

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЕ СВИНОМАТКИ, ПОРАЖЕННОЙ ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Михайлова Л. Н.<sup>1</sup>, Черенков А. Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Подольский государственный аграрно-технический университет,

<sup>2</sup> Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

*Решена электродинамическая задача по распределению электромагнитного поля в молочной железе свиноматки с целью лечения мастита.*

**Постановка проблемы.** В сельскохозяйственном производстве Украины свиноводство является одной из важнейших отраслей животноводства. Причем производство ее неуклонно возрастает. Однако несоблюдение условий полноценного кормления и соответствующей технологии содержания приводит к заболеванию и гибели большого количества поросят, особенно в первые 3 дня их жизни, и гибель может составлять от 10 до 20 % [1].

**Анализ последних исследований и достижений.** Основными незаразными болезнями организмов размножения и молочной железы у свиней является метрит-мастит-агалактия (ММА). У свиней воспаление молочной железы в большинстве случаев протекает в субклинической форме, которой поражается до 45...60 %, а в отдельных случаях до 70...80 % функционирующих долей молочной железы свиноматок [2]. В настоящее время для лечения мастита свиней применяют в основном антибиотики, которые не всегда приводят к выздоровлению животных и, кроме того, с мясом животных попадают в организм человека [3]. Поэтому разработка немедикаментозных способов лечения мастита свиноматок является актуальной задачей. Решение данной задачи возможно на основе применения электромагнитного излучения.

**Цель статьи.** Определение амплитуды электрического поля в молочной железе свиноматки при мастите для эффективного поражения патогенных микроорганизмов.

**Основные материалы исследования.** Решение задачи о распределении электромагнитного поля в молочной железе свиноматок, представленной в виде двухслойного диэлектрического кругового цилиндра, связано с решением уравнений Максвелла в полярной системе координат.

Представим уравнения Максвелла в этой системе координат и учтем, что ось  $X$  совпадает с осью цилиндра. Тогда будем иметь:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial E_x^\circ}{\partial \varphi} = i k_0 H_r^\circ, \quad \frac{\partial E_x^\circ}{\partial r} = -i k_0 H_\varphi^\circ, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r H_\varphi^\circ \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r^\circ}{\partial \varphi} = -i k_0 \varepsilon E_x^\circ,$$

где  $H_r^\circ, H_\varphi^\circ, E_x^\circ$  – дифракционные компоненты магнитного и электрического поля в полярной системе координат;

$k_0 = \omega / C$  – волновое число;

$C$  – скорость света.

Из выражения (1) получаем, что компонента электрического поля удовлетворяет уравнению Гельмгольца:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial E_x^\circ}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_x^\circ}{\partial \varphi^2} + k_0^2 \varepsilon E_x^\circ = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) было получено методом частичных областей и методом разделения переменных. В результате решения уравнения (2) напряженность электрического поля в области участка молочной железы, пораженной маститом, представлено в виде:

$$E_x^\circ = \hat{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-i)^n \frac{c_{2n} d_{1n} - c_{1n} d_{2n}}{b_{1n} c_{2n} - d_{2n} b_{2n}} \times \\ \times \left( b_{1n} J_n(k_4 r) + b_{2n} H_n^{(1)}(k_4 r) \right) e^{in\varphi}, \quad (3)$$

где

$$\hat{T} = -0,5i\pi k_0 \sqrt{\varepsilon_4} b e^{ik_0 \sqrt{\varepsilon_3} h_3} T,$$

$$T = \frac{2A}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cos \gamma_+ + \sqrt{\varepsilon_3} \cos \gamma_- + i \sqrt{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2} \sin \gamma_- - i \sqrt{\varepsilon_2} \sin \gamma_+}},$$

$$\gamma_\pm = k_0 \left[ h_1 \left( \sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_2} \pm \sqrt{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{\varepsilon_3} h_2 \right],$$

$$d_{1n} = H_n^{(1)'}(k_4 b) J_n(k_3 b) - \frac{k_3}{k_4} H_n^{(1)'}(k_4 b) J_n'(k_3 b),$$

$$d_{2n} = H_n^{(1)'}(k_4 b) H_n^{(1)}(k_3 b) - \frac{k_3}{k_4} H_n^{(1)}(k_4 b) H_n^{(1)'}(k_3 b),$$

$$c_{1n} = \frac{k_3}{k_4} J_n(k_4 b) J_n'(k_3 b) - J_n'(k_4 b) J_n(k_3 b),$$

$$c_{2n} = \frac{k_3}{k_4} J_n(k_4 b) H_n^{(1)'}(k_3 b) - J_n'(k_4 b) H_n^{(1)}(k_3 b).$$

$$b_{1n} = J_n(k_5 a) H_n^{(1)'}(k_4 a) - \frac{k_5}{k_4} J_n'(k_5 a) H_n^{(1)}(k_4 a),$$

$$b_{2n} = \frac{k_5}{k_4} J_n(k_4 a) J_n'(k_5 a) - J_n'(k_4 a) J_n(k_5 a).$$

$H_n$  и  $J_n$  – функции Ханкеля и Бесселя.

Для определения биотропных параметров ЭМП, приводящих к уничтожению патогенных микроорганизмов в молочной железе, было получено среднее значение напряженности электрического поля в области железы с патогенными микроорганизмами.

$$E_{cp} = \frac{i 8 a e^{i k_3 h_3} T J_0(k_5 a)}{(a+b) \pi^2 k_0 b} \cdot \left[ \sqrt{\varepsilon_3} H_0^{(1)}(k_3 a) J_1(k_5 a) - \sqrt{\varepsilon_3} H_1^{(1)}(k_3 a) J_0(k_5 a) \right], \quad (4)$$

где

$$T = \frac{A}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \cos \gamma_+ + \sqrt{\varepsilon_3} \cos \gamma_- + i \sqrt{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2}} \sin \gamma_- - i \sqrt{\varepsilon_2} \sin \gamma_+},$$

$$\gamma_{\pm} = k_0 \left[ h_1 \left( \sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_2} \pm \sqrt{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{\varepsilon_3} h_2 \right],$$

где  $A$  – амплитуда возбуждающей волны,

$\varepsilon_1$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя шерсти,

$\varepsilon_2$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя кожи,

$\varepsilon_3$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя мяса,

$\varepsilon_4 = \varepsilon_5$  – относительная диэлектрическая проницаемость молочной железы,

$h_1$  – толщина слоя шерсти,

$h_2$  – толщина слоя кожи,

$h_3$  – расстояния от нижней границы слоя кожи до молочной железы,

$b$  – радиус цилиндра моделирующего молочную железу,

$a$  – радиус цилиндра, моделирующего слой молочной железы, не подвергнувшейся поражению маститом.

$$k_3 = k_0 \sqrt{\varepsilon_3}, \quad k_5 = k_0 \sqrt{\varepsilon_5}, \quad k_0 = 2\pi f / c,$$

$f$  – частота возбуждающей волны.

На основании уравнения (4) были проведены численные расчеты среднего значения электрического поля нормированного на амплитуду возбуждающей волны. Исследовалась зависимость этой величины  $|E_{cp}/A|$  от частоты  $f$  возбуждающей волны. Расчеты проводились при следующих значениях электродинамических и геометрических параметров молочной железы:  $h_1 = 0,5$  мм – толщина слоя шерсти;  $h_2 = 0,5$  мм – толщина слоя кожи;  $h_3 = 10$  мм – толщина слоя мяса;  $b = 2,1$  мм – радиус цилиндра, моделирующего молочную железу;  $a = 2$  мм – радиус цилиндра, моделирующего непораженный маститом слой молочной железы;  $\varepsilon_1 = 4,63 \dots 5,36$  – относительная

диэлектрическая проницаемость слоя шерсти;  $\varepsilon_2 = 5,9 \dots 7,9$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя кожи;  $\varepsilon_3 = 46,5 \dots 47,3$  – относительная диэлектрическая проницаемость слоя мяса;  $\varepsilon_4 = \varepsilon_5 = 4,2 \dots 4,5$  – относительная диэлектрическая проницаемость молочной железы (слой жира считался радиопрозрачным [4]). Частота возбуждающей волны изменялась в диапазоне  $120 \text{ ГГц} \leq f \leq 150 \text{ ГГц}$ .

**Выводы.** Анализ расчетов позволил установить, что зависимость амплитуды электрического поля является резонансной. При указанных выше электродинамических и геометрических параметрах максимальное значение среднего электрического поля достигается на частоте  $f_{рез} = 142,8$  ГГц и составляет  $|E_{cp}/A| = 0,7$ . При частотах больших резонансной частоте  $f > f_{рез}$  значение среднего поля резко уменьшается  $|E_{cp}/A| \cong 10^{-3}$ .

#### Список использованных источников

1. Yelnz S. Organisation der Reproduktion Landwirtschaftlicher Nutztierbestände / S. Yelnz, S. Ligner, V. Lescht U.f Veb Deutcher Landwirtschaftsveriag. – Berlin. – 1983.

2. Диагностика, терапия и профилактика болезней органов размножения и молочной железы у свиней / Методические рекомендации. – М.: Инфармагротс, 1998. – 21 с.

3. Комплексная экологически безопасная система защиты здоровья животных. – М.: ФГНУ "Росинфармагротех", 2000. – 300 с.

4. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений / Э. Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.

#### Анотація

#### ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В МОЛОЧНІЙ ЗАЛОЗІ СВИНОМАТКИ, УРАЖЕНОЇ ПАТОГЕННИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Михайлова Л. Н., Черенков О. Д.

*Розв'язана електродинамічна задача з розподілу електромагнітного поля в молочній залозі свиноматки з метою лікування маститу.*

#### Abstract

#### DETERMINATION OF AMPLITUDE OF ELECTRIC FIELD IN SUCKLING GLAND OF THE SOW STAGGERED BY PATHOGENIC MICROORGANISMS

L. Mihailova, A. Cherenkov

*Electrodynamic task on distribution of the electromagnetic field in the suckling gland of sow with the purpose of treatment of mastitis was solved.*