac{k_1}{\omega \epsilon(r)} b_n H'_{zn} - \frac{i k_1}{\omega \epsilon_1} b_n^{\text{расс}} H_n^{(2)'}(k_1 R) = 0; \\ -\frac{i k}{\omega \mu_0} a_n E'_{zn} + \frac{i k_1}{\omega \mu_0} a_n^{\text{расс}} H_n^{(2)'}(k_1 R) = -\frac{i k_1}{\omega \mu_0} E_0 i^n J'_n(k_1 R). \end{cases} \quad (13)$$

Здесь неизвестные коэффициенты, относящиеся к внутренним полям, индексов не имеют. Коэффициенты рассеянных полей имеют индекс *расс*. Решение системы дает:

$$a_n = \frac{i^n E_0 k_1 [J_n(k_1 R) H_n^{(2)'}(k_1 R) - J_n'(k_1 R) H_n^{(2)}(k_1 R)]}{k_1 E_{zn} H_n^{(2)'}(k_1 R) - k E_{zn}' H_n^{(2)}(k_1 R)}, \quad (14)$$

$$b_n = 0;$$

$$a_n^{\text{расс}} = -\frac{i^n E_0 [k_1 E_{zn} J_n'(k_1 R) - k E_{zn}' J_n(k_1 R)]}{k_1 E_{zn} H_n^{(2)'}(k_1 R) - k E_{zn}' H_n^{(2)}(k_1 R)}, \quad (15)$$

$$b_n^{\text{расс}} = 0.$$

Представляющая практический интерес нулевая гармоника при этом будет иметь вид (6), где:

$$a_0 = \frac{E_0 k_1^2 [J_1(k_1 R) H_0^{(2)}(k_1 R) - J_0(k_1 R) H_1^{(2)}(k_1 R)]}{k_1^2 E_{z0} H_1^{(2)}(k_1 R) + k E_{z0}' H_0^{(2)}(k_1 R)}. \quad (16)$$

Итак, для определения полей внутри биологического рассеивателя, имеющего цилиндрическую форму, с неоднородностью диэлектрической проницаемости по  $r$ , то есть  $\varepsilon = \varepsilon(r)$ , необходимо для заданной функции  $\varepsilon(r)$  численно проинтегрировать уравнения (10), (11), а полученные значения  $E_{z0}$  и  $E_{z0}'$  подставить в (16). В случае  $H$ -поляризации производятся указанные выше замены.

## 5. Выводы

Полученные выражения (6–11, 16) для определения напряженности электромагнитного поля внутри однородного и неоднородного по радиусу биологического объекта цилиндрической формы, при падении на него плоской волны, являются основой для решения сложных задач по определению закона распределения в нем как модулированного, так и немодулированного электромагнитного поля. Результаты исследований позволят определить биотропные параметры электромагнитного поля (частота, мощность, модуляция и экспозиция) не только для лечения эндометрита коров, но и других инфекционных болезней животных.

## Литература

1. Панков, Б. Г. Эндометриты у коров [Текст] / Б. Г. Панков, А. В. Жаров, Н. А. Соколова // Практика. — 2001. — № 8. — С. 44.
2. Воскобойников, В. Ф. Эффективный метод лечения коров с послеродовым эндометритом [Текст] / В. Ф. Воскобойников, Г. Г. Козлов // Ветеринария. — 1991. — № 25. — С. 44–46.
3. Михайлова, Л. Н. Определение параметров электродинамической системы многодиодного генератора крайне высокочастотного диапазона [Текст] / Л. Н. Михайлова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 1/9(55). — С. 36–38. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/3439>.
4. Сасимова, И. А. Обоснование биофизического действия информационных электромагнитных излучений на микробиологические объекты животноводства [Текст] / И. А. Сасимова, Л. Ф. Кучин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2008. — № 4/2(34). — С. 27–29.
5. Karu, T. I. Cellular effects of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide [Text] / T. I. Karu, L. V. Pyatibrat, N. I. Afanasyeva // Lasers in Surgery and Medicine. — 2005. — № 36(4). — P. 307–314. — Available at: \www/URL: doi: 10.1002/lsm.20148.
6. Karu, T. I. Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy [Text] / T. I. Karu, S. F. Kolyakov // Photomedicine and Laser Surgery. — 2005. — № 23(4). — P. 355–361. — Available at: \www/URL: doi:10.1089/pho.2005.23.355.
7. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. — М.: Наука, 1989. — 543 с.
8. Зоммерфельд, А. Электродинамика [Текст]: пер. с нем. / А. Зоммерфельд. — М.: Иностранная литература, 1958. — 657 с.
9. Корн, Г. Справочник по математике [Текст] / Т. Корн. — М.: Наука, 1970. — 720 с.
10. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров [Текст] / А. Анго. — М.: Наука, 1965. — 776 с.

## ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ МІКРОХВИЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ТВАРИНАМИ, ЩО ХВОРІ НА ЕНДОМЕТРИТ

Розв'язана задача з розподілу електромагнітного поля всередині матки корів, модель якої може бути представлена у вигляді багатопарового циліндра з різною діелектричною проникністю. Вивчення розподілу електромагнітного поля в поверхневому шарі матки тварин дозволить визначити необхідні біотропні параметри електромагнітного поля (частота; щільність потоку потужності; експозиція для лікування ендометриту корів, викликаного патогенними мікроорганізмами).

**Ключові слова:** електромагнітне поле, ендометрит тварин, моделі внутрішніх органів тварин, електромагнітна терапія.

*Думанський Олександр Васильович, асистент, кафедра техніки та теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Україна, e-mail: kosnatgen@ukr.net.*

*Думанський Олександр Васильович, асистент, кафедра техніки та теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Україна.*

*Dumanskiy Alexander, Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: kosnatgen@ukr.net*