

В.В. ГУЗЕНКО

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Н.В. ТІТОВА

Національний транспортний університет, м. Київ

Г.М. НОВИЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ ТОЧКАМИ ТВАРИН

Як електродинамічна модель біологічно активної точки була розглянута плоскошарова діелектрична структура. Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює огрядні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений провідними нервовими волокнами, які передають сигнали управління від біологічно активної точки до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором. Завдання про взаємодію хвиль радіоімпульсного випромінювання з біологічно активною точкою є нестационарним завданням дифракції. За допомогою методу комплексних амплітуд ця задача була зведена до задачі дифракції для електромагнітних полів, що залежать експоненціально від часу. Для вирішення завдання про дифракції електромагнітного випромінювання на біологічно активних точках був використаний метод об'ємних інтегральних рівнянь. Метод об'ємних інтегральних рівнянь дозволив отримати інтегральне рівняння за обсягом циліндричного резонатора моделі біологічно активної точки тварин. Як ядро інтегрального рівняння виступає функція Гріна для плоскошарового середовища. Використовуючи результати, отримані з літературних джерел, був побудований алгоритм для розрахунку цієї функції Гріна. Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі, що відповідає частоті заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків обмежимося напруженістю електричного поля, усередненого за обсягом біологічно активної точки тварин. Після низки перетворень були отримані вирази, які дозволили розрахувати усереднену напруженість електричного поля як функцію параметрів радіоімпульсу: ω – частота заповнення радіоімпульсу, Ω – частота модуляції амплітуди, m – глибина модуляції, а також геометричних і матеріальних параметрів біологічно активної точки тварин. Чисельні розрахунки показали, що при зміні частоти заповнення в інтервалі $40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$ напруженість електричного поля досягає максимуму $\bar{E}_r/E_0 = 0.6 \div 0.7$ при цьому $\omega/\Omega = 10.26$.

V. V. GUZENKO

Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of the Agriculture

N. V. TITOVA

National University of Transport, Kyiv

H. M. NOVITSKII

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF THE INTERACTION OF RADIO PULSE RADIATION WITH BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS OF ANIMALS

A plane-layered dielectric structure was considered as an electrodynamic model of a biologically active point. This structure is formed by three flat dielectric layers and a finite cylinder filled with a dielectric (collagen protein). The upper layer models cells, the middle layer models blood and lymph vessels, and the lower layer is formed by conducting nerve fibers that transmit control signals from a biologically active point to the central nervous system. This electrodynamic structure is a dielectric resonator. The problem of the interaction of radio-pulse waves with a biologically active point is an unsteady diffraction problem. Using the complex amplitude method, this problem was reduced to the diffraction problem for electromagnetic fields that exponentially depend on time. To solve the problem of diffraction of electromagnetic radiation on biological disks at active points, the method of volume integral equations was used. The method of volumetric integral equations made it possible to obtain an integral equation for the volume of a cylindrical resonator of a biological model of the active point of animals. The Green function for a plane-layered medium acts as the core of the integral equation. Using the results obtained from literary sources, an algorithm was constructed to calculate this Green's function. Since the geometrical dimensions of the BAP are much smaller than the wavelength corresponding to the filling frequency of the radio pulse, for practical calculations, we restrict ourselves to the electric field strength averaged over the volume of the biological active point of animals. After a series of transformations, expressions were obtained that made it possible to calculate the averaged electric field strength as a function of the parameters of the radio pulse: ω – the frequency of filling the radio pulse; Ω – the frequency of the amplitude modulation; m – the depth of the modulation, as well as the geometric and material parameters of the biologically active point of the animals. Numerical calculations showed that when the filling frequency changes in the range of $40 \text{ GHz} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ GHz}$, the electric field strength reaches its maximum $\bar{E}_r/E_0 = 0.6 \div 0.7$, where $\omega/\Omega = 10.26$.

Вступ

Збільшення поголів'я великої рогатої худоби пов'язане з підвищенням життєздатності телят в перші дні після їх народження.

За даними літературних джерел із-за хвороб найбільші втрати телят бувають до 15-денного віку. За громадськими даними, на перші 5 днів життя доводиться 40...50% загибелі телят, на перші 10 днів – 65...70% і до 15-денного віку – 75...80% від полеглих впродовж першого року життя [1].

Нині для збереження молодняка використовують антимікробні препарати, гормони і інші хімічні препарати. Медикаментозні засоби є часто неефективними, а тривале їх застосування нерідко спричиняє за собою важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей [2].

Результати досліджень показують, що альтернативою медикаментозним засобам, для терапії хворих диспепсією новонароджених телят може бути використання радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань для дії на біологічно активні точки, огрядні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин [3].

Радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для опромінення тварин здатні модифікувати імунний статус організму тварин, чинити протизапальну дію, покращувати мікроциркуляцію крові в тканинах, активізувати фізіологічну і репаративну регенерацію. В основі радіоімпульсного електромагнітного впливу на біологічні об'єкти лежать резонансні явища, ступінь прояви яких залежить від молекулярної організації опромінюваної тварини та умов її існування [4]. Науковим фундаментом досліджень, що проводяться, є той факт, що явища електромагнітної природи являються не супутніми, а суттєвими факторами життєдіяльності любого живого організму [5]. Враховуючи, що біологічно активні точки шкірного покриву тварин характеризуються шаруватою будовою і, отже, різними електрофізичними характеристиками, то вимагалось теоретично розглянути розподіл ЕМП усередині неоднорідної структури цього біологічного об'єкту. Основною метою теоретичного аналізу ЕМП усередині біологічного об'єкту було вивчення розподілу його в об'єкті з метою управління біофізичними процесами за рахунок зміни біотропних параметрів.

Аналіз попередніх досліджень

Аналіз показує, що найбільший вплив на фізико-хімічні процеси у біологічних об'єктах слід чекати в мм діапазоні довжин хвиль [6, 7]. Взаємодію ЕМП з біологічними об'єктами слід розглядати у рамках розвитку єдиної теорії інформаційного поля ноосфери. На самому мікроенергетичному рівні взаємодії ЕМП з біологічними об'єктами стоїть інформаційний тип взаємодії, потужність близько 10^{-12} Вт. ЕМП є лише енергетичним носієм інформації у рамках ноосфери, тому необхідно розглядати саме несучу частину цих полів при взаємодії з мікрооб'єктами тварин [8].

У ряді функціональних робіт [9, 10] обговорені механізми дії ЕМП на біологічні об'єкти. У [10] запропонований механізм дії слабого, нетеплового ЕМВ на живі організми, заснований на пропозиції про електромеханічні автоколивання клітинних субструктур, як природний стан живих клітин. Там же показано, що синхронізація випромінювання веде до появи внутрішніх інформаційних сигналів, що впливають на регуляторні системи організму.

У ряді робіт вказано на резонансний характер дії ЕМП [10, 11]. Тобто біологічний ефект спостерігається у вузьких частотних інтервалах, причому дія ЕМП на живі організми носить не енергетичний, а інформаційний характер [11], при цьому первинна дія ЕМП реалізується на клітинному рівні і пов'язана з біоструктурами, загальними для різних організмів.

Передбачається, що механізм генерації ЕМВ клітин обумовлюється коливаннями заряджених клітинних мембран, мікροструктура яких забезпечує виникнення дипольної компоненти з частотою випромінювання 30...80 ГГц [11]. Цей електричний диполь, що коливається, є свого роду «клітинним випромінювачем», причому слід враховувати зв'язок випромінювання з акустичним коливанням мембрани.

Таким чином, дію мм хвиль не можна зводити до простого відокремлення процесів клітинного дихання і окислювального фосфорилування. Швидше можна говорити про зміну балансу хемоосмотичного сполучення на користь процесів фосфорилування при деякому антиоксидантному ефекті.

В той же час, дія зовнішніх управляючих ЕМП може бути пов'язана не лише з просторовим розподілом поля, але і з резонансними частотами тих або інших білкових молекул або внутрішньоклітинних елементів [12].

Унікальні можливості інформаційних ЕМП мм діапазону знайшли широке застосування в медичній практиці [13]. Висока ефективність хвиль КВЧ діапазону для відновлення і підтримки гомеостазу живих організмів пов'язана з тим, що використовувані сигнали імпульсного характеру імітують сигнали, генеровані в тих же цілях самим організмом. КВЧ-медичина заснована на відновленні за допомогою ЕМВ власної інформаційно-управляючої системи організму.

Ефективність КВЧ-терапії залежить від безлічі чинників, безліч яких неможливо врахувати. Проте, можна виділити основні чинники, які фіксуються в процесі КВЧ-терапії. Це імпульсний характер ЕМВ мм діапазону, період дотримання імпульсів – десятки мс, тривалість імпульсів – одиниці мкс.

Результати досліджень показують, що для терапії хворих диспепсією новонароджених телят можуть бути використані радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для дії на біологічно активні точки, огрядні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин. У зв'язку з чим виникла необхідність проведення теоретичних досліджень по розподілу електромагнітного поля усередині біологічно активних точок (БАТ) шкірного покриву тварин.

Мета і завдання досліджень

Метою роботи є визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії новонароджених телят великої рогатої худоби.

Розподіл напруженості електричного поля у біологічно активних точках шкірного покриву тварин

В якості електродинамічної моделі біологічно активної точки (БАТ) розглядатимемо плоскошарову діелектричну структуру (рис. 1). Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і

кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює огрядні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений провідячими нервовими волокнами, що передають сигнали управління від БАТ до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором (кінцевий циліндр), розташований в діелектричному середовищі.

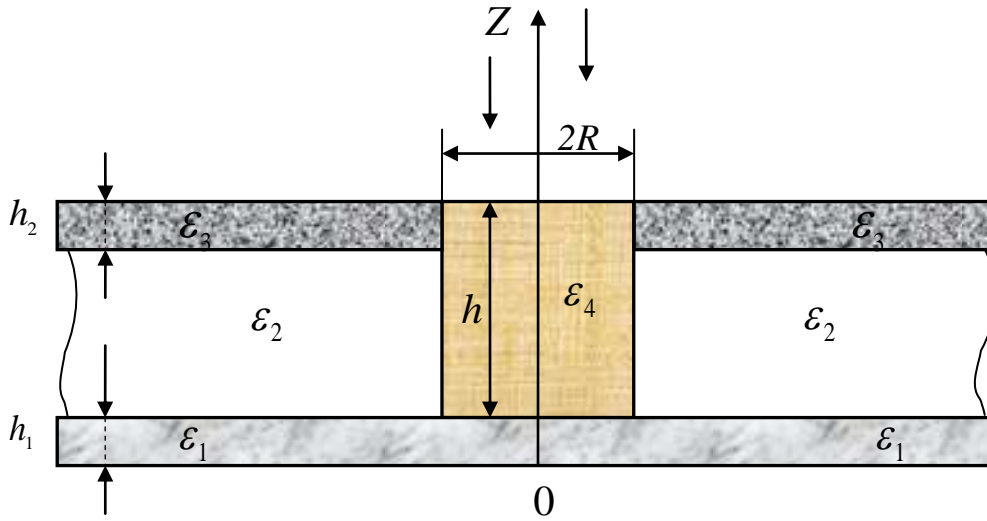


Рис. 1. Електродинамічна модель БАТ

Геометричні характеристики і матеріальні параметри БАТ показані на рис. 1: $2R$ і h – діаметр і висота циліндра; h_2 – товщина шару, що моделює огрядні клітини; h_1 – товщина шару, що моделює нервові волокна; ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , і ϵ_4 – діелектрична проникність відповідних елементів плоскошарової діелектричної структури.

Після ряду перетворень, початкове нестационарне завдання дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ зведене до трьох завдань дифракції (1), (2) і (3).

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_n}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_n}{\partial z^2} + \left(k_n^2 \epsilon - \frac{1}{r^2} \right) U_n = 0, \tag{1}$$

$$\bar{H}_{nr} = -\frac{i}{k_n} \frac{\partial U_n}{\partial z} e^{i\omega_n t}, \quad \bar{H}_{nz} = -\frac{i}{k_n r} \frac{\partial (r U_n)}{\partial r} e^{i\omega_n t}, \tag{2}$$

$$\bar{E}_{n\phi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n = 1, 2, 3. \\ \bar{E}_{n\phi}^b = E_n e^{-ik_n z} e^{i\omega t}, \quad n = 1, 2, 3., \tag{3}$$

де $E_1 = E_0, E_2 = E_3 = \frac{E_0 m}{2}, \omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega, k_n = \frac{\omega_n}{c}, \bar{H}_{nr}, \bar{H}_{nz}$ – компоненти напруженості магнітного поля. Можна показати, що крайові умови для функції U_n полягають у безперервності самої функції і її нормальної похідної на межах розділу середовищ. Як випливає з (1), (2), ці завдання відрізняються тільки хвиловими числами $k_n = \frac{\omega_n}{c}, n = 1, 2, 3$. Ця обставина дозволяє будувати рішення одного з цих завдань, а для інших досить замінити відповідні хвилеві числа.

Для побудови рішення задачі (1), (2) використовуватимемо метод об'ємних інтегральних рівнянь [14, 15].

Як вже було зазначено вище, електродинамічна модель БАТ є відкритим циліндричним, діелектричним резонатором поміщеним в плоскошарове діелектричне середовище (див. рис. 1). Нижче буде отримано інтегральне рівняння за об'ємом цього резонатора. Ядром інтегрального рівняння в цьому випадку виступає функція Гріна для плоскошарового середовища [14]. Використовуючи результати, отримані в [14], був побудований алгоритм для розрахунку цієї функції Гріна. Завдання знаходження функції Гріна полягає в наступному. Вимагається знайти функцію $G(r, z, r_0, z_0)$ чотирьох змінних r, z, r_0, z_0 , яка за змінними r, z задовольняє рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial G}{\partial r} + \left(k_n^2 \bar{\epsilon} - \frac{1}{r^2} \right) G = 0, \tag{4}$$

а за змінними r_0, z_0 – рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r_0^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z_0^2} - \frac{1}{r_0} \frac{\partial G}{\partial r_0} + k_n^2 \bar{\epsilon} G = 0. \tag{5}$$

При збігу точок (r, z) і (r_0, z_0) , тобто при $r = \sqrt{(r-r_0)^2 + (z-z_0)^2} \rightarrow 0$, G має логарифмічну особливість $G \sim -2 \ln r$.

На осі z функція G повинна задовольняти співвідношенням:

$$\begin{aligned} G &\sim o(r_0^2), \quad r_0 \rightarrow 0, \\ G &\sim o(r^2), \quad r \rightarrow 0 \end{aligned} \tag{6}$$

У рівняннях (4) і (5) хвилеве число набуває значень $k = k_n, n = 1, 2, 3$, а кусочно-постійна функція визначається за формулою:

$$\bar{\varepsilon} = \begin{cases} 1, & z > h + h_2 \\ \varepsilon_1, & 0 < z < h_1 \\ \varepsilon_2, & h_1 < z < h + h_2 - h_1 \\ \varepsilon_3, & h + h_1 - h_2 < z < h + h_1 \\ 1, & z < 0 \end{cases} \tag{7}$$

Окрім перерахованих умов, функція Гріна повинна задовольняти умовам сполучення на межі розділу середовищ.

Тоді, використовуючи результати, отримані в [14], можна показати, що рішення рівняння (1) задовольняє наступному інтегральному рівнянню:

$$\begin{aligned} U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2}{4\pi D} \int (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) r_0 dr_0 dz_0, \\ n = 1, 2, 3, k_n = \frac{\omega_n}{c}. \end{aligned} \tag{8}$$

Тут $E_n e^{-ikz}$ – збудливе поле (див. 3), ε_4 – діелектрична проникність середовища, яке заповнює циліндр, що моделює БАТ, ε_2 – діелектрична проникність шару, що моделює кровеносні і лімфатичні судини, $G_n(r, z, r_0, z_0)$ функція Гріна плоскошарової діелектричної структури при значенні хвилевого числа $k = k_n$. У рівнянні (8) точка (r, z) належить області D .

Визначивши $U_n(r, z), n = 1, 2, 3$ з рівняння (8), шукане поле збуджуване у БАТ радіоімпульсним випромінюванням можна представити у вигляді:

$$E_\varphi = \text{Re}(U_1 e^{i\omega_1 t} + U_2 e^{i\omega_2 t} + U_3 e^{i\omega_3 t}) \tag{9}$$

де $\omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega, \text{Re}(\dots)$ означає реальну частину комплексного числа.

Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі, що відповідає частоті заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків досить обмежитися напруженістю електричного поля усередненого за об'ємом БАТ:

$$E_{cp} = \frac{1}{\bar{V}} \int E_\varphi r dr dz d\varphi, \tag{10}$$

де \bar{V} – об'єм БАТ.

Величину \bar{V} для даної електродинамічної моделі БАТ можна розрахувати за формулою:

$$\bar{V} = \pi R^2 h. \tag{11}$$

Тоді з урахуванням (9) усереднене поле можна представити у вигляді:

$$E_{cp} = \frac{2}{R^2 h} \text{Re}(e^{i\omega_1 t} U_1^{cp} + e^{i\omega_2 t} U_2^{cp} + e^{i\omega_3 t} U_3^{cp}). \tag{12}$$

Тут:

$$U_n^{cp} = \int_{h_1}^{h+h_1} dz \int_0^R U_n r dr, \quad n = 1, 2, 3. \tag{13}$$

Наша мета полягає в обчисленні величин U_n^{cp} за допомогою рівняння (8).

Для розрахунку усередненого електричного поля, що збуджується у БАТ рівняння (8) було наведено до рівняння (14):

$$U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} dz_0 G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) \tag{14}$$

Тут:

$$G_n(r, z, r_0, z_0) = 2\pi r_0 \int_0^\infty g_2(\gamma, z, z_0) J_1(\gamma r_0) J_1(\gamma r) \gamma d\gamma \tag{15}$$

Рішення цього рівняння було побудоване за допомогою методу послідовних наближень [16].

Застосовність цього методу до рівняння (14) обґрунтовується тим, що геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі відповідній частоті заповнення радіоімпульсу ($2r \ll \lambda, h \ll \lambda$). Тому, для інтеграла в (14) виконується нерівність:

$$\left| \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) dz_0 \right| < 1, \tag{16}$$

що є достатньою умовою для застосовності методу послідовних наближень. Обмежуючись першим наближенням, було отримано вираз (17):

$$U_n(r, z) = E_n \left(e^{-ikz} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) e^{-ikz_0} dz_0 \right). \tag{17}$$

Як показали чисельні розрахунки, подальші наближення складають величину менше 5%. Тому, для практичних розрахунків досить обмежитися першим наближенням.

Формула (17) дає вираз для комплексної амплітуди напруженості електричного поля як функції змінних r, z , що змінюються в об'ємі БАТ.

Оскільки наша мета обчислення усередненого електричного поля, то проінтегруємо (17) по змінних r і z (за об'ємом БАТ). Тоді отримаємо:

$$U_n^{cp} = E_n \left(\frac{R^2 \sin(0.5kh) e^{-ik(h_1+0.5h)}}{k} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} e^{-ikz_0} \int_0^R r dr \int_{h_1}^{R+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) dz \right). \tag{18}$$

Оскільки розміри БАТ є досить малими, то інтеграли в (18) були вичислені за квадратною формулою трапецій [17].

Після ряду еквівалентних перетворень маємо:

$$E_{cp} = E_1 + E_2. \tag{19}$$

Тут:

$$E_1 = E_0 \cos \alpha t (1 + m \cos \Omega t), \tag{20}$$

$$E_2 = \frac{E_0 k^2 R^2}{12} \operatorname{Re} \left[e^{i\omega t} (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) \int_0^\infty J_1^2(x) x Q(x) dx \right], \tag{21}$$

$$Q(x) = \bar{Q}_1 + \frac{m}{2} \left[e^{i\Omega x} \left(1 + \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_2 + e^{-i\Omega x} \left(1 - \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_3 \right], \tag{22}$$

$$\bar{Q}_n = e^{-\bar{\alpha}_2 (h_1+0.5h)/R} \bar{\alpha}_2^{-1}, \quad \bar{\alpha}_2 = \sqrt{x^2 - k_n^2 R^2 \varepsilon_2}. \tag{23}$$

У (21) $\operatorname{Re}[\dots]$ означає реальну частину комплексного числа.

Формули (19) – (23) дозволяють розрахувати усереднену напруженість електричного поля як функцію параметрів радіоімпульсу: ω – частота заповнення радіоімпульсу, Ω – частота модуляції амплітуди, m – глибина модуляції, а також геометричних і матеріальних параметрів БАТ: R і h – радіус і висота циліндра (модель БАТ), ε_4 – діелектрична проникність середовища, що заповнює циліндр (білок колагену), h_1 – товщина шару, що моделює нервові волокна, ε_2 – діелектрична проникність шару, що моделює кровоносні і лімфатичні судини.

Після ряду перетворень, було отримано рівняння (24):

$$\bar{E}_{cp} = \frac{E_0 \Omega \sin \left(\frac{2\pi\omega}{\Omega} \right)}{2\pi\omega} \left[1 + \frac{m}{1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}} + \frac{k^2 R^2}{12} \left(\frac{\kappa^2 R^2 \varepsilon_2}{2\delta} \left(1 + \frac{m}{2} \left(1 + \frac{\Omega^2}{\omega^2} \right) \right) - \frac{2\kappa R \sqrt{\varepsilon_2}}{\pi} (1+m) + \frac{2\delta}{\pi} \left(1 + \frac{m}{8} \right) \right) \right]. \tag{24}$$

Формула (24) є основою для дослідження залежності напруженості електричного поля у БАТ від параметрів радіоімпульсного випромінювання.

Перш ніж викладати результати чисельних експериментів, відмітимо деякі якісні властивості процесу взаємодії радіоімпульсного випромінювання з БАТ. Як випливає з (24), при значеннях параметра $\omega/\Omega = n/2, n=1,2,\dots$ величина \bar{E}_{cp} перетворюється на нуль. Крім того, в двох граничних випадках, а саме, при $\Omega \rightarrow 0$ і $\omega/\Omega \rightarrow \infty$ величина \bar{E}_{cp} прагне до нуля. Як відзначалося вище, БАТ можна розглядати як діелектричний резонатор, поміщений в плоскошарове діелектричне середовище. Тому, якщо частота заповнення радіоімпульсу ω близька до власної частоти такого резонатора, то можливе резонансне збільшення напруженості електричного поля у БАТ. Проведені чисельні розрахунки за формулою (24) підтвердили це припущення. У рамках розглянутої електродинамічної моделі БАТ були вибрані наступні геометричні і матеріальні параметри: $R = 0.1 \div 0.3$ мм, $h = 0.1 \div 0.5$ мм, $h_1 = 10^{-6}$ мм, $h_2 = 10^{-3}$ мм, $\varepsilon_1 = 10$, $\varepsilon_2 = 20$, $\varepsilon_3 = 15$, $\varepsilon_4 = 3$. Такі геометричні і матеріальні параметри є деякими середніми значеннями [18].

Радіоімпульсне випромінювання мало наступні параметри: частота заповнення

$40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$, частота модуляції $10 \leq \omega/\Omega \leq 11$, коефіцієнт глибини модуляції $0 < m < 0.2$.

На рис. 2 представлені результати розрахунків за формулою (24) залежності напруженості електричного поля нормованої по амплітуді E_0 від параметра ω/Ω для різних значень коефіцієнта глибини модуляції m . Аналіз цих результатів дозволяє зробити висновок про те, що існує співвідношення між частотою заповнення і частотою модуляції радіоімпульсу, при якому напруженість електричного поля набуває максимального значення. Так при зміні частоти заповнення в інтервалі $40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$ напруженість електричного поля досягає максимуму $\bar{E}_v/E_0 = 0.6 \div 0.7$ при цьому $\omega/\Omega = 10.26$ (рис. 2). Це значення ω/Ω практично не залежить від коефіцієнта глибини модуляції $0 \leq m \leq 0.2$.

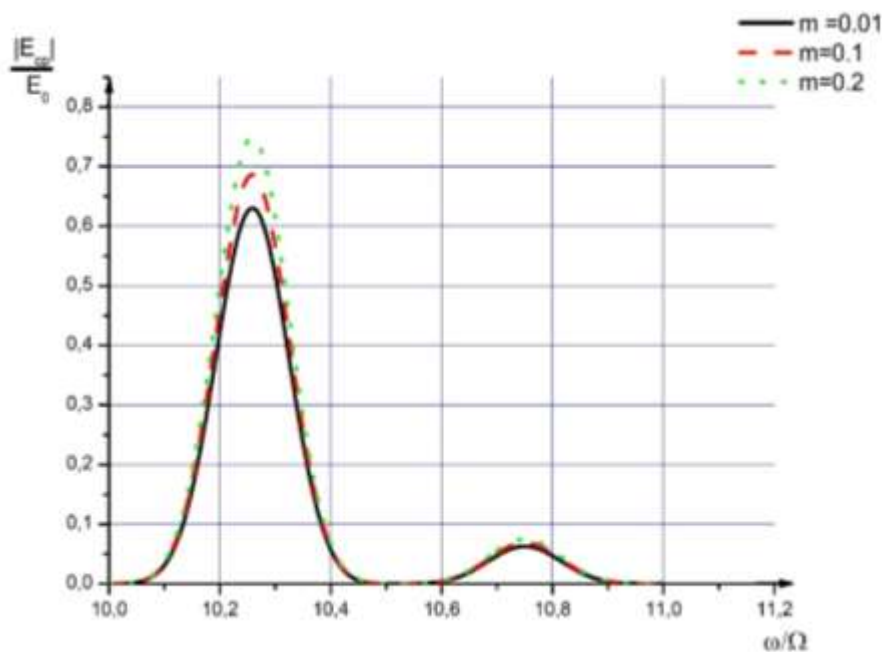


Рис. 2. Залежність нормованої напруженості електричного поля у БАТ від параметра ω/Ω при різних значеннях глибини модуляції

Висновки

Для аналізу розподілу електричної напруженості у БАТ шкірного покриття тварин слід використати модель, яка утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену).

Для аналізу розподілу інформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання у БАТ новонароджених телят слід використати рівняння (24).

Для лікування телят хворих диспепсією слід використати частоту заповнення імпульсів 45 ГГц з нормованою напруженістю електричного поля 0.65.

Література

1. Карлик А. В. Повышение сохранности новорожденных телят / А. В. Карлик, В. И. Пушкарев // Ветеринария. – 1996. – № 12. – С. 20.
2. Урван В. П. Болезни молодняка в промышленном животноводстве / В. П. Урван, Л. Найманов. – М. : Колос, 1984. – 152 с.
3. Воронцов Л. А. О профилактике и лечении желудочно-кишечных болезней телят / Л.А. Воронцов, М. Г. Гамидов // Сб. науч. тр. БСХИ. – Благовещенск, 1992. – Вып. 9. – С. 14–21.
4. Иноземцев В. П. Профилактика незаразных болезней основа сохранности животных / В.П. Иноземцев, О. В. Самсонов, Б. Г. Таллер // Ветеринария. – 2000. – № 11. – С. 9–13.
5. Манасян А. В. Активность ферментов пищеварительной системы у телят при диспепсии / С.В. Манасян, Г. Р. Петоян, А. М., Шахбазян // Ветеринария. – 2003. – № 7. – С. 39–40.
6. Девятков Н. Д. Применение низкоинтенсивных электромагнитных миллиметровых волн в медицине и биологии / Н. Д. Девятков, Ю. Л. Арзуманов, О. В. Бецкий, Н. Н. Лебедев. – М. : ИРЭ РАН, 1995. – 8 с.
7. Сасимова И. А. Обоснование биофизического действия информационных электромагнитных излучений на микробиологические объекты животноводства / И. А. Сасимова, Л. Ф. Кучин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 4/2 (34). – С. 27–29.

8. Нефедов Е. Н. Концепция единого информационного поля ноосферы Земли / Е.Н. Нефедов, А.А. Яшин // Журнал русской физической мысли. – 1995. – Т. 67. – № 1. – С. 190–198.
9. Девятков Н. Д. Роль синхронизации в воздействии слабых электромагнитных сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, А.С. Тагер // Биофизика, 1983. – Т. 28, вып. 5. – С. 895–896.
10. Эйди У. Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань / У. Р. Эйди // ТИИЭР. – 1980. – Т. 86, № 1. – С. 135–143.
11. Макаренко Б. И. Низкоинтенсивная импульсная модуляция ЭМИ СВЧ диапазона в лечении больных начальной цереброваскулярной патологией / Б.И. Макаренко, В.А. Малахов // Труды 2-й научно-практической конференции. – К., 1997. – С. 68–70.
12. Наумчева Н. Н. Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона в медицине / Н.Н. Наумчева // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 26–30.
13. Чукова Ю. П. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / Ю. П. Чукова // ММ-волны в биологии и медицине. – 1996. – № 7. – С. 5–14.
14. Дмитриев В. Н. Интегральные уравнения в краевых задачах электродинамики / Дмитриев В. Н., Захаров Е. В. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 167 с.
15. Вычислительные методы в электродинамике / под. ред. Р. Митры. – М. : Мир, 1977. – 486 с.
16. Конторович Л. В. Приближенные методы высшего анализа / Конторович Л. В., Крылов В. И. – М. : ГИФИМАТ, 1962. – 708 с.
17. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. – М. : Наука, 1970. – 720 с.
18. Мычковский Ю. Г. Радиоэлектроника биологически активных точек / Ю. Г. Мычковский // Вісник Кр Н І ім. М. Островського. – 2012. – Вып. 4. – С. 45–47.

References

1. Karlik A. V. Povyshenie sohrannosti novorozhdennyh telyat / A. V. Karlin, V. I. Pushkarev // Veterinariya. – 1996. – № 12. – С. 20.
2. Urban V. P. Bolezni molodnyaka v promyshlennom zhivotnovodstve / V. P. Urban, L. Najmanov. – М. : Kolos, 1984. – 152 s.
3. Voroncov L. A. O profilaktike i lechenii zheludочно-kishechnyh boleznej telyat / L.A. Voroncov, M. G. Gamidov // Sb. nauch. tr. BSHI. – Blagoveshensk, 1992. – Вып. 9. – С. 14–21.
4. Inozemcev V. P. Profilaktika nezaraznyh boleznej osnova sohrannosti zhivotnyh / V.P. Inozemcev, O. V. Samsonov, B. G. Taller // Veterinariya. – 2000. – № 11. – С. 9–13.
5. Manasyan A. V. Aktivnost fermentov pishvaritelnoj sistemy u telyat pri dispepsii / S.V. Manasyan, G. R. Petoyan, A. M., Shahbazyan // Veterinariya. – 2003. – № 7. – С. 39–40.
6. Devyatkov N. D. Primenenie nizkointensivnyh elektromagnitnyh millimetrovyyh voln v medicine i biologii / N. D. Devyatkov, Yu. L. Arzumanov, O. V. Beckij, N. N. Lebedev. – М. : IRE RAN, 1995. – 8 s.
7. Sasimova I. A. Obosnovanie biofizicheskogo dejstviya informacionnyh elektromagnitnyh izluchenij na mikrobiologicheskie obekty zhivotnovodstva / I. A. Sasimova, L. F. Kuchin // Vostochno-evropejskij zhurnalпередovyh tehnologij. – 2008. – № 4/2 (34). – С. 27–29.
8. Nefedov E. N. Konceptiya edinogo informacionnogo polya noosfery Zemli / E.N. Nefedov, A.A. Yashin // Zhurnal russkoj fizicheskoj mysli. – 1995. – Т. 67. – № 1. – С. 190–198.
9. Devyatkov N. D. Rol sinhronizacii v vozdeystvii slabyyh elektromagnitnyh signalov millimetrovogo diapazona voln na zhivye organizmy / N.D. Devyatkov, M.B. Golant, A.S. Tager // Biofizika, 1983. – Т. 28, вып. 5. – С. 895–896.
10. Ejdi U. R. Chastotnye i energeticheskie okna pri vozdeystvii slabyyh elektromagnitnyh polej na zhivuyu tkan / U. R. Ejdi // TIIEP. – 1980. – Т. 86, № 1. – С. 135–143.
11. Makarenko B. I. Nizkointensivnaya impulsnaya modulyaciya EMI SVCh diapazona v lechenii bolnyh nachalnoj cerebrovaskulyarnoj patologiej / B.I. Makarenko, V.A. Malahov // Trudy 2-j nauchno-prakticheskoy konferencii. – К., 1997. – С. 68–70.
12. Naumcheva N. N. Primenenie elektromagnitnyh voln millimetrovogo diapazona v medicine / N.N. Naumcheva // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 26–30.
13. Chukova Yu. P. Primenenie millimetrovogo izlucheniya nizkoj intensivnosti v biologii i medicine / Yu. P. Chukova // ММ-волны в биологии и медицине. – 1996. – № 7. – С. 5–14.
14. Dmitriev V. N. Integralnye uravneniya v kraevykh zadachah elektrodinamiki / Dmitriev V. N., Zaharov E. V. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 167 с.
15. Vychislitelnye metody v elektrodinamike / pod. red. R. Mitry. – М. : Mir, 1977. – 486 s.
16. Kontorovich L. V. Priblizhennyye metody vysshego analiza / Kontorovich L. V., Krylov V. I. – М. : GIFIMAT, 1962. – 708 s.
17. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov / Korn G., Korn T. – М. : Nauka, 1970. – 720 s.
18. Mychkovskij Yu. G. Radioelektronika biologicheskii aktivnyh toček / Yu. G. Mychkovskij // Visnik Kr N I ім. М. Островського. – 2012. – Вып. 4. – С. 45–47.

Рецензія/Peer review : 22.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією