

3. Лапта, С. И. Функционально-структурное математическое моделирование сложных гомеостатических систем [Текст] : монография / С. И. Лапта, С. С. Лапта, О. И. Соловьева. — Харьков : Изд. ХНЭУ, 2009. — 332 с.
4. Балаболкин, М. И. Диабетология [Текст] / М. И. Балаболкин. — М.: Медицина, 2000. — 672 с.
5. Сахарный диабет 2 типа: скрининг и факторы риска [Текст] : монография / Н. А. Кравчун, А. В. Казаков, Ю. И. Караченцев, И. М. Ильина, О. А. Гончарова. — Харьков: Новое слово, 2010. — 256 с.
6. Лапта, С. И. Компьютерная ранняя диагностика сахарного диабета методами математического моделирования [Текст] / С. И. Лапта, С. С. Лапта // АСУ и приборы автоматики. — Харьков, 2004. — Вып. 128. — С. 52–61.
7. Соловьева, О. И. Простая математическая модель ПТГ для ранней диагностики сахарного диабета типа 2 [Текст] / О. И. Соловьева, С. И. Лапта // Системы обработки информации. Збірник наукових праць. — Харків: ХВУ, 2004. — Вып. 11(39). — С. 180–184.
8. Соловьева, О. И. Возможность проведения эффективной ранней диагностики сахарного диабета типа 2 с помощью искусственных нейронных сетей [Текст] / О. И. Соловьева // Системы обработки информации. Збірник наукових праць. — Харків: ХВУ. — 2004. — Вып. 12(40). — С. 212–217.
9. Лапта, С. И. Функционально-феноменологический подход к математическому моделированию обменных процессов гомеостатических систем [Текст] / С. И. Лапта // Системы обработки информации. Збірник наукових праць. — Харків. ХВУ. — 2004. — Вып. 9. — С. 85–89.
10. Крылов, В. И. Вычислительные методы [Текст] / В. И. Крылов, В. В. Бобков, П. И. Монастырский. — Т. 1, 2. — М.: Наука, 1977. — 399 с.

#### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Пропонується метод автоматизованої ранньої діагностики цукрового діабету типу 2 пацієнта, що обстежується, на основі комп'ютерної модельної обробки даних його перорального тесту толерантності до глюкози з диференцюванням станів, що діагностуються, за допомогою нейронної мережі, що навчена на експертному діагнозі досвідченого ендокринолога, а також визначення ефективності нового методу.

**Ключові слова:** математична модель, штучна нейронна мережа, цукровий діабет.

*Соловьева Ольга Игоревна, преподаватель, кафедра компьютерных систем и сетей, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина, e-mail: olga01@ukr.net.*

*Соловйова Ольга Ігорівна, викладач, кафедра комп'ютерних систем та мереж, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна.*

*Solovyova Olga, Kozhedub Air Force university, Ukraine, e-mail: olga01@ukr.net*

УДК 621.374

Хандола О. Ю.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ ЯИЦ ГРЕНЫ ШЕЛКОПРЯДА

*В данной статье представлены исследования по распределению электромагнитного поля внутри яиц шелкопряда, которые представлены в виде однородной сферы с размерами, сравнимыми с длиной волны воздействующего поля крайне высокочастотного (КВЧ) диапазона. Полученные выражения по распределению низкоэнергетического поля в яйцах шелкопряда, с учетом их формы и электрофизических параметров, позволят определить необходимые параметры поля для обработки яиц.*

**Ключевые слова:** крайне высокочастотный диапазон, яйца тутового шелкопряда, внутреннее электромагнитное поле.

### 1. Введение

В современных условиях большой экономической ущерб шелководству наносят болезни тутового шелкопряда: желтуха, мертвенность, чахлость и др., а также несоблюдение параметров микроклимата в шелководнях. Высокая восприимчивость гусениц шелкопряда к различному роду заболеваний снижает продуктивность тутового шелкопряда на 30...40 % и может даже привести к полной его выбраковке [1, 2]. Основным направлением по повышению продуктивности коконов тутового шелкопряда является разработка новых технологий на основе применения информационного электромагнитного поля (ЭМП) для обработки яиц грены шелкопряда [3].

### 2. Анализ предшествующих исследований

Традиционные пути повышения продуктивности и качества коконов шелкопряда связаны с созданием новых пород и гибридов шелковичного шелкопряда, повышением качества грены, разработкой эффективных методов профилактики и борьбы с вредителями шелкопряда и шелковицы, улучшением условий выращивания грены. Реализовать в полной мере перечисленные средства для повышения продуктивности коконов шелкопряда в настоящее время в Украине не представляется возможным вследствие их трудоемкости и энергоемкости, сложности применения, экологической безопасности [4, 5].

Одним из путей решения данной задачи является использование низкоэнергетического (информационного)

ЭМП КВЧ диапазона. Анализ взаимодействия информационного ЭМП на клеточном уровне показывает, что электромагнитное информационное излучение следует воспринимать как тончайший инструмент почти безграничного влияния на биологические процессы в живом организме. Однако, желаемые изменения свойств биологических объектов, могут быть получены только при оптимальном сочетании биотропных параметров воздействующего ЭМП (частота, плотность потока мощности, экспозиция) [6].

Определение биотропных параметров связано с существенными трудностями из-за отсутствия теоретических работ, исследующих процесс взаимодействия низкочастотных ЭМП с яйцами гренны шелкопряда.

### 3. Цель статьи

Проведение теоретических исследований по распределению ЭМП внутри яиц шелкопряда.

### 4. Изложение основного материала

Рассмотрим рассеяние электромагнитной волны на однородном сферическом биологическом объекте. Для решения задачи разложим падающее поле по векторным сферическим волновым функциям [7]. Решение будет получено с использованием сферической системы координат  $(r, \varphi, \theta)$  [8]. Тогда

$$\begin{aligned} \vec{E}^{\text{пад}} &= E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{n0}^+ - i\vec{N}_{ne}^+); \\ \vec{H}^{\text{пад}} &= -\frac{k_1 E_0}{\mu_0 \omega} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{ne}^+ + i\vec{N}_{n0}^+), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E_0$  — амплитуда падающего поля;

$$\begin{aligned} \vec{M}_{n0}^+ &= \sqrt{\frac{\pi}{2k_1 r}} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \times \\ &\times \left[ \pm \vec{e}_\theta^0 \frac{1}{\sin \theta} P_n^{(1)}(\cos \theta)_{\sin}^{\cos} \varphi - \vec{e}_\varphi^0 \frac{d}{d\theta} P_n^{(1)}(\cos \theta)_{\cos}^{\sin} \varphi \right]; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \vec{N}_{n0}^+ &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{k_1 r} \left[ \vec{e}_r^0 \frac{n(n+1)}{\sqrt{k_1 r}} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) P_n^{(1)}(\cos \theta)_{\cos}^{\sin} \varphi + \right. \\ &+ \vec{e}_\theta^0 \left[ \sqrt{k_1 r} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \right]' \frac{d}{d\theta} P_n^{(1)}(\cos \theta)_{\cos}^{\sin} \varphi \pm \\ &\left. \pm \vec{e}_\varphi^0 \frac{1}{\sin \theta} \left[ \sqrt{k_1 r} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \right]' P_n^{(1)}(\cos \theta)_{\sin}^{\cos} \varphi \right]; \end{aligned} \quad (3)$$

$P_n^{(1)}(\cos \theta)$  — присоединенные функции Лежандра [9, 10]; индексы 0 или  $e$  означают выбор верхнего или нижнего варианта тригонометрической функции и знака;  $J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r)$  — функции Бесселя первого рода полуцелого порядка [10];  $\vec{e}_r^0, \vec{e}_\theta^0, \vec{e}_\varphi^0$  — координатные орты; производная берется по переменной  $(k_1 r)$ ;  $k_1 = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1}$ .

Рассеянная волна в этом случае имеет вид:

$$\vec{E}^{\text{расс}} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n^{\text{расс}} \vec{M}_{n0}^- - i b_n^{\text{расс}} \vec{N}_{ne}^-);$$

$$\vec{H}^{\text{расс}} = -\frac{k_1}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n^{\text{расс}} \vec{M}_{ne}^- + i a_n^{\text{расс}} \vec{N}_{n0}^-). \quad (4)$$

Функции  $\vec{M}_{n0}^-$  и  $\vec{N}_{n0}^-$  получаются из  $\vec{M}_{n0}^+$  и  $\vec{N}_{n0}^+$  посредством замены  $J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r)$  на функцию Ханкеля второго рода полуцелого порядка  $H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 r)$  [6].

Наконец, внутреннее поле определяется выражениями:

$$\begin{cases} \vec{E} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \vec{M}_{n0}^+ - i b_n \vec{N}_{ne}^+); \\ \vec{H} = -\frac{k}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n \vec{M}_{ne}^+ + i a_n \vec{N}_{n0}^+). \end{cases} \quad (5)$$

Здесь  $\vec{M}_{n0}^+$  и  $\vec{N}_{n0}^+$  имеют тот же вид, что и в (2, 3), но в них  $k_1 = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1}$  заменено на  $k = \omega \sqrt{\varepsilon \mu}$ . В выражениях (4, 5)  $a_n^{\text{расс}}, b_n^{\text{расс}}, a_n, b_n$  — неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

Используя граничные условия на поверхности сферы ( $r = R$ ):

$$\begin{cases} [\vec{e}_r^0, (\vec{E}^{\text{пад}} + \vec{E}^{\text{расс}})] = [\vec{e}_r^0, \vec{E}]; \\ [\vec{e}_r^0, (\vec{H}^{\text{пад}} + \vec{H}^{\text{расс}})] = [\vec{e}_r^0, \vec{H}], \end{cases} \quad (6)$$

и решая эту систему, получаем выражения для коэффициентов  $a_n^{\text{расс}}, b_n^{\text{расс}}, a_n$  и  $b_n$ .

В частности,

$$\begin{aligned} a_n &= \sqrt{\frac{k}{k_1}} \frac{J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) + a_n^{\text{расс}} H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{J_{n+\frac{1}{2}}(kR)}; \\ b_n &= \sqrt{\frac{k_1}{k}} \frac{J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) + b_n^{\text{расс}} H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{J_{n+\frac{1}{2}}(kR)}, \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} a_n^{\text{расс}} &= \left\{ -\sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) \right]' + \right. \\ &+ \left. J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \right]' \right\} \times \\ &\times \left\{ \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \left[ \sqrt{k_1 R} H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R) \right]' - \right. \\ &- \left. H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R) \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \right]' \right\}^{-1}; \\ b_n^{\text{расс}} &= \left\{ -J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \right]' + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \times \right. \\ &\times \left. \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 R) \right]' \right\} \left\{ H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R) \left[ \sqrt{k_1 R} J_{n+\frac{1}{2}}(kR) \right]' \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Упрощая задачу вычислением лишь первой, наиболее существенной для практических вопросов гармоник, получаем расчетные формулы для внутренних полей:

$$\begin{cases} \vec{E} = \frac{3}{2} i E_0 (a_1 \vec{M}_{10}^+ - i b_1 \vec{N}_{1e}^+); \\ \vec{H} = -i \frac{3k}{2\omega\mu_0} E_0 (b_1 \vec{M}_{1e}^+ + i a_1 \vec{N}_{10}^+), \end{cases} \quad (9)$$

где

$$a_1 = \sqrt{\frac{k_1}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) + a_1^{\text{пасс}} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{J_{\frac{3}{2}}(kR)}, \quad (10)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{k_1}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) + b_1^{\text{пасс}} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{J_{\frac{3}{2}}(kR)}, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} a_1^{\text{пасс}} = & \left\{ -\sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(kR) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 R)}{2\sqrt{k_1 R}} + \sqrt{k_1 R} \frac{J_{\frac{1}{2}}(k_1 R) - J_{\frac{3}{2}}(k_1 R)}{2} \right] + \right. \\ & \left. + J_{\frac{3}{2}}(kR) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2\sqrt{kR}} + \sqrt{kR} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kR) - J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2} \right] \right\} \left\{ \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(kR) \times \right. \\ & \left. \times \left[ \frac{H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{2\sqrt{k_1 R}} + \sqrt{k_1 R} \frac{H_{\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R) - H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{2} \right] - \right. \\ & \left. - H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2\sqrt{kR}} + \sqrt{kR} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kR) - J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2} \right] \right\}^{-1}, \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1^{\text{пасс}} = & \left\{ -J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2\sqrt{kR}} + \sqrt{kR} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kR) - J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(kR) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) - J_{\frac{5}{2}}(k_1 R)}{2} \right] \right\} \left\{ H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R) \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2\sqrt{kR}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{kR} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kR) - J_{\frac{3}{2}}(kR)}{2} \right] - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(kR) \left[ \frac{H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{2\sqrt{k_1 R}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{k_1 R} \frac{H_{\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 R) - H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 R)}{2} \right] \right\}^{-1}, \quad (13) \end{aligned}$$

$$\vec{M}_{10}^+ = \sqrt{\frac{\pi}{2kr}} J_{\frac{3}{2}}(kr) \left[ \pm \vec{e}_{\text{sin}}^0 \cos \theta_{\text{sin}} \varphi - \vec{e}_{\text{cos}}^0 \cos \theta_{\text{cos}} \varphi \right], \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \vec{N}_{1e}^+ = & \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{kr} \left\{ \vec{e}_r^0 \frac{2}{\sqrt{kr}} J_{\frac{3}{2}}(kr) \sin \theta_{\text{sin}} \varphi + \vec{e}_{\theta}^0 \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{2\sqrt{kr}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{kr} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{3}{2}}(kr)}{2} \right] \cos \theta_{\text{sin}} \varphi \pm \right. \\ & \left. \pm \vec{e}_{\varphi}^0 \left[ \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{2\sqrt{kr}} + \sqrt{kr} \frac{J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{3}{2}}(kr)}{2} \right] \right\}_{\text{sin}}^{\text{cos}} \varphi. \quad (15) \end{aligned}$$

Приведенные выражения (9–15) описывают внутреннее ЭМП внутри однородного биологического объекта сферической формы.

## 6. Выводы

Выражение (9–15) позволяют исследовать распределение ЭМП внутри яиц грены шелкопряда и на основе распределения поля определить необходимые параметры поля для стимуляции биофизических процессов в яйцах шелкопряда.

## Литература

1. Головки, В. О. Шовківництво [Текст]: учеб. / В. О. Головки, О. З. Злотин, М. Ю. Браславський, І. О. Кириченко. — Харків: РВП «Оригінал», 1998. — 416 с.
2. Тихомиров, А. А. Основы практического шелководства [Текст] / А. А. Тихомиров. — М.: Изд-во АН СССР, 1981. — 332 с.
3. Злотин, А. З. Справочник шелководства [Текст] / А. З. Злотин, И. П. Булавин. — К.: Урожай, 1988. — 120 с.
4. Ростан, Ж. Жизнь шелковичных червей [Текст] / Ж. Ростан. — М.: Изд-во иностр. лит., 1987. — 158 с.
5. Золотин, А. З. Занимательное шелководство [Текст] / А. З. Золотин. — К.: Урожай, 1984. — 70 с.
6. Акименко, Л. М. Рекомендації по технології виробництва коконів тутового шовкопряда [Текст] / Л. М. Акименко, Б. Ф. Пилипенко, І. О. Кириченко. — К.: Урожай, 1984. — 20 с.
7. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. — М.: Наука, 1989. — 543 с.
8. Семёнов, А. А. Теория электромагнитных волн [Текст] / А. А. Семёнов. — М.: Изд. Моск. ун-та, 1968. — 317 с.
9. Кальницкий, Л. А. Специальный курс высшей математики [Текст] / Л. А. Кальницкий, Д. А. Добротин, В. Ф. Жевежеев. — М.: Высшая школа, 1976. — 389 с.
10. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики [Текст] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. — М.: МГУ «Наука», 2004. — 798 с.

## ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ВСЕРЕДИНІ ЯЄЦЬ ГРЕНИ ШОВКОПРЯДУ

У статті представлені дослідження з розподілу електромагнітного поля всередині яєць шовкопряда, які представлені у вигляді однорідної сфери з розміром, що дорівнюють довжини хвилі поля КВЧ діапазону, яке використовується для впливу на них. Отримані вирази з розподілу низькоенергетичного поля в яйцях шовкопряда, з урахуванням їх форми і електрофізичних параметрів, дозволять визначити необхідні параметри поля для обробки яєць.

**Ключові слова:** крайвисокочастотний діапазон, яйця тутового шовкопряда, внутрішнє електромагнітне поле.

*Хандола Ольга Юрьевна, аспірант, кафедра технічної теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна, e-mail: kosnatgen@ukr.net.*

*Хандола Ольга Юрьевна, аспірант, кафедра технічної теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.*

*Chandola Olga, Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: kosnatgen@ukr.net*