

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ РОСЛИННОГО СЕРЕДОВИЩА КАРТОПЛІ З КОЛОРАДСЬКИМ ЖУКОМ

***I. I. Сілі, кандидат технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
e-mail: pni.energy@gmail.com***

Анотація. *Наведено розрахунок усередненого значення електричного поля електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадськими жуками.*

Ключові слова: *колорадський жук, усереднене значення електричного поля, частота радіоімпульсу, радіоімпульсна біотехнологія, надзвичайно високочастотне випромінювання (НЗВЧ)*

Наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології.

Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період проходження імпульсів та їх тривалість, експозиція), які матимуть негативну пригноблюючу дію на колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі, необхідні теоретичні та математичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних випромінювань з комахами-шкідниками картоплі. Основною характеристикою таких досліджень є розрахунок усередненого значення електричного поля.

Колорадський жук (*leptinotarsa decemlineata*) – комаха родини листоїдів, є одним з основних шкідників посівів картоплі в Європі. Комаха показує високу стійкість до отрути і швидко виробляє до них імунітет. Лише системні інсектициди не викликають звикання в жука і забезпечують можливість ефективної боротьби з ним [1,2].

Отримані експериментальні результати підтверджують наявність біологічних ефектів від впливу електромагнітних полів як на тепловому, так і на низькоенергетичному рівнях потужності. Пригнічення росту культур бактерій, зміна фагоцитарної активності, біосинтезу білків, ультраструктурні зміни в клітинах за впливу ЕМП НЗВЧ діапазону відзначено в роботах [3,4].

Електродинамічна модель рослинного середовища картоплі з колорадськими жуками, яка представлена у формі паралелепіпеда, заповненого ізотропним діелектричним середовищем з діелектричної проникністю і провідністю, та розв'язок задачі з розподілу радіоімпульсного випромінювання розглянуто в [5, 6].

Вивчення розподілу радіоімпульсного електромагнітного випромінювання в рослинному середовищі з колорадськими жуками і їх личинками дозволить визначити необхідні біотропні параметри енергоінформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для пригнічення колорадських жуків і знищення їх личинок.

Мета досліджень – отримання рівняння усередненого значення електричного поля електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадським жуком.

Матеріали та методика досліджень. Припустимо, що шар рослинного середовища знаходиться на поверхні землі. З електродинамічної точки зору шар рослинного середовища будемо вважати ізотропним діелектричним середовищем з відносною діелектричною проникністю ε та питомою провідністю σ . Введемо декартову систему координат xyz з віссю z перпендикулярною поверхні землі, як показано на рисунку. Площина $z=0$ збігається з поверхнею землі. У площині $y=0$ знаходиться джерело радіоімпульсів, а в площині $y=L$ – металевий відбивач радіоімпульсів.

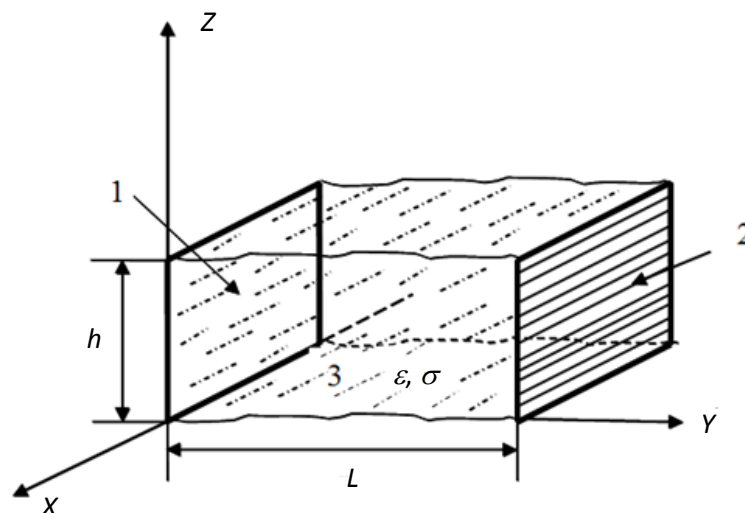


Рисунок. Електродинамічна модель рослинного середовища картоплі з колорадським жуком

Припустимо, що джерело радіоімпульсів створює нестационарне електромагнітне поле з векторами напруженості електричного і магнітного полів, що мають такі компоненти щодо декартової системи координат xyz :

$$\vec{E} = E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z, \quad \vec{H} = H_x \vec{e}_x, \quad (1)$$

де \vec{e}_x , \vec{e}_y и \vec{e}_z – одиничні вектори.

Подальші математичні розрахунки будемо проводити, виходячи з цих початкових умов та цієї електродинамічної моделі рослинного шару.

Результати досліджень. Узагальненою характеристикою процесу взаємодії кінцевого числа радіоімпульсів з рослинним шаром картоплі з

колорадським жуком є електричне поле, усереднене за обсягом опроміненої ділянки цього шару. Опромінена ділянка рослинного шару є прямокутним паралелепіпедом з розмірами $L_x \times L_y \times L_z$ вповдовж осей x, y, z , як показано на рисунку. За цих умов $L_y = L$ – відстань між апертурою випромінюваної антени і відбивачем радіоімпульсів, $L_z = h$ – висота рослинного шару.

Як встановлено в [5,6], перетворення Лапласа електричного поля можна представити в такому вигляді:

$$\bar{\bar{E}} = \bar{E}_y \bar{e}_y + \bar{E}_z \bar{e}_z, \quad (2)$$

де \bar{E}_y – зображення перетворень Лапласа функції E_y ;

\bar{E}_z – зображення перетворень Лапласа функції E_z .

Проінтегруємо за обсягом опроміненої ділянки рослинного шару. Тоді після деяких перетворень отримаємо:

$$\bar{\bar{E}}_{cp} = \frac{1}{L_x L_y L_z} \int_0^{L_x} dx \int_0^{L_y} dy \int_0^{L_z} \bar{\bar{E}} dz = \bar{E}_y^{cp} \bar{e}_y + \bar{E}_z^{cp} \bar{e}_z. \quad (3)$$

Оскільки

$$\bar{E}_y^{cp} = \frac{\bar{U}(P)\alpha}{\beta^2 L}; \quad (4)$$

$$\bar{E}_z^{cp} = \frac{\bar{U}(P)th(0,5\beta L)}{\beta L}, \quad (5)$$

отримаємо:

$$\bar{E}_y^{cp} = E_0 \frac{\omega(1 - e^{-P\tau})(1 - e^{-PT(N_2+1)})}{L(P^2 + \omega^2)(1 - e^{-PT})} \sqrt{\frac{(\varepsilon + 1) + \frac{\sigma}{\varepsilon_0 P}}{\varepsilon_0 \mu_0}}; \quad (6)$$

$$\bar{E}_z^{cp} = E_0 \frac{\omega(1 - e^{-P\tau})(1 - e^{-PT(N_2+1)})th\left(0,5LP\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 P + \sigma}{(\varepsilon + 1)\varepsilon_0 P + \sigma}}\right)}{L(P^2 + \omega^2)(1 - e^{-PT})P\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \sqrt{\frac{(\varepsilon + 1)\varepsilon_0 P + \sigma}{\varepsilon \varepsilon_0 P + \sigma}}, \quad (7)$$

де E_0 – максимальна амплітуда радіоімпульсу;

f – частота заповнення радіоімпульсів;

τ – тривалість повторюваності радіоімпульсу;

T – період повторюваності радіоімпульсу;

N_2 – кількість радіоімпульсів;

ε – відносна діелектрична проникливість;

σ – питома провідність рослинного шару.

Застосувавши перетворення, зворотне до перетворення Лапласа, отримаємо:

$$E_y^{cp}(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \bar{E}_y^{cp}(p) e^{pt} dp; \quad (8)$$

$$E_z^{cp}(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \bar{E}_z^{cp}(p) e^{pt} dp, \quad (9)$$

де a – довільне позитивне число.

Після ряду перетворень маємо:

$$E_y = \frac{1}{T} \int_0^T E_y^{cp}(t) dt = \frac{E_0 \omega}{\pi L \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \int_0^{\sigma/\varepsilon_0(\varepsilon+1)} \frac{(1 - e^{p\tau})(e^{-pT} - e^{pTN_2}) \sqrt{p(\sigma/\varepsilon_0 - p(\varepsilon+1))}}{p^3(p^2 + \omega^2)} dp. \quad (10)$$

Формула (10) є основою для розрахунку компоненти E_y , усередненої за обсягом опроміненої ділянки рослинного шару і за період повторюваності радіоімпульсів.

Розглянемо тепер компоненту $\bar{E}_z^{cp}(p)$. Ця функція є аналітичною всюди, крім розрізу ($\text{Re } p \leq 0, \text{Im } p = 0$), елементи якого є простими полюсами функції $\bar{E}_z^{cp}(p)$:

$$E_z^{cp}(t) = \frac{2}{\pi^2} \text{Re} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\bar{U}(p_n^+) e^{p_n^+ t}}{(2n+1)^2 \left[\frac{\sigma \varepsilon_0}{2((\varepsilon+1)\varepsilon_0 p_n^+ + \sigma)(\varepsilon \varepsilon_0 p_n^+ + \sigma)} - \frac{1}{p_n^+} \right]} \right], \quad (11)$$

де $\text{Re}(\dots)$ – позначає реальну частину комплексного числа:

Компоненти рівняння (10) p_n^+ та $U(p_n^+)$ визначається так:

$$p_n^+ = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon (\varepsilon+1)} + \frac{i\pi(2n+1)}{L} \sqrt{\frac{\varepsilon+1}{\varepsilon \varepsilon_0 \mu_0}}; \quad (12)$$

$$U(p_n^+) = \frac{E_0 \omega (1 - e^{-p_n^+ \tau}) (1 - e^{-p_n^+ T(N_2+1)})}{(p_n^{+2} + \omega^2) (1 - e^{-p_n^+ T})}. \quad (13)$$

Усереднимо $E_z^{cp}(t)$ за періодом повторюваності радіоімпульсів:

$$E_z = \frac{1}{T} \int_{\tau+N_2T}^{\tau+(N_2+1)T} E_z^{cp}(t) dt; \quad (14)$$

$$E_z = \frac{2E_0 \omega}{\pi^2 T} \text{Re} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(e^{p_n^+ \tau} - 1)(e^{p_n^+ T(N_2+1)} - 1)}{(2n+1)^2 (p_n^{+2} + \omega^2) \left[\frac{\varepsilon_0 \sigma p_n^+}{2((\varepsilon+1)\varepsilon_0 p_n^+ + \sigma)(\varepsilon \varepsilon_0 p_n^+ + \sigma)} - 1 \right]} \right]. \quad (15)$$

Формулу (15) можна спростити, якщо врахувати, що ряд сходиться досить швидко. Це дозволяє обмежитися членом ряду з індексом $n = 0$. Як показали чисельні розрахунки, відносна похибка в цьому випадку становить менше 5%. Тоді

$$E_z = \frac{2E_0 \omega (e^{-a\tau} \cos b\tau - 1)}{\pi^2 T (a^2 - b^2 + \omega^2)}. \quad (16)$$

Таким чином, формули (10) і (16) дозволяють розрахувати компоненти напруженості електричного поля, усереднені за обсягом опроміненості ділянки рослинного середовища і за періодом повторюваності радіоімпульсів.

За допомогою (10) і (16) введемо амплітуду усередненого електричного поля за формулою:

$$E_{cp} = \sqrt{E_y^2 + E_z^2} = \frac{2E_0\omega\tau b(N_2 + 1)}{\pi^2 a \sqrt{\varepsilon} \left(1 + \frac{\omega^2}{b^2 \varepsilon^2}\right)} \sqrt{1 + \left[\frac{(e^{a\tau} \cos b\tau - 1) a \sqrt{\varepsilon} \left(1 + \frac{\omega^2}{b^2 \varepsilon^2}\right)}{T\tau(a^2 - b^2 + \omega^2) b(N_2 + 1)} \right]^2} \quad (17)$$

де E_0 – максимальна амплітуда радіоімпульсу;
 ω – частота заповнення радіоімпульсу.

Висновки

На основі електродинамічної моделі було отримано величину E_{cp} , яка пропорційна максимальній амплітуді радіоімпульсу і залежить від його тривалості, періоду повторюваності і частоти заповнення. Звідси випливає, що зі зменшенням електричного поля значення E_y і E_z наближуються до нуля. Отже, цією властивістю володіє і амплітуда E_{cp} . Тому залежність E_{cp} від частоти заповнення радіоімпульсу повинна мати резонансний характер.

Величина амплітуди усередненого електричного поля матиме максимальне значення при деяких значеннях відносної діелектричної проникності ε , питомої провідності σ та частоти заповнення радіоімпульсів f . Наведений розрахунок величини усередненого електричного поля дозволяє в подальшому визначити максимальне значення E_{cp} , яке необхідно застосувати при розробці систем та пристроїв знищення колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі. Значення E_{cp} є одним з основних біотропних параметрів електромагнітного випромінювання радіоінформаційної біотехнології знищення шкідників картоплі.

Список літератури

1. Hare, J. Ecology And Management Of The Colorado Potato Beetle / J. Hare // Annual Review of Entomology. — 1990. — Vol. 35, № 1. — P. 81–100.
2. Ковтун И. Особенности развития колорадского жука / И. Ковтун // Защита растений. – 1966. – №2. – С. 51 – 54.
3. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений / Э.Ш. Исмаилов – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
4. Взаимодействие физических полей с живыми существами / [Е.И. Нефедов, А.А. Протопопов, А.Н. Семенов].– Тула: Изд-во ТулГУ, 1995.–250 с
5. Сили И. И. Теоретический анализ процесса взаимодействия радиоимпульсов с колорадскими жуками в растительном слое картофеля / И. И. Сили // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №4/2(24). – С. 55 – 59.

6. Сілі І. І. Енергоінформаційна радіоімпульсна біотехнологія і електронні системи знищення шкідників картоплі: дис. канд. техн. наук: 05.11.17 / Іван Іванович Сілі; Міністерство освіти і науки України, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка; наук. кер. Федюшко Ю.М. – Харків, 2015. – 159 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЛОЯ КАРТОФЕЛЯ С КОЛОРАДСКИМ ЖУКОМ

И. И. Сили

Аннотация. *Приведено расчет усредненного значения электрического поля электродинамической модели растительного слоя картофеля с колорадскими жуками.*

Ключевые слова: *колорадский жук, усреднённое значение электрического поля, частота радиопульса, радиопульсная биотехнология, крайне высокочастотное излучение (КВЧ)*

CHARACTERISTICS OF ELECTRODYNAMICS MODEL OF POTATO PLANT ENVIRONMENT WITH COLORADO BEETLES INSIDE

I. Sili

Annotation. *The calculation of the average electrical field value based on electrodynamics model of potato plant environment with Colorado beetles inside has been shown in the article*

Key words: *Colorado potato beetle, averaged value of the electric field, radiopulse frequency, radioimpulse bio-technology, extremely high frequency radiation (EHF)*