

УДК 5773

*Отримано інтегральне рівняння для розрахунків електромагнітного поля усередині біологічних об'єктів*

*Ключові слова: комахи, сад, електромагнітне поле*

*Получено интегральное уравнение для расчетов электромагнитного поля внутри биологических объектов*

*Ключевые слова: насекомые, сад, электромагнитное поле*

*Integral equalization for the calculations of the electromagnetic field into biological objects obtained*

*Keywords: insects, garden, electromagnetic field*

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ НАСЕКОМЫХ- ВРЕДИТЕЛЕЙ УРОЖАЯ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

**Н. Г. Косулина**

Доктор технических наук, профессор  
Кафедра технотроники и теоретической электротехники  
Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенка  
ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина  
Контактный тел.: (057) 712-42-32

**В. Н. Дубик**

Инженер  
Подольский государственный аграрно-технический  
университет  
ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая  
область, Украина  
Контактный тел.: 067-286-22-94

## Постановка проблемы

В полноценном пищевом рационе человека важное место занимают фрукты. Поэтому садоводство занимает важное место среди отраслей сельского хозяйства Украины.

В связи с развитием интенсивного садоводства возрастают требования и к защите растений от вредителей и болезней [1]. В настоящее время в садах Украины для уничтожения вредных насекомых применяют, в основном, только химические средства, которым присущи существенные недостатки: обеднение биоценозов, появление устойчивых к пестицидам вредителей, накопление в плодах остаточного количества химических препаратов. Научные исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу может быть электрофизический, с применением мобильных агрегатов для уничтожения насекомых-вредителей.

Эффективность мобильных агрегатов может быть осуществлена с применением в поражающем устройстве импульсного электрического поля. В тоже время отсутствие теоретических методов анализа взаимодействия импульсных ЭМП с насекомыми затрудняет создание эффективных мобильных электрофизических установок для уничтожения насекомых-вредителей урожая плодовых культур.

## Цель и задачи исследований

Цель настоящей статьи является проведение теоретического анализа процесса взаимодействия импульсного электромагнитного излучения с летающими насекомыми-вредителями в садах с получением интегрального уравнения для расчетов распределения электромагнитного поля внутри биологического объекта.

В качестве модели, летающее насекомое представим цилиндром с размером  $R$  и высотой  $H$ , который заполнен однородной изотропной средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$  и магнитной проницаемостью  $\mu_0$ . Этот цилиндр находится в однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_2$  и магнитной проницаемостью  $\mu_0$ .

В качестве источника электромагнитных импульсов выбрана плотность электрического тока, локализованная в среде окружающей биологический объект и имеющая вид

$$\vec{j}(p, p_0, t) = A(t) \delta(p - p_0) \vec{e}. \quad (1)$$

Здесь  $p$  и  $p_0$  – соответственно точка наблюдения, и точка локализации источника,  $\delta(p - p_0)$  – дельта функция Дирака,  $\vec{e}$  – единичный вектор,  $A(t)$

–амплитуда плотности тока зависящая от времени по закону

$$A(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n e^{i \frac{2\pi n}{T} t}, \quad (2)$$

где  $T$  – период повторения импульсов, а коэффициенты  $A_n$  зависят от формы и длительности импульса. В дальнейшем будем рассматривать случай видеоимпульсов прямоугольной формы. Тогда для коэффициентов  $A_n$  легко получить следующее представление [2]:

$$A_0 = \frac{U\tau}{T}, \quad A_n = \frac{U e^{-i\frac{\pi n \tau}{T}} \sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right)}{n\pi}, \quad (3)$$

где  $U$  и  $\tau$  соответственно амплитуда и длительность импульса.

Таким образом для заданного источника (1), (2) электромагнитных импульсов требуется определить электромагнитное поле как внутри биологического объекта, так и во внешнем пространстве.

Эти поля должны удовлетворять системе уравнений Максвелла.

Действительно, представим искомые электромагнитные поля внутри и вне биологического объекта в виде рядов Фурье типа (2):

$$\vec{E}_1 = \sum \vec{E}_{1n} e^{i \frac{2\pi}{T} n t}, \quad \vec{H}_1 = \sum \vec{H}_{1n} e^{i \frac{2\pi}{T} n t}, \quad (4)$$

$$\vec{E}_2 = \sum \vec{E}_{2n} e^{i \frac{2\pi}{T} n t}, \quad \vec{H}_2 = \sum \vec{H}_{2n} e^{i \frac{2\pi}{T} n t}, \quad (5)$$

где коэффициенты  $\vec{E}_{1n}, \vec{H}_{1n}, \vec{E}_{2n}, \vec{H}_{2n}$  не зависят от времени.

Подставляя (4), (5) в уравнения Максвелла и используя теорему единственности для рядов Фурье [3], получаем:

$$\text{rot } \vec{H}_n = i k_n \epsilon_{2r} \vec{E}_n + \vec{j}_n; \quad (6)$$

$$\text{rot } \vec{E}_n = -i k_n \vec{H}_n; \quad (7)$$

$$\text{где } \vec{E}_n = \begin{cases} \vec{E}_{1n}, & p \in Q; \\ \vec{E}_{2n}, & p \notin Q; \end{cases} \quad (8)$$

$$\vec{H}_n = \begin{cases} \vec{H}_{1n}, & p \in Q; \\ \vec{H}_{2n}, & p \notin Q; \end{cases} \quad (9)$$

$$\vec{j}_n = \begin{cases} i k_n (\bar{\epsilon}_{1r} - \epsilon_{2r}) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \vec{E}_{1n}, & p \in Q \\ A_n \delta(p - p_0), & p \notin Q \end{cases} \quad (10)$$

$k_n = \omega_n \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  – волновое число,  
 $\epsilon_{2r}$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды окружающей биологический объект.

$\bar{\epsilon}_{1r}$  – комплексная относительная диэлектрическая проницаемость биологического объекта.

$Q$  – область пространства, которую занимает биологический объект.

Решение уравнений (6), (7), удовлетворяющее условию излучения, можно представить с помощью векторной потенциальной функции  $\vec{\Pi}$  по известным формулам [4]:

$$\vec{\Pi}(p) = \int \vec{j}(q) G(|p-q|) dV_q; \quad (11)$$

$$\vec{E}_n = \frac{1}{i k_n \epsilon_{2r}} \text{grad div } \vec{\Pi} - i k_n \vec{\Pi}; \quad (12)$$

$$\vec{H}_n = \text{rot } \vec{\Pi}. \quad (13)$$

В (11) функция  $G(|p-q|)$  – функция Грина для трехмерного скалярного уравнения Гельмгольца

$$G(|p-q|) = \frac{\exp(-i k_n \sqrt{\epsilon_{2r}} |p-q|)}{4\pi |p-q|}, \quad (14)$$

где  $|p-q|$  – расстояние между точками  $p$  и  $q$ .

Подставим (11) в (12) тогда получим следующее интегральное представление для  $\vec{E}_n$ :

$$\begin{aligned} \vec{E}_n(p) = & k_n^2 (\bar{\epsilon}_{1r} - \epsilon_{2r}) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \int_Q \vec{E}_{1n}(q) G(|p-q|) dV_q + \\ & + (\bar{\epsilon}_{1r} - \epsilon_{2r}) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \text{grad div} \int_Q \vec{E}_{1n}(q) G(|p-q|) dV_q + \vec{E}_n^0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{Здесь } \vec{E}_n^0 = -i k_n \vec{\Pi}_n^0 + \frac{1}{i k_n \epsilon_{2r}} \text{grad div } \vec{\Pi}_n^0, \quad (16)$$

где  $\vec{\Pi}_n^0 = G(|p-q|) A_n \vec{e}$ ;  $\vec{E}_n^0$  является полем возбуждаемым плотностью тока  $\vec{j} = A_n \delta(p-p_0) \vec{e}$  в свободном пространстве, т.е. когда биологический объект отсутствует.

Далее, если в (15) считать, что точка  $p \in Q$ , то из (12) имеем:

$$\begin{aligned} \vec{E}_{1n}(p) = & k_n^2 (\bar{\epsilon}_{1r} - \epsilon_{2r}) \int_Q \vec{E}_{1n}(q) G(|p-q|) dV_q + \\ & + (\bar{\epsilon}_{1r} - \epsilon_{2r}) \text{grad div} \int_Q \vec{E}_{1n}(q) G(|p-q|) dV_q + \\ & + \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \vec{E}_n^0. \end{aligned} \quad (17)$$

Легко видеть, что соотношение (17) является интегродифференциальным уравнением относительно напряженности электрического поля  $\vec{E}_{1n}(p)$  внутри биологического объекта  $Q$ .

### Выводы

Полученные результаты следует использовать для определения биотропных параметров ЭМП, применение которых позволит уничтожить насекомых-вредителей урожая плодовых структур.

### Литература

1. Поспелов С. М. Защита растений / С. М. Поспелов, Н. Г. Бермин, Е. Д. Васильева – М.: Агропромиздат, 1986. – 392 с.
2. Белицкий Б. Н. Излучение действия СВЧ – поля на микроорганизмы в импульсном и непрерывном режимах / Б. Н. Белицкий, А. И. Педенко, И. В. Лерика // Биофизика. - 1982. – Т.27, вып. 5. – С.923-933.
3. Эдвардс Р. Ряды Фурье в современном изложении: в 2-х т. / Р. Эдвардс – М.:МИР. 1985. – Т1. – 264 с.
4. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны / Л. А. Вайнштейн. – М.: Радио и связь, 1988. – 345 с.