

УДК 621.3: 632.935.4

ВПЛИВ НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЛИЧИНКИ ШКІДНИКІВ

Вужицький А.В., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)42-31-59

Анотація – робота присвячена основним аспектам теоретичного дослідження взаємодії електромагнітного поля НВЧ – діапазону з тканинами комах та визначення раціональних параметрів діючого поля для знешкодження личинок шкідників.

Ключові слова – електромагнітне поле, личинка, еліпсоїд, НВЧ-енергія, електромагнітна хвиля.

Постановка проблеми. Низкою досліджень установлена висока ефективність знешкодження комах, у тому числі і личинок шкідників, за допомогою випромінювань НВЧ діапазону. Однак, у більшості випадків, як параметри діючого електромагнітного поля, так і використання, для цієї мети апаратура вибирається досить довільно, що пояснюється відсутністю суворих теоретичних досліджень механізму взаємодії зазначених полів із тканинами комах [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. До найбільш розповсюджених електрофізичних методів боротьби з личинками шкідників відносять використання електромагнітних та електростатичних полів постійного струму, змінного струму низької, високої, надвисокої та крайвисокої частоти, електромагнітних полів імпульсної генерації та полів коронного розряду.

У світовій практиці існує декілька шляхів використання електромагнітної НВЧ-енергії у технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Один з них пов'язаний із високим рівнем електромагнітної енергії, дія якої на біологічний об'єкт обумовлена тепловими ефектами. Ці методи не завжди можуть бути застосовані і потребують значну кількість енергії. Іншим підходом є вплив на личинок низькоенергетичними електромагнітними випромінюваннями НВЧ-діапазону зі спеціально сформованим спектром випромінювання. Останній можна віднести до енергозберігаючих [1, 3].

Теоретичною основою та практичною базою багатьох процесів впливу НВЧ-енергії на біологічні об'єкти є роботи Басова О.М., Боро-

діна І.Ф., Ізакова Ф.Я., Верещагіна І.П., Хандоли Ю.М., Черепньова А.С., Полевика М.Д., Єлісеєва Д.С., Вендіна С.В. та багатьох інших.

У багатьох розглянутих роботах відсутня єдина точка зору на метод та розуміння механізмів впливу електромагнітного поля на рослинні організми, недостатньо вивчається питання створення математичних моделей, спроможних дати аналітичний опис процесів, що відбуваються на клітинному рівні, немає обґрунтованого експериментального або теоретичного висновку про спектральні характеристики електромагнітного поля, що буде призводити до пригнічення та знищення біологічних об'єктів.

Формулювання мети статті. Метою даної статті є аналіз теоретичних положень моделювання розподілу електромагнітного поля НВЧ-діапазону в личинках шкідників, що призводить до пригнічення та їх загибелі.

Основна частина. Вплив зовнішнього електромагнітного поля на організм комах супроводжується нагріванням їх тканини і при достатній напруженості електричної складової може призводити до пробою в їхньому організмі і загибелі личинки.

Природно, що для досягнення зазначеного вище результату необхідно знати, яким чином електромагнітне поле розподіляється усередині організму личинки. Це потрібно для того, щоб вивчити його напруженість, частоту й інші параметри.

Для вирішення даної задачі можливе використання різноманітних підходів. Проте, на наш погляд, найбільш простим і достатньо точним методом, у даному випадку, може бути використання рівняння Максвелла в інтегро-диференційній формі [4]. Це пов'язано з тим, що низькочастотні ЕМП мають довжину хвилі, що значно перевищує лінійні розміри комах. У цьому випадку задача стає задачею квазістатистики, і внутрішні поля визначаються напруженістю електричної і магнітної складової на поверхні личинки. Крім того, даний підхід дозволяє враховувати багатошарову будову організму комах.

Приймаємо допущення, що личинка має форму тривісного еліпсоїда. У першому наближенні будемо розглядати її як двошаровий об'єкт. Перший прошарок буде її покрив, а другий – внутрішні органи. Личинка знаходиться в повітрі, що характеризується діелектричною і магнітною проникністю ϵ_0 і μ_0 . Зовнішній прошарок характеризується проникностями ϵ_1 і μ_0 , а внутрішній – ϵ_2 і μ_0 .

Використовуючи функцію Гріна, електромагнітні поля усередині личинки можна представити у вигляді системи рівнянь разом із граничними умовами на межі поділу двох середовищ [5]:

$$\begin{cases} \vec{A}(\vec{r}) = \vec{E}_o(\vec{r}) + \frac{1}{4\pi} (\text{grad div} + k^2) \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}' \\ \vec{H}(\vec{r}) = \vec{H}_o(\vec{r}) + \frac{i\omega\varepsilon_o}{4\pi} \text{rot} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}' \end{cases}, \quad (1)$$

де $f(|\vec{r} - \vec{r}'|) = \frac{e^{-ik|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$ – функція Гріна;

$\vec{E}_o(\vec{r})$ і $\vec{H}_o(\vec{r})$ – електричне та магнітне поле відповідно, які були в точці \vec{r} при відсутності біологічного розсіювача;

\vec{r}' – координати точки усередині личинки;

ε – діелектрична проникність організму личинки (тобто ε_1 або ε_2).

$k = \frac{\eta\pi}{\lambda}$; λ – довжина падаючої хвилі

Інтегралі в рівнянні (1) поширюються на весь об'єм v , який займається об'єктом, що розсіює.

Визначення рішення інтегральних рівнянь (1), що дає внутрішнє поле, можна значно спростити, якщо врахувати, що розглядаються біологічні об'єкти, лінійні розміри яких малі в порівнянні з довжиною падаючої хвилі. У цьому випадку вираз для полів усередині розсіювача, а також у ближній зоні можна розкласти по ступенях малого параметра $\frac{\alpha}{\lambda}$, де α – максимальний лінійний розмір личинки.

У випадку нульового наближення (випадок квазістатистики) маємо:

$$\begin{cases} \vec{A}^{(o)}(\vec{r}) = \vec{E}_o^{(o)}(\vec{r}) + \frac{1}{4\pi} \text{grad div} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) \vec{E}^{(o)}(\vec{r}') \left(\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|}\right) d\vec{r}' \\ \vec{H}^{(o)}(\vec{r}) = \vec{H}_o^{(o)}(\vec{r}) \end{cases} \quad (2)$$

Вільний член у рівнянні для нульового наближення є постійним вектором, обумовленим падаючим полем.

Проведені дослідження показали, що внутрішнє поле еліпсоїда однорідне, якщо таким є зовнішнє поле. Для обчислення компоненту внутрішнього поля отримана алгебраїчна система рівнянь, де номер 1 відповідає x – компоненті, 2 – y – компоненті, а 3 – z – компоненті:

$$\begin{cases} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) abc I_1 \right] E_x^{(o)} + \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_1 E_y^{(o)} + \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_1 E_z^{(o)} = E_{ox}^{(o)} \\ \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_2 E_x^{(o)} + \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) abc I_2 \right] E_y^{(o)} + \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_2 E_z^{(o)} = E_{oy}^{(o)}, \\ \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_3 E_x^{(o)} + \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} abc I_3 E_y^{(o)} + \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} - 1\right) abc I_3 \right] E_z^{(o)} = E_{oz}^{(o)} \end{cases}, \quad (3)$$

де a, b, c – розміри півосей еліпсоїда;

I_1, I_2, I_3 – інтеграли, пов'язані з геометричними характеристиками личинки.

Постійні I_1, I_2 та I_3 виражаються через еліптичний інтеграл:

$$\begin{aligned} I_1 &= 2\pi abc \int_0^\infty \frac{ds}{(a^2 + s)R(s)}; I_2 = 2\pi abc \int_0^\infty \frac{ds}{(b^2 + s)R(s)}; \\ I_3 &= 2\pi abc \int_0^\infty \frac{ds}{(c^2 + s)R(s)}; R(s) = \sqrt{(a^2 + s)(b^2 + s)(c^2 + s)} \end{aligned} \quad (4)$$

Далі лінійна система неоднорідна і має рішення, тому що її детермінант Δ відмінний від нуля.

Розгляд личинки у вигляді тривісного еліпсоїда з двома прошарками дозволяє використовувати таку модель. Падаюче поле $\vec{A}^{(i)}$ буде збуджувати у першому прошарку внутрішнє поле, що, у свою чергу, наведе поле в прошарку 2. Проте, електромагнітне поле в прошарку 2 призведе до появи хвилі, розсіяної в ближній зоні в прошарку 1. Таким чином, поле в прошарку 1 можна записати в такий спосіб

$$\vec{A} = \vec{E}_{\text{вд}}^1 + \vec{A}_{\text{вд}}^1, \quad (5)$$

у прошарку 2

$$\vec{A}^2 = \vec{E}_{\text{вд}}^2. \quad (6)$$

Тут символом *над* позначені поля, які збуджені усередині прошарку зовнішніми, стосовно них, електромагнітними хвилями, а символом *від* відзначені поля, викликані розсіюванням на внутрішньому прошарку.

У результаті отримана система з двох рівнянь:

$$\begin{cases} \vec{A}^{(i)1} = \frac{\tilde{A}_1}{\Delta_1} \vec{A}_r^{(i)} + \frac{\tilde{A}_2}{4\pi\Delta_2} \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - 1 \right) \tilde{D} \vec{A}^{(0)1} W_1' \\ \vec{E}^{(0)2} = \frac{\tilde{A}_2}{\Delta_2} \vec{E}^{(0)1} \end{cases}, \quad (7)$$

де $\vec{A}^{(i)1}$ і $\vec{A}^{(i)2}$ - підлягаючі визначенню поля;

$\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{D}, \Delta_1, \Delta_2, W_1'$ - матриці і визначники, пов'язані з електрофізичними характеристиками і лінійними розмірами личинки.

Рішення системи (7) дозволяє знайти амплітуди електричних полів у кожному прошарку і визначити їхні величини для одержання пригнічуючого чи летального ефекту.

Висновки. Наведені вище результати дозволять провести розра-

хунок внутрішніх полів в прикореневих шкідниках та інших сільсько-господарських об'єктах в формі еліпсоїда для різних конкретних випадків. Окрім того, оскільки отримані вирази приведені до відносно простого виду, доступному для опису явищ, що відбуваються в середині розсіювача, то вони можуть бути використані на науковій практиці для отримання конкретних результатів.

Література

1. *Хандола Ю.М.* Обґрунтування та реалізація електрофізичного методу знищення літаючих шкідників сільського господарства: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.09.16 / Ю.М. Хандола; ХДТУСГ. – Х., 2002. – 16 с.
2. *Вендин С.В.* СВЧ дезинсекция семян бобовых: автореф. дис... канд. техн. наук : 05.20.02 / С.В. Вендин; МГАУ. – М., 1990. – 16 с.
3. *Федоров Н.Н.* Основы электродинамики / Н.Н. Федоров. – М.: Высшая школа, 1980. – 399 с.
4. *Хижняк Н.А.* Функция Грина уравнений Максвелла для неоднородных сред / Н.А. Хижняк // ЖТФ.- 1958.- Т.28, №7.- С.1592-1609.
5. *Стрэттон Дж.А.* Теория Электромагнетизма / Дж.А. Стрэттон; пер. с англ.- М.-Л.: ОГИЗ, 1948.- 541 с.

ВЛИЯНИЕ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЛИЧИНКИ ВРЕДИТЕЛЕЙ

Вужицкий А.В.

Аннотация - работа посвящена основным аспектам теоретического исследования взаимодействия электромагнитного поля СВЧ - диапазона с тканями насекомых и определения рациональных параметров действующего поля для обезвреживания личинок вредителей.

EFFECT OF MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD ON LARVA PESTS

A.Vuzhitskiy

Summary

Work is devoted to basic aspects of theoretical studies of the interaction of microwave electromagnetic field - the range of insect tissues and determination of rational parameters of the existing disposal field for the larvae of pests.