

*В.В. ГУЗЕНКО, В.В. СЕМЕНЕЦЬ, д-р техн. наук, Т.В. НОСОВА,
М.Л. ЛИСИЧЕНКО, д-р техн. наук, Н.Г. КОСУЛІНА, д-р техн. наук*

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ БІОЛОГІЧНО АКТИВНОЇ ТОЧКИ ШКІРНОГО ПОКРИВУ ТВАРИН

Постановка проблеми

Кризовий стан в тваринництві України вимагає проведення невідкладних заходів для підвищення продуктивності і збільшення поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ). Збільшення поголів'я ВРХ пов'язане зі швидким і ефективним лікуванням новонароджених телят. Економічний збиток, що завдається сільському господарству хворобами телят, складається зі зниження їх продуктивності, непродуктивних витрат на лікування, прирізання і падіж худоби. Основними інфекційними хворобами новонароджених телят є: диспепсія; паратиф; диплококова або пневмококова інфекція, на які припадає 65 – 80 % загибелі телят [1].

Для лікування диспепсії телят слід застосовувати радіоімпульсне електромагнітне випромінювання для дії на біологічно активні точки шкірного покриву тварин.

Радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для опромінення тварин здатні модифікувати імунний статус організму тварин, чинити протизапальну дію, поліпшувати мікроциркуляцію крові в тканинах [2, 3], активізувати фізіологічну і репаративну регенерацію [4, 5].

Аналіз попередніх досліджень

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 найвищі втрати телят бувають до 15-денного віку. За опублікованими 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 [6].

Нині для збереження молодняка використовують антимікробні препарати, гормони і інші хімічні препарати. Медикаментозні засоби є часто неефективними, а тривале їх застосування нерідко спричиняє важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей [7].

Результати досліджень показують, що альтернативою медикаментозним засобом для терапії хворих на диспепсію 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 цієї хвороби [8].

В основі радіоімпульсного електромагнітного впливу на біологічні об'єкти лежать резонансні явища, міра прояву яких залежить від молекулярної організації опромінюваної тварини і умов її існування.

Проте лікування диспепсії новонароджених телят може бути ефективним тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання (частота слідування імпульсів, шпаруватість, потужність, частота заповнення імпульсів, експозиція) [9].

В той же час, аналіз літературних джерел показує, що в них недостатньо вивчено питання створення моделей, здібних дати аналітичний опис процесів терапії новонароджених телят хворих на диспепсію, відсутня методологія визначення чисельних значень біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання, недостатньо досліджень зі створення антенної системи і імпульсних електромагнітних джерел з низькою величиною напруги джерел живлення.

Таким чином, дослідження і розробка радіоімпульсної електромагнітної біотехнології і електронних систем для терапії телят хворих на диспепсію є актуальним завданням в технологічному процесі збільшення поголів'я сільськогосподарських тварин.

Об'єкт, мета і завдання дослідження

Об'єктом дослідження є процес взаємодії радіоімпульсного електромагнітного випромінювання з моделлю біологічно активних точок шкірного покриву тварин.

Метою роботи є визначення моделі БАТ для електромагнітного лікування телят хворих на диспепсію.

Для досягнення мети треба вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати модель БАТ телят великої рогатої худоби.
2. На основі розробленої моделі БАТ сформулювати задачу визначення біотропних параметрів ЕМП для лікування диспепсії телят.

Основна частина

Введемо циліндричну систему координат r, φ, z з віссю z , співпадаючою з віссю циліндра і початком координат в точці O , що знаходиться на нижній межі БАТ (див. рис. 1). Розглядатимемо дію КВЧ випромінювання на БАТ, довжина хвилі якого значно перевищує геометричні розміри БАТ. Цей факт дозволяє усереднити матеріальні параметри по координаті φ . Тому, далі, припускати, що матеріальні параметри (діелектрична проникність) плоскошарової структури (модель БАТ) не залежать від координати φ .

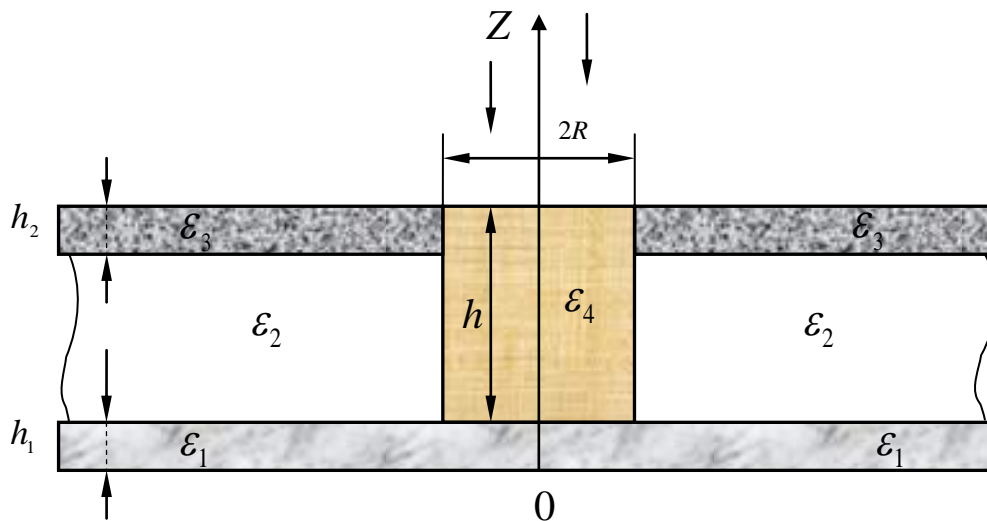


Рис. 1. Електродинамічна модель БАТ

Геометричні характеристики і матеріальні параметри БАТ показано 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; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, і ε_4 – діелектрична проникність відповідних елементів плоскошарової діелектричної структури.

Відносно електромагнітного поля, що збуджується радіоімпульсним випромінюванням, припускати наступне. Напруженості електричного і магнітного полів не залежать від координати φ , тобто електромагнітне поле є вісесиметричним і має вигляд

$$\vec{E}^b = E^b \vec{e}_\varphi, \quad \vec{H}^b = H_r^b \vec{e}_r + H_z^b \vec{e}_z, \quad (1)$$

де $\vec{e}_r, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z$ – орти циліндричної системи координат.

Таке електромагнітне поле може бути збуджене кільцевим електричним струмом, розташованим на деякій відстані L від зовнішньої поверхні БАТ. Припустимо, що цей струм збуджує гармонійне коливання з круговою частотою ω і модульоване по амплітуді з частотою модуляції Ω . Тоді компоненту E_φ^b можна представити у наступному вигляді:

$$E_\varphi^b = E_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \left(\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right). \quad (2)$$

Тут m – глибина модуляції, E_0 – амплітуда, c – швидкість світла у вакуумі. Частота модуляції Ω характеризує швидкість зміни амплітуди і для неї виконується нерівність $\Omega \ll \omega$. Частота ω лежить в КВЧ діапазоні ($\frac{\omega}{2\pi} \sim 40 \div 60$ ГГц). В результаті взаємодії електромагнітного поля (1), (2) з БАТ виникає електромагнітне поле з такою ж поляризацією, як і збуджуване поле. Це поле повинне задовольняти рівнянням Максвелла:

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (4)$$

Крім того, тангенціальні компоненти напруженості електричного і магнітного полів мають бути безперервні на межах розділу середовищ. Вектори індукції \vec{D} і \vec{B} виражаються через напруженості \vec{E} і \vec{H} наступними матеріальними рівняннями:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \vec{H}, \quad (5)$$

де ε – кусочно-постійна функція пов'язана з діелектричною проникністю таким чином:

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & z < 0 \quad z > h + h_1 \\ \varepsilon_1, & 0 < z < h_1 \\ \varepsilon_2, & h_1 < z < h_1 + h - h_2, \quad r > R \\ \varepsilon_3, & h_1 + h - h_2 < z < h + h_1, \quad r > R \\ \varepsilon_4, & h_1 < z < h + h_1, \quad r < R \end{cases}. \quad (6)$$

Як випливає з (2) – (4), задача про взаємодію хвиль радіоімпульсного випромінювання з БАТ є нестационарною задачею дифракції. За допомогою методу комплексних амплітуд [10] цю задачу можна звести до задачі дифракції для електромагнітних полів, залежних експоненціально від часу. Дійсно, представимо збуджене поле (2) в наступному вигляді:

$$E_\varphi^b = E_0 \text{Re} \left[e^{-ikz} \left(e^{i\omega t} + \frac{m}{2} e^{i(\Omega+\omega)t} + \frac{m}{2} e^{i(\omega-\Omega)t} \right) \right], \quad (7)$$

де Re – означає реальну частину комплексного числа, $k = \frac{\omega}{c}$.

З (7) витікає, що збуджене поле є суперпозицією трьох полів:

$$E_{\varphi}^b = E_{1\varphi}^b + E_{2\varphi}^b + E_{3\varphi}^b. \quad (8)$$

Тут

$$\begin{aligned} E_{1\varphi}^b &= E_0 \operatorname{Re}(e^{i\omega t} e^{-ikz}), & E_{2\varphi}^b &= 0.5mE_0 \operatorname{Re}(e^{i(\Omega+\omega)t} e^{-ikz}), \\ E_{3\varphi}^b &= 0.5mE_0 \operatorname{Re}(e^{i(\omega-\Omega)t} e^{-ikz}) \end{aligned} \quad (9)$$

В силу принципу суперпозиції рішення початкової задачі може бути отримане як суперпозиція рішень трьох задач з полями збудження (9). Тоді, використовуючи метод комплексних амплітуд достатньо вирішити три задачі дифракції з полями збудження:

$$\bar{E}_{n\varphi}^b = E_n e^{-ikz} e^{i\omega_n t}, \quad n=1,2,3., \quad (10)$$

де $E_1 = E_0, E_2 = E_3 = \frac{E_0 m}{2}, \omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega$.

Сформулюємо ці задачі дифракції. Введемо позначення:

$$\bar{E}_{n\varphi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n=1,2,3., \quad (11)$$

де U_n – означає комплексну амплітуду, яка виникає при дії збудженого поля $\bar{E}_{n\varphi}^b$ на БАТ (див. (10)).

Далі, представляючи рівняння (3) і (4) в координатній формі в циліндричній системі координат, після ряду перетворень маємо:

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_n}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_n}{\partial z^2} + \left(k_n^2 \varepsilon - \frac{1}{r^2} \right) U_n = 0, \quad (12)$$

$$\bar{H}_{nr} = -\frac{i}{k_n} \frac{\partial U_n}{\partial z} e^{i\omega_n t}, \quad \bar{H}_{nz} = -\frac{i}{k_n r} \frac{\partial(rU_n)}{\partial r} e^{i\omega_n t}, \quad (13)$$

$$\bar{E}_{n\varphi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n=1,2,3.$$

де $k_n = \frac{\omega_n}{c}, \bar{H}_{nr}, \bar{H}_{nz}$ – компоненти напруженості магнітного поля, а кусочно-постійна функція ε визначається по формулі (6).

Можна показати, що крайові умови для функції U_n полягають у безперервності самої функції і її нормальної похідної на межах розділу середовищ.

Таким чином, початкова нестационарна задача дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ зведена до трьох задач дифракції (12), (13) і (10).

Як впливає з (12), (13), ці задачі відрізняються тільки хвильовими числами $k_n = \frac{\omega_n}{c}, n=1,2,3$. Ця обставина дозволяє будувати рішення однієї з цих задач, а для інших досить замінити відповідні хвильові числа.

Висновки

1. Для аналізу взаємодії радіоімпульсного випромінювання з БАТ шкірного покриву телят слід використати модель у вигляді плоскошарової діелектричної структури.

2. При визначенні біотропних параметрів ЕМП для лікування диспепсії телят слід використати замість нестационарної задачі дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ три задачі дифракції, використовуючи метод комплексних амплітуд.

Список літератури:

1. Урван В. П. Болезни молодняка в промышленном животноводстве / В. П. Урван, Л. Найманов. Москва : Колос, 1984. 152 с.
2. Kovalova A. Microcirculation evaluation capabilities using capillaroscopy / A. Kovalova, O. Avrunin // Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education" (November 27-29, 2019) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. P. 665 – 669.
3. Ковальова А.А. Можливості оцінки мікроциркуляції за допомогою капіляроскопії / А. А. Ковальова, О.Г. Аврунін // Матеріали І Міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПРН-2019. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 49 – 50.
4. Kovalova A.A. Microcirculation evaluation capabilities using capillaroscopy / A.A. Kovalova, O.G. Avrunin // Тези доп. VIII між нар. наук.-практ. інтернет-конф. Сучасний рух науки. Дніпро, 2019. Т.2. С. 117 – 121.
5. Aleksandr D. Cherenkov Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals / Aleksandr D. Cherenkov, Natalija G. Kosulina and Aleksandr V. Sapruca // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences – November – December – 2015. RJPBCS 6 (6). P. 1686 – 1694.
6. 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.
7. Александров И. Д. Технология получения выращивания здоровых телят / И. Д. Александров, И. В. Нестеренко, Г. А. Лоншаков. Благовещенск : РИО Амурпрополиграфиз – дат, 1984. 29 с.
8. Е. Л. Мачерет. Рефлексотерапия / Е. Л. Мачерет, И. З. Самосюк, В. П. Лесенюк. Київ : Здоров'я, 1989. 232с.
9. A. Cherehkov. Analysis of the electromagnetic field of multilayered biological objects for their irradiation in a waveguide system / A. Cherenkov, N. Kosulina, V. Popriadukhin, I. Popova, M. Chorna // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. №6/5(90). P. 58 – 65.
10. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва : Наука, 1978. 544 с.

*Харківський національний
університет радіоелектроніки;
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка*

Надійшла до редколегії 17.03.2020