

**Механизм согласованного управления регулированием сроков доставки грузов в транспортный узел/ Мурадьян А. О.** //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.40–43. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

**Modelling and optimization of cargo transfer process in transport hubs/ Muradian A.** //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P. 40–43. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Мурад'ян Арсен Олегович** – кандидат технічних наук, Одеський національний морський університет, доцент кафедри "Експлуатація портів і технологія вантажних робіт"; вул. Мечнікова, 34, Одеса, Одеська область, 65000; e-mail: [fhcty1@rambler.ru](mailto:fhcty1@rambler.ru)

**Мурадьян Арсен Олегович** – кандидат технических наук, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры "Эксплуатация портов и технология грузовых работ ул. Мечникова, 34, Одесса, Одесская область, 65000; e-mail: [fhcty1@rambler.ru](mailto:fhcty1@rambler.ru)

**Arsen Muradian** – candidate of technical sciences, Odessa National Maritime University; associate professor of the department « Port operation and cargo handling technology»; 34 Mechnikova, Odessa, 65000; e-mail: [fhcty1@rambler.ru](mailto:fhcty1@rambler.ru)

УДК 621.375:621.396.62

*Т. Д. ГУЦОЛ*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНОГО ПРИ ЕГО ТЕРМОГРАФИРОВАНИИ**

В статье рассматривается распределение собственных и возможных внешних электромагнитных полей в организме животного, что позволит в дальнейшем создать методику проведения электромагнитного картографирования его органов. Исследованы характеристики этих полей в органах цилиндрической и сферической формы. На основании полученных аналитических выражений проведен численный анализ, который показал возможность электромагнитного зондирования внутренних органов с возможными патологиями.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, информационное воздействие, математическая модель, термографирование, цилиндрическая и сферическая форма, коэффициенты рассеяния.

У статті розглядається розподіл власних і можливих зовнішніх електромагнітних полів в організмі тварини, що дозволить в подальшому створити методику проведення електромагнітного картографування його органів. Досліджено характеристики цих полів в органах циліндричної та сферичної форми. На підставі отриманих аналітичних виразів проведено чисельний аналіз, який показав можливість електромагнітного зондування внутрішніх органів з можливими патологіями.

**Ключові слова:** електромагнітне поле, інформаційний вплив, математична модель, термографування, циліндрична і сферична форма, коефіцієнти розсіювання.

The article deals with the distribution of its own and possible external electromagnetic fields in the animal's body, which will allow creating a method for conducting electromagnetic mapping of its organs in the future. The characteristics of these fields in bodies of cylindrical and spherical shape are investigated. The obtained analytical expressions allowed carrying out a numerical analysis, which showed the possibility of electromagnetic probing of internal organs with possible pathologies.

A numeral study of dispersion of the modulated electromagnetic vibrations is in-process undertaken on the considered objects of different form. Super high frequency demodulation of electromagnetic radiation was examined with single pulse string with frequency of the following 1 Hertz and by duration 0,01 s. Frequency of the following ofiuless changed on a sinewave law with frequency 10 Hertz. Deviation of circular frequencies of spectral constituents from bearing is equal approximately 31,83 Hertz's. For evry case, someone bearing frequency most full characterizing what be going on into a bject processes is considered. It is necessary to mark that research of curves shows for the different spectral constituents of the modulated field, that they not always appearimir to each other in distribution on the radius of object, id est different spectral constituents can, obviously, to render the different affecting organism.

**Keywords:** electromagnetic field, information effect, mathematical model, thermography, cylindrical and spherical shape, scattering coefficients.

**Введение.** Одним из перспективных направлений развития новых ветеринарных технологий, привлекающих внимание в последнее время, является использование собственных и внешних электромагнитных излучений сверхвысоких частот в организме животного для проведения его термографирования с целью определения возможных патологий. Следует при этом отметить, что во многих существующих работах отсутствует разработка методологических принципов изучения влияния специфических электромагнитных полей на биологические объекты; недостаточно изучается вопрос создания математических моделей, способных дать аналитическое описание происходящих

при этом процессов; отсутствует достоверная методика расчета температурных полей; нет достоверных подходов в изучении нетеплового (информационного) воздействия электромагнитного излучения на организм животного; нет методологии определения численных значений биотропных параметров, способных вызвать оптимальный (в соответствии с выбранными критериями) отклик биологических объектов.

**Литературный обзор.** В связи с широким распространением разнообразных электромагнитных и информационных технологий, во всех странах мира большой интерес исследователей привлекает необхо-

© Т. Д. Гуцол. 2017

димість моделювання розподілення цих полів в біологічних об'єктах живої природи. Поскольку електромагнітні випромінювання можуть оказувати суттєве впливання на організм, як людину, тварин, так і рослини, виникла необхідність розраховувати ці поля теоретично. Такі дослідження дозволяють не тільки запобігти негативним наслідкам облучення, але і використовувати ці поля в профілактичних і лікувальних цілях.

Существует достаточно большой спектр публикаций по данному вопросу. В них рассматриваются и вопросы угнетения болезнетворных микробов, и вопросы лечения различных заболеваний человека и животных, и вопросы стимулирования развития растений, и вопросы диагностирования заболеваний [1–4]. Однако большинство этих публикаций посвящено экспериментальному исследованию вопроса и не дают ответа на вопрос, как теоретически смоделировать происходящие процессы [5, 6].

**Объект, цель и задачи исследований.** Объектом исследования является организм животного, в котором существует электромагнитное поле.

Целью работы является определение напряженности и других биотропных параметров электромагнитных полей в разных точках организма в зависимости от их свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Вычислить коэффициенты отражения и прохождения электромагнитных полей в биологических объектах разной формы.

2. Связать эти коэффициенты с электрофизическими характеристиками этих объектов.

**Решение уравнений, описывающих внутренние электромагнитные поля в биологических объектах.** В работе предлагается методика расчета собственных или внешних электромагнитных полей в биологических объектах различной формы, как с однородной, так и неоднородной структурой, что должно явиться основой при выборе частотных параметров ветеринарной аппаратуры, позволяющей проводить картографирование организма животного посредством СВЧ излучения.

При этом найдено решение для наиболее сложного случая, когда длина электромагнитной волны сравнима с размерами облучаемого объекта. С этой целью использовались уравнения Максвелла в дифференциальной форме [7, 8].

Биологические объекты, имеющие форму цилиндра, рассматривались однородными по длине, но неоднородными по радиусу, исходя из реальной физиологической структуры некоторых органов животного. В этом случае дифференциальные уравнения, описывающие внутренние поля, содержат нелинейность, что значительно усложняет их решение. Предложен метод решения указанных уравнений, основанный на описании

функциональной зависимости диэлектрической проницаемости от радиуса объекта с помощью многочлена четырнадцатой степени. В частности, коэффициент проникновения  $a_n$  электрической составляющей электромагнитного поля внутрь органов животного, имеющих форму цилиндра, равен:

$$a_n = \frac{i^n E_0 k_1 \left[ J_n(k_1 R) H_n^{(2)'}(k_1 R) - J_n'(k_1 R) H_n^{(2)}(k_1 R) \right]}{k_1 E_{zn} H_n^{(2)'}(k_1 R) - k E_{zn}' H_n^{(2)}(k_1 R)}, \quad (3)$$

где  $i = \sqrt{-1}$ ;  $E_0$  – амплитуда электрической составляющей падающего поля;  $k_1$  – волновое число, характеризующее внешнюю по отношению к рассеивателю среду;  $R$  – радиус поперечного сечения цилиндрического объекта;  $J_n(k_1 R)$ ;  $H_n^{(2)}(k_1 R)$  – функции Бесселя первого рода и Ханкеля второго рода, соответственно;  $E_{zn}$  – решение уравнения:

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

где волновое число  $k$ , характеризующее среду рассеивателя, является переменной величиной.

В случае биологических объектов, имеющих форму сферы, непостоянство диэлектрической проницаемости тканей по радиусу также значительно усложняет задачу определения внутренних электромагнитных полей.

В работе использован метод поперечных сечений, позволяющий линеаризовать дифференциальные уравнения и, в конечном итоге, определить амплитуды внутренних составляющих электромагнитного поля при вышеуказанных условиях. Коэффициенты проникновения для электрической и магнитной составляющих в этом случае имеют вид:

$$a_{11} = -i E_0 \sqrt{6 \pi k k_1} \omega \mu_0 \left( J_{\frac{1}{2}}(k_1 R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) \right) \times \\ \times \left\{ k_1 J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) - k H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{1}{2}}(k R) + \right. \\ \left. + \frac{3}{2\sqrt{R^3}} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left( \frac{1}{k} - \frac{1}{k_1} \right) \right\}^{-1} \quad (1)$$

и

$$b_{11} = -i E_0 \omega \sqrt{\frac{6 \pi R k}{k_1}} \left[ J_{\frac{1}{2}}(k_1 R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) \right] \times \\ \times \left\{ \frac{1}{2\sqrt{R}} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left( \frac{1}{\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{R} \left[ \frac{k}{\varepsilon} J_{\frac{1}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{k_1}{\varepsilon_1} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) \right] + \frac{3}{2R} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left( \frac{1}{k_1 \varepsilon_1} - \frac{1}{k \varepsilon} \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

где  $\omega$  – круговая частота падающего электромагнитного поля;  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_1$  – диэлектрические проницаемости тканей организма животного и окружающей их среды,

соответственно; остальные обозначения имеют тот же смысл, что и в случае цилиндрического рассеивателя.

Исследования показали, что для описания внутренних полей в органах животного, как цилиндрической, так и сферической формы, можно ограничиться, в основном, амплитудой нулевой гармоники, для которой определено ее значение.

На основании полученных выражений проведен численный расчет внутренних полей в органах животного различной формы с учетом их физиологической структуры при разных частотах падающего электромагнитного поля. Анализ полученных результатов показал, что:

– для биологических объектов с низким содержанием воды, соответствующих однородному цилиндру (кости ног), при частоте 400 МГц амплитуда электрического поля внутри биообъекта монотонно убывает от центра к его поверхности, а магнитного – наоборот возрастает. На частоте 1 ГГц уже наблюдаются резонансные явления. Дальнейшее увеличение частоты падающего поля до 3 ГГц сдвигает максимумы амплитуды внутреннего электрического поля от стенки цилиндра к оси, а затем и к появлению новых максимумов, то есть к все большему числу полувольт, укладываемых на радиусе цилиндра;

– результаты, полученные для однородного биологического цилиндра с высоким содержанием воды аналогичны вышеописанному, однако высокое содержание воды приводит к повышению диэлектрической проницаемости и, как следствие, к возникновению резонанса на более низких частотах и к повышению потерь внутри биологического объекта. Действительно, появление первого резонанса происходит на частоте 400 МГц;

– для однородной биологической сферы с низким содержанием воды первые резонансы появляются на частоте 1 ГГц. На основании вышесказанного установлено, что органы животного, имеющие форму сферы, обладает более высокими резонансными частотами, чем органы с формой цилиндра;

– в биологической сфере с высоким содержанием воды на частоте 400 МГц появляются признаки резонансов всех составляющих внутреннего поля. Увели-

чение частоты до 1 ГГц вызывает рост числа резонансных пиков. На частоте 3 ГГц проявляется значительный эффект затухания внутри биообъекта у тангенциальной составляющей электрического поля, в то время как его радиальная составляющая в центре сферы и на ее поверхности имеет практически одинаковую величину, уменьшаясь в десять раз между этими крайними точками;

– ткани в сечении середины туловища животного, лежащие в направлении спины, характеризуются низким содержанием воды, а лежащие в сторону живота – высоким [9, 10].

В работе проведено численное исследование рассеяния модулированных электромагнитных колебаний на рассмотренных выше объектах. Рассматривалась модуляция СВЧ поля последовательностью единичных импульсов с частотой следования 1 Гц и длительностью 0,01 с. Частота следования импульсов менялась по синусоидальному закону с частотой 10 Гц. Отклонение круговых частот спектральных составляющих от несущей равно примерно  $\pm 31,83$  Гц. Для каждого случая рассмотрена какая-то одна несущая частота, наиболее полно характеризующая происходящие внутри биообъекта процессы. Необходимо отметить, что исследование кривых для различных спектральных составляющих модулированного поля показывает, что они не всегда оказываются подобными друг другу в распределении по радиусу объекта, то есть различные спектральные составляющие могут, очевидно, оказывать различное воздействие на организм животного.

**Выводы.** В заключение следует отметить, что теоретическими исследованиями, проведенными в данной работе, доказана принципиальная возможность концентрации энергии электромагнитного поля в наперед заданной структуре биологического объекта в зависимости от частоты падающего поля. Этот результат позволяет определять частотные характеристики конструируемой ветеринарной аппаратуры, которая сможет воздействовать на заранее выбранные области организма животного с учетом спектрального состава облучающего сигнала.

#### Список литературы:

1. *Бецкий, О. В.* Лечение электромагнитными полями [Текст] / *О. В. Бецкий, Н. Д. Девятков, Н. Н. Лебедева* // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 7. – С. 3–9.
2. *Kovacic, P.* Electromagnetic fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals, antioxidants and beneficial effects [Text] / *P. Kovacic, R. Somanathan* // Journal of Receptors and Signal Transduction. – 2010. – Vol. 30, Issue 4. P. 214–226. doi: [10.3109/10799893.2010.488650](https://doi.org/10.3109/10799893.2010.488650)
3. *Kesari, K. K.* Pathophysiology of Microwave Radiation: Effect on Rat Brain [Text] / *K. K. Kesari, S. Kumar, J. Behari* // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2011. – Vol. 166, Issue 2. – P. 379–388. doi: [10.1007/s12010-011-9433-6](https://doi.org/10.1007/s12010-011-9433-6)
4. *Григорьев, Ю. Г.* Новые данные для доказательств наличия значимых эффектов при хроническом электромагнитном облучении (к аутоиммунным изменениям у крыс) [Текст] / *Ю. Г. Григорьев, А. В. Шафиркин, А. М. Носовский* // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Т. 51, № 6. – С. 721–730.
5. *Кудряшов, Ю. Б.* Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения [Текст]: учеб. / *Ю. Б. Кудряшов, Ю. Ф. Перов, А. Б. Рубин*. – М.: Физматлит, 2008. – 184 с.
6. *Бецкий, О. В.* Миллиметровые волны и живые системы [Текст] / *О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Н. Лебедева*. – М.: Сайнс-пресс, 2004. – 272 с.
7. *Зоммерфельд, А.* Электродинамика [Текст] / *А. Зоммерфельд*. – М.: Иностранная литература, 1958. – 657 с.
8. *Никольский, В. В.* Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / *В. В. Никольский, Т. И. Никольская*. – М.: Либроком, 2012. – 544 с.
9. *Березовский, В. А.* Биофизические характеристики тканей человека [Текст] / *В. А. Березовский, Н. Н. Колотилов*. – К.: Наукова думка, 1990. – 224 с.
10. *Ремизов, А. Н.* Медицинская и биологическая физика [Текст]: учеб. / *А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потепенко*. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Betskiy, O. V., Devyatkov, N. D., Lebedeva, N. N. (2000). Lechenie elektromagnitnymi polyami [Treatment with electromagnetic fields]. Biomedical radio electronics, 7, 3–9.
2. Kovacic, P., Somanathan, R. (2010). Electromagnetic fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals, antioxidants and beneficial effects. Journal of Receptors and Signal Transduction, 30 (4), 214–226. doi: [10.3109/10799893.2010.488650](https://doi.org/10.3109/10799893.2010.488650)
3. Kesari, K. K., Kumar, S., Behari, J. (2011). Pathophysiology of Microwave Radiation: Effect on Rat Brain. Applied Biochemistry and Biotechnology, 166 (2), 379–388. doi: [10.1007/s12010-011-9433-6](https://doi.org/10.1007/s12010-011-9433-6)
4. Grigorev, Y. G., Shafirkin, A. V., Nosovskiy, A. M. (2011). Novye dannye dlya dokazatelstv nalichiya znachimykh effektov pri khronicheskoy elektromagnitnoy obлучenii (k autoimmunnym izmeneniyam u krysa) [New data for evidence of significant effects in chronic electromagnetic radiation (to autoimmune changes in rats)]. Radiation Biology. Radioecology, 51 (6), 72–73.
5. Kudryashov, Yu. B., Perov, Yu. F., Rubin, A. B. (2008). Radiatsionnaya biofizika: radiochastotnye i mikrovolnovye elektromagnitnye izлучeniya [Radiation Biophysics: Radio Frequency and Microwave Electromagnetic Radiation]. Moscow: Fizmatlit, 184.
6. Betskiy, O. V., Kislov, V. V., Lebedeva, N. N. (2004). Millimetrovye volny i zhivye sistemy [Millimeter waves and living systems]. Moscow: Sayns-press, 272.
7. Zommerfeld, A. (1958). Elektrodinamika [Electrodynamics]. Moscow: Inostrannaya literatura, 657.
8. Nikolskiy, V. V., Nikolskaya, T. I. (2012). Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln [Electrodynamics and propagation of radio waves]. Moscow: Librokom, 544.
9. Berezovskiy, V. A., Kolotilov, N. N. (1990). Biofizicheskie kharakteristiki tkaney cheloveka [Biophysical characteristics of human tissues]. Kyiv: Naukova dumka, 224.
10. Remizov, A. N., Maksina, A. G., Potapenko, A. Ya. (2003). Meditsinskaya i biologicheskaya fizika [Medical and Biological Physics]. Moscow: Drofa, 560.

*Поступила (received) 16.09.2016*

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Моделювання електромагнітних полів в організмі тварини при його термографу ванні/ Гуцол Т. Д.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

**Моделирование электромагнитных полей в организме животного при его термографировании/ Гуцол Т. Д.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

**Modeling of the electromagnetic fields in the animal organism at its thermography/ Hutsol T.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Гуцол Тарас Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, Подольський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольський, Хмельницька обл., Україна, 32300, e-mail: [tte.nniekt@ukr.net](mailto:tte.nniekt@ukr.net).

**Гуцол Тарас Дмитрівич** – кандидат технічних наук, доцент, Подольський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольський, Хмельницька обл., Україна, 32300, e-mail: [tte.nniekt@ukr.net](mailto:tte.nniekt@ukr.net).

**Hutsol Taras** – PhD, associate professor, Podolsky state agrarian and technical university, st. Shevchenko, 13, Kamyanyets-Podolsky, Khmelnytsky region, Ukraine, 32300, e-mail: [tte.nniekt@ukr.net](mailto:tte.nniekt@ukr.net).