

П.В. ПОТАПСКИЙ, ассистент, ПГАТУ, Каменец-Подольск
И.А. САСИМОВА, канд. техн. наук, преподаватель, колледж
ППП, ХНТУСГ им. П. Василенко, Харьков
Н.Г. КОСУЛИНА, д-р техн. наук, проф. ХНТУСГ им. П. Василенко, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, РАССЕЯННЫХ МИКРООРГАНИЗМАМИ В ШЕРСТИ

Розглядається визначення розсіяння електромагнітного поля на мікроорганізми, які мають багаточасову структуру

Рассматривается определение рассеяния электромагнитного поля на микроорганизмы, которые имеют многослойную структуру

Введение. Основной задачей при классировке и обработке шерсти является ее дезинфекция и подогрев с максимальным сохранением природных свойств шерсти [1]. Стриженная овечья шерсть, содержащая в себе жиропот, испражнения животных, растительные и механические загрязнения, которые являются средой для существования и развития многих микроорганизмов. Установлено, что в 1г шерсти содержится от 400 до 700 миллионов бактерий, что нередко приводит к заражению рабочих при обработке шерсти.

Анализ показал, что для обеззараживания шерсти в настоящее время применяют только химические дезинфицирующие препараты. Применение химических препаратов для дезинфекции шерсти связано со значительными затратами труда, времени, влиянием их на качество волокна и экологию внешней среды [2].

Поэтому вместо химических препаратов следует использовать электромагнитную энергию миллиметрового диапазона длин волн. Однако применение электромагнитной технологии для обеззараживания шерсти невозможно как без теоретических, так электромагнитных полей на жизнедеятельность микроорганизмов. По данным литературных источников [3, 4] электромагнитная энергия нашла применение для сушки материалов, дезинфекции зерна, уничтожения вредителей насекомых, обработки комбикормов, стерилизации тары, инструмента лекарственных растений. Однако результаты этих работ не могут быть использованы для дезинфекции шерсти в кипах при ее обработке.

Цель, задачи исследований. Целью настоящей статьи является проведение теоретического анализа процесса взаимодействия электромагнитной энергии с микроорганизмами в шерсти, которые имеют многослойную структуру.

Поле в ближней зоне. Электромагнитное поле, рассеянное на биологических объектах малых размеров, может быть определено с помощью электрического потенциала Герца [5]. Рассмотрим распределение поля в ближней зоне. Очевидно, в этой зоне будет выполняться соотношение $\frac{l}{\lambda} \ll 1$. Поэтому разложим электрический потенциал

Герца по малому параметру:

$$\Pi^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) = \Pi_{(0)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + (ik)\Pi_{(1)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + (ik^2)\Pi_{(2)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + \dots \quad (1)$$

Тогда воспользовавшись уравнением Максвелла в интегральной форме, будем иметь [6]

$$\begin{aligned} \Pi_{(0)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + (ik)\Pi_{(1)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + (ik^2)\Pi_{(2)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) + \dots = \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \left[E^{(0)}(\mathbf{r}') + \right. \\ \left. + (ik)E^{(1)}(\mathbf{r}') + (ik^2)E^{(2)}(\mathbf{r}') + \dots \right] \left[\frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - ik - \frac{k^2}{2}|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| + \dots \right] d\mathbf{r}'. \quad (2) \end{aligned}$$

Данное равенство будет справедливо, если приравнять между собой коэффициенты при одинаковых степенях (ik) , что дает:

$$\begin{aligned} \Pi_{(0)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \frac{E^{(0)}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d\mathbf{r}'; \\ \Pi_{(1)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \left[\frac{E^{(1)}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - E^{(0)}(\mathbf{r}') \right] d\mathbf{r}'; \\ \Pi_{(2)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) &= \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \left[\frac{E^{(2)}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - E^{(1)}(\mathbf{r}') + \frac{E^{(0)}(\mathbf{r}')}{2}|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| \right] d\mathbf{r}'. \end{aligned} \quad (3)$$

Определим нулевое приближение, воспользовавшись результатами работы [6]

$$\Pi_{(0)}^{\mathbf{r}}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) E^{(0)} \int_V \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}, \quad (4)$$

где

$$A = \begin{vmatrix} \frac{\varepsilon + 7\varepsilon_0}{9\varepsilon_0} & -\frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} & -\frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} \\ \frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} & \frac{\varepsilon + 7\varepsilon_0}{9\varepsilon_0} & -\frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} \\ \frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} & -\frac{2\varepsilon}{9\varepsilon_0} & \frac{\varepsilon + 7\varepsilon_0}{9\varepsilon_0} \end{vmatrix};$$

$$\Delta = 4 \frac{3\varepsilon + 2\varepsilon_0}{27\varepsilon_0}.$$

В данном выражении интеграл определяет ньютоновский потенциал эллипсоида для внешних точек [7]:

$$\int_V \frac{d\mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = W'(\mathbf{r}); \quad (5)$$

$$W'(\mathbf{r}) = \pi abc \int_t^\infty \left(1 - \frac{x^2}{a^2 + s} - \frac{y^2}{b^2 + s} - \frac{z^2}{c^2 + s} \right) R(s) ds, \quad (6)$$

где t – наибольший корень уравнения:

$$\frac{x^2}{a^2 + t} + \frac{y^2}{b^2 + t} + \frac{z^2}{c^2 + t} - 1 = 0. \quad (7)$$

Для произвольного эллипсоида определение t связано с решением задачи об исследовании функции трех переменных x, y, z на экстремум.

Значительно проще эта задача выглядит в том случае, когда рассеивателем является шар. Действительно, в этом случае (7) принимает вид:

$$\frac{x^2}{R^2 + t} + \frac{y^2}{R^2 + t} + \frac{z^2}{R^2 + t} - 1 = 0. \quad (8)$$

Учитывая, что x, y, z – координаты точек, лежащих на поверхности шара, и переходя к сферическим координатам:

$$x = R \cos \varphi \sin \theta; \quad y = R \sin \varphi \sin \theta; \quad z = R \cos \theta. \quad (9)$$

Преобразуем (9):

$$R^2 = R^2 + t. \quad (10)$$

Отсюда следует, что $t=0$.

Таким образом, значение ньютоновского потенциала (6) для шара определяется вычислением интеграла:

$$W'(\mathbf{r}) = \pi R^3 \int_t^\infty \left(1 - \frac{x^2 + y^2 + z^2}{R^2 + s} \right) R(s) ds = \pi R^3 \left(2 \frac{3R^2 - x^2 - y^2 - z^2}{3R^2} \right) = \frac{2\pi}{3} (3R^2 - x^2 - y^2 - z^2), \quad (11)$$

где x, y, z – координаты точек, в которых определяется потенциал по отношению к центру шара.

С учетом выражений (4) и (6) рассеянные поля в ближней зоне, в нулевом приближении, будут иметь вид:

$$\mathbf{E}^{(0)}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}^{(0)} + \hat{P} \frac{A}{4\pi\Delta} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \mathbf{E}^{(0)} W'(\mathbf{r}); \quad (12)$$

$$\mathbf{H}^{(0)}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}^{(0)} + i\omega\varepsilon_0 \hat{Q} \frac{A}{4\pi\Delta} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \mathbf{E}^{(0)} W'(\mathbf{r}),$$

где \hat{P} и \hat{Q} – дифференциальные операторы, равные:

$$\hat{P} = \left\| \begin{array}{ccc} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + k^2 & \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k^2 & \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} & \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} & \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \end{array} \right\|; \quad (13)$$

$$\hat{Q} = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & -\frac{\partial}{\partial x} \\ -\frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \end{array} \right\|. \quad (14)$$

Так как \hat{P} и \hat{Q} действующей на координаты вектора \mathbf{r} , (12) можно записать в несколько иной форме:

$$\mathbf{E}^{(0)}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}^{(0)} + \frac{A}{4\pi\Delta} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \hat{P} \mathbf{E}_0^{(0)} W'(\mathbf{r}); \quad (15)$$

$$\mathbf{H}^{(0)}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}^{(0)} + \omega\varepsilon_0 \frac{A}{4\pi\Delta} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 \right) \hat{Q} \mathbf{E}_0^{(0)} W'(\mathbf{r}).$$

Вывод. Получены уравнения, которые позволяют определить внешние по отношению к биообъекту поля в его ближней зоне.

Список литературы: 1. *Рогачев Н.В.* Некоторые вопросы первичной обработки шерсти. – М.: Легкая промышленность, 1980. – 184 с. 2. *Красильщиков М.И.* Гигиена труда в легкой промышленности / М.И. Красильщиков, И.П. Филатов, Д.Э. Шупакиев. – М.: Легкая промышленность, 1980. – 183 с. 3. *Гордійчук І.Й.* *Свергун Ю.Ф.* Використання електромагнітного поля НВЧ діапазону при переробній обробці вовни в процесі миття // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2000. – Вип. 3. – С. 99-203. 4. Мікрохвильові технології в народному господарстві. Втілення. Проблеми. Перспективи. Вип. 2 – 3. Ред. Склад МАЇ. Калінін Л.І. – Одеса, Київ: ТЕС, 2000. – 192 с. 5. *Стрэттон Д.А.* Теория электромагнетизма / Д.А. Стрэттон. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 860 с. 6. *Потапский П.В.* Анализ взаимодействия электромагнитных полей с патогенными микроорганизмами в шерсти / П.В. Потапский. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2009. – Вип. 86. – С. 115-119. 7. *Сретенский Л.И.* Теория ньютоновского потенциала / Л.И. Сретенский. – М.: Гостехиздат. 1946. – 216 с.

Поступила в редколлегию 22.03.2010