

*Карасюк Павел Валериевич, кафедра технической кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: karac38@gmail.com.*

*Шемсединов Тимур Гафарович, научный співробітник, Науково-дослідний інститут системних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Маленко Микола Васильович, кафедра технічної кибернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Мороз Олексій Ігоревич, кафедра технічної кибернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Карасюк Павло Валерійович, кафедра технічної кибернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Shemsedinov Timur, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: timur.shemsedinov@gmail.com.*

*Malenko Nikolay, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine,*

*e-mail: nikolay.malenko@gmail.com.*

*Moroz Oleksii, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: alex.frost.ua@gmail.com.*

*Karasiuk Pavel, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: karac38@gmail.com*

УДК 621.374

Чёрная М. А.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПОДСОЛНУХА

*В работе, на основе разработанной модели семян подсолнуха, проведены теоретические исследования по определению биотропных параметров низкоэнергетического (информационного) электромагнитного поля миллиметрового диапазона длин волн (частота, плотность потока мощности, экспозиция, амплитудная модуляция), которые могут оказывать воздействие на биофизические процессы в семенах. Применение электромагнитного поля, с установленными биотропными параметрами для предпосевной обработки семян, повысит урожайность и маслянистость семян нового урожая.*

**Ключевые слова:** *семена подсолнуха, частота электромагнитного поля, модуляционные параметры, мощность ЭМП, предпосевная обработка семян.*

### 1. Введение

Экономический анализ показывает, что в настоящее время в Украине средняя урожайность сельскохозяйственных культур снизилась на 20–25 %, в том числе и подсолнуха, из-за высокой стоимости и недостатка минеральных удобрений и средств защиты растений от вредителей [1, 2]. Поэтому актуальной задачей является разработка новых экономичных, эффективных и экологически безопасных технологий, направленных на повышение урожайности и качества семян подсолнечника. Одним из путей решения данной задачи является использование информационного ЭМП КВЧ (крайне высокие частоты) диапазона [2]. Главным достоинством электромагнитной технологии по предпосевной обработке семян подсолнуха низкоэнергетическим излучением КВЧ диапазона заключается в возможности улучшения их роста и развития за счет мобилизации внутренних резервов самих семян без химических препаратов или методов генной инженерии [3].

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В последние годы для интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства стали активно

внедрять электрофизические методы воздействия на растения и семена зерновых и овощных культур с целью повышения урожайности и улучшения качества получаемой продукции [4, 5]. К электрофизическим способам предпосевной обработки относятся: воздействие постоянного электрического поля, постоянного магнитного поля, инфракрасных лучей, электрического поля переменного тока высокого напряжения, сильного электростатического поля, электрическое поле коронного разряда [6]. Общим недостатком всех существующих технологий с использованием предпосевной обработки семян электрофизическими способами является низкая повторяемость результатов обработки, и невысокой прибавкой к урожаю — 10...12 %. Это можно объяснить несовершенством существующих технических средств и методик исследования, отсутствием экспресс-методов диагностики, а также отсутствием достаточно глубоких теоретических и экспериментальных исследований механизма действия различных физических факторов на посевной материал [7].

Наиболее эффективным, энергосберегающим и рентабельным является способ обработки семян информационным электромагнитным полем [4].

Исходя из этого, можно предположить, что применение электромагнитных технологий может повысить урожайность и качество семян подсолнуха, а также их

масличность. Однако следует отметить, что эффективное использование низкоэнергетического ЭМП невозможно без разработки физико-математических моделей, учитывающих параметры воздействующего ЭМП и диэлектрические характеристики сельскохозяйственных объектов в растениеводстве [3].

**Цель работы** — проведение теоретических исследований по определению параметров ЭМП для предпосевной обработки семян подсолнуха.

### 3. Основные материалы исследований по определению параметров ЭМП для обработки семян

Для определения биотропных параметров ЭМП должна быть построена модель, позволяющая определить диапазон изменения данных параметров (частота, мощность, экспозиция, модуляция) для предпосевной обработки семян подсолнуха.

В качестве возбуждающего электромагнитного излучения будем рассматривать электромагнитную волну с напряженностью электрического поля, изменяющегося по закону:

$$\vec{E}^i = \vec{E}_0 (1 + m \sin \Omega t) \sin(\omega t + k(\vec{n}, \vec{R})), \quad (1)$$

где  $k = \omega/c$  — волновое число;  $c$  — скорость света в вакууме;  $\vec{n}$  — единичный вектор, определяющий направление распространения волны;  $\omega$  — круговая частота;  $\Omega$  — частота модуляции;  $m$  — коэффициент глубины модуляции, характеризующий степень изменения амплитуды;  $\vec{E}_0$  — постоянный вектор;  $\vec{R} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z$ ,  $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$  — орты декартовой системы координат. Предполагается, что  $\Omega/\omega \ll 1$ . В этом случае можно говорить об амплитудной модуляции гармонической волны с частотой  $\omega$ .

Семена подсолнуха будем моделировать сфероидом, заполненным однородной изотропной средой с относительными диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$  и магнитной проницаемостью  $\mu = 1$ .

Задача состоит в определении электромагнитного поля, возникающего внутри диэлектрического сфероида при его взаимодействии с модулированной электромагнитной волной (1).

На рис. 1 показан сфероид, граничная поверхность которого образована вращением вокруг оси  $z$  дуги окружности радиусом  $R$ . Геометрические параметры этой дуги окружности следующие:  $2h_1$  — длина отрезка прямой, соединяющей концы дуги окружности;  $2h_2$  — максимальное расстояние между точками граничной поверхности в плоскости перпендикулярной оси  $z$ . Введем цилиндрическую систему координат  $R, \phi, Z$  с осью  $z$  и декартову систему координат  $x, y, z$  так, как показано на рис. 1.

Тогда граничная поверхность сфероида может быть описана следующими параметрическими уравнениями:

$$X = \bar{R}(v) \cos \varphi, \quad Y = \bar{R}(v) \sin \varphi, \quad Z = \bar{Z}(v), \quad (2)$$

где  $v$  — длина дуги окружности, отсчитываемая от точки  $O$  (вершина сфероида);  $\varphi$  — полярный угол в цилиндрической системе координат, а функции  $\bar{R}(v)$  и  $\bar{Z}(v)$  имеют вид:

$$\bar{R}(v) = R \sin \frac{v}{R}, \quad \bar{Z}(v) = R \left( 1 - \cos \frac{v}{R} \right). \quad (3)$$

Параметр  $v$  изменяется на интервале  $(0, L)$ , где  $L = \arccos \left( 1 - \frac{h_2}{R} \right)$ , а угол  $\varphi$  изменяется на интервале  $(0, L)$ .

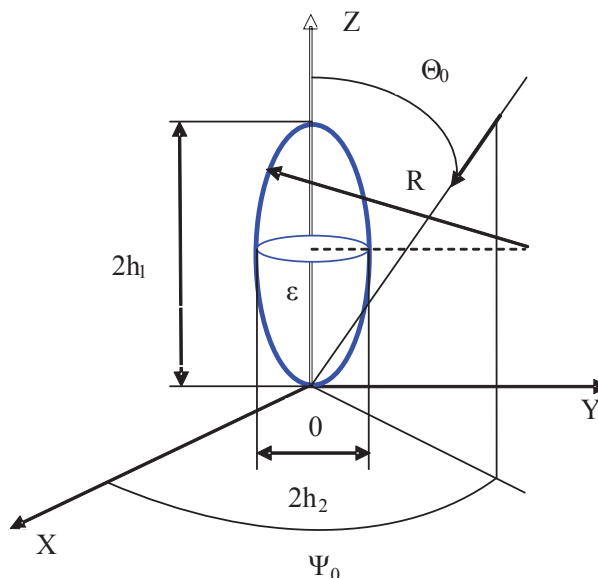


Рис. 1. Электродинамическая модель семян

Пусть  $\theta_0$  и  $\varphi_0$  — углы, определяющие направление распространения возбуждающей электромагнитной волны (рис. 1). Угол  $\theta_0$  отсчитывается от оси  $Z$  в плоскости, проходящей через эту ось и вектор  $\vec{n}$ , а  $\varphi_0$  — угол между этой плоскостью и осью  $X$ . Тогда напряженность электрического поля возбуждающей волны можно представить в виде:

$$\vec{E}^i = \frac{m}{2} \vec{E}_0 e^{ik(\sin \theta_0 \cos \varphi_0 X + \sin \theta_0 \sin \varphi_0 Y - \cos \theta_0 Z)}. \quad (4)$$

Относительно поляризации возбуждающей волны, не ограничивая общности, будем предполагать, что вектор  $\vec{E}_0$  параллелен оси  $Z$ , т. е.  $\vec{E}_0 = E_0 \vec{e}_z$ , а направляющие углы  $\theta_0$  и  $\varphi_0$  равны  $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ . Следовательно, из (4) получаем, что возбуждающая волна имеет вид:

$$\vec{E}_+^i = \frac{mE_0}{2} e^{ikz} \vec{e}_z, \quad (5)$$

где волновое число  $k = \omega/c$ ,  $\vec{e}_z$  — единичный вектор вдоль оси  $Z$ .

Учитывая выше изложенное, естественно предположить, что напряженность электрического поля, возбуждаемого внутри диэлектрического сфероида также будет иметь доминирующую компоненту  $E_z$  (остальные компоненты  $E_{X+}$  и  $E_{Y+}$  пренебрежимо малы по сравнению с  $E_0$ ).

Введем обозначение  $E_+ = E_z$  и запишем интегральное уравнение для  $E_+$ . Это уравнение содержит два типа интегралов: интеграл по объему сфероида и интеграл по его граничной поверхности.

Рассмотрим поверхностный интеграл. Вначале вычислим подынтегральную функцию  $(\vec{n}_q, \vec{E}_+) \text{grad}_q(p, q)$ . Уравнение для орта  $\vec{n}_q$  нормали к граничной поверхности сфероида, с учетом параметрических уравнений (2), имеет следующий вид [8]:

$$\vec{n}_q = -\dot{Z} \vec{e}_R + \dot{R} \vec{e}_z, \tag{6}$$

где точка обозначает дифференцирование, а  $\vec{e}_R$  и  $\vec{e}_z$  — орты цилиндрической системы координат в точке  $q$ .

Подставим (6) в скалярное произведение  $(\vec{n}_q, \vec{E}_+)$ , тогда получим:

$$(\vec{n}_q, \vec{E}_+) = \dot{R} E_+, \tag{7}$$

где, согласно (3),  $\dot{R} = \cos \frac{v}{R}$ .

Теперь рассмотрим  $\text{grad}_q(p, q)$ . Функцию  $G(p, q)$  можно представить в виде ряда Фурье по азимутальной координате  $\varphi$  цилиндрической системы координат.

Опуская промежуточные преобразования и используя результаты из [9], имеем:

$$G(p, q) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n e^{in(\varphi_1 - \varphi_2)}, \tag{8}$$

где  $p = (\Gamma_1, \varphi_1, Z_1)$ ,  $q = (\Gamma_2, \varphi_2, Z_2)$ , а коэффициенты  $S_n$  представлены в виде следующих интегралов:

$$S_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{ik_+ \Gamma}}{\Gamma} e^{-in} d\varphi, \tag{9}$$

$$\Gamma = \sqrt{(\Gamma_1 - \Gamma_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2 + 4\Gamma_1 \Gamma_2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}},$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Используя формулу из [8] для вычисления градиента функции в цилиндрической системе координат, получаем для  $Z$  — компоненты  $\text{grad}_q G(p, q)$  следующее выражение:

$$\frac{\partial G(p, q)}{\partial Z_2} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\partial S_n}{\partial Z_2} e^{in(\varphi_1 - \varphi_2)}. \tag{10}$$

В (10) учтено, что градиент вычисляется по переменной  $q = (\Gamma_2, \varphi_2, Z_2)$ .

Из (9) имеем:

$$\frac{\partial S_n}{\partial Z_2} = \frac{(Z_1 - Z_2)^{2\pi}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{ik_+ \Gamma} (ik_+ \Gamma - 1)}{\Gamma^3} e^{-in} d\varphi. \tag{11}$$

Теперь представим функцию  $E_+(q)$  — напряженность электрического поля внутри сфероида в виде ряда Фурье по азимутальной координате  $\varphi$ . Имеем:

$$E_+(q) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} E_n^+(\Gamma_2, Z_2) e^{-in\varphi_2}. \tag{12}$$

Подставим (7) и (10) в поверхностный интеграл. Используя параметрические уравнения (2) для граничной поверхности сфероида, преобразуем этот интеграл в двойной интеграл по переменным  $\varphi$  и  $\varphi_2$ , тогда получим:

$$\int_S (\vec{n}_q, \vec{E}_+) \frac{\partial G(p, q)}{\partial Z_2} dS = \frac{R}{2} \int_0^{2\pi} d\varphi_2 \int_0^L \sin \frac{2V}{R} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \vec{E}_+(\vec{R}(v), \vec{Z}(v)) e^{-in\varphi_2} \times \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\partial S}{\partial Z_2} e^{in(\varphi_1 - \varphi_2)} dV, \tag{13}$$

где  $L = \arccos \left( 1 - \frac{h_2}{R} \right)$ .

Если теперь воспользоваться свойством ортогональности функций  $e^{-in\varphi_2}$  на интервале  $(0, 2\pi)$ , то из (13) окончательно имеем:

$$\int_S (\vec{n}_q, \vec{E}_+) \frac{\partial G(p, q)}{\partial Z_2} dS = \pi R \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{in\varphi_1} \int_0^L \sin \frac{2V}{R} \vec{E}_n^+(\vec{R}(v), \vec{Z}(v)) \frac{\partial S}{\partial Z_2} dV. \tag{14}$$

Рассмотрим теперь интеграл по объему сфероида. Сведем этот объемный интеграл к двумерному интегралу по переменным  $\Gamma_2, Z_2$ . Используя свойство ортогональности функций  $e^{in\varphi_2}$  и разложения функций  $G(p, q)$  и  $E_+(q)$  в ряды Фурье (8), (12), после ряда преобразований получаем:

$$\int_V E_+(q) \partial G(p, q) dV = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{in\varphi_1} \int_0^{2h_1} dZ_2 \int_0^{a(Z_2)} E_n^+(\Gamma_2, Z_2) S_n \Gamma_2 d\Gamma_2, \tag{15}$$

где  $a(Z_2) = \sqrt{Z_2(2R - Z_2)}$ .

Учитывая уравнения (14) и (15), и применяя теорему единственности разложения функции в ряды Фурье [8], получим:

$$E_n^+(\Gamma_1, Z_1) = E_{in}^+(\Gamma_1) + \frac{(\varepsilon - 1)k_+^2}{2} \int_0^{2h_1} dZ_2 \times \int_0^{a(Z_2)} E_n^+(\Gamma_2, Z_2) S_n \Gamma_2 d\Gamma_2 + \frac{(\varepsilon - 1)R}{4} \times \int_0^L E_n^+(\vec{R}(v), \vec{Z}(v)) \sin \frac{2v}{R} \frac{\partial S}{\partial Z_2} dV, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \tag{16}$$

где

$$E_{in}^+ = \frac{mE_0}{4\pi\pi} \int_0^{2\pi} e^{-in\varphi + ik_+ \Gamma_1 \sin \varphi} d\varphi = -\frac{mE_0}{2} I_n(k\Gamma_1), \tag{17}$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

коэффициенты разложения в ряд Фурье напряженности электрического поля, возбуждающей волны, а  $I_n(\dots)$  — функция Бесселя  $n$ -го порядка.

Функции  $S_n$  и  $\frac{\partial S}{\partial Z_2}$  вычисляются согласно формулам (9) и (11), а функции  $\bar{R}(v)$  и  $\bar{Z}(v)$  — по формуле (3).

С помощью уравнения (16) можно рассчитать напряженность электрического поля внутри диэлектрического сфероида (электродинамическая модель семени подсолнуха).

Для практических приложений важной характеристикой процесса взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами (семена подсолнуха) является величина напряженности электрического поля, усредненная по объему объекта.

Из (12) следует, что величина напряженности электрического поля, усредненная по объему сфероида, определяется только коэффициентом с индексом  $n = 0$ , в разложении в ряд Фурье функции  $E_+(q)$ . Поэтому усредненная напряженность электрического поля  $E_{cp}^+$  равна:

$$E_{cp}^+ = \frac{2\pi}{|V|} \int_0^{2h_1} dZ_2 \int_0^{a(Z_2)} E_0^+(\Gamma_2, a(Z_2)) S_n \Gamma_2 d\Gamma_2, \quad (18)$$

где  $|V|$  — объем сфероида, а функция  $E_0^+(\Gamma_2, Z_2)$  удовлетворяет уравнению (16), в котором следует положить индекс  $n = 0$ .

Объем сфероида можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned} |V| &= \int_0^{2h_1} dZ_2 \int_0^{a(Z_2)} \Gamma_2 d\Gamma_2 = 2\pi \int_0^{2h_1} dZ_2 (2R - Z_2) dZ_2 = \\ &= \frac{4\pi h_1^3}{3} \left( 3 \frac{R}{h_1} - 2 \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Как уже отмечалось выше, построение решения исходной задачи о взаимодействии модулированной электромагнитной волны с диэлектрическим сфероидом сведено к решению двух аналогичных задач для волновых чисел

$$k_+ = \frac{\omega_+}{c} = \frac{\omega + \Omega}{c}, \quad k_- = \frac{\omega - \Omega}{c} \quad \text{и} \quad k = \frac{\omega}{c}.$$

Поэтому усредненная по объему сфероида напряженность электрического поля  $E_{cp}$  имеет вид:

$$\begin{aligned} E_{cp} &= E_{cp}^0 + E_{cp}^+ + E_{cp}^- = \\ &= \frac{2\pi}{|V|} \int_0^{2h_1} dZ_2 \int_0^{a(Z_2)} (E_0^0 + E_0^+ + E_0^-) \Gamma_2 d\Gamma_2, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $E_0^\pm$  — решения интегрального уравнения (16), для волновых чисел  $k_\pm$  и  $n = 0$ , а  $E_0^0$  — решение того же интегрального уравнения для волнового числа  $k$  и  $n = 0$ .

Таким образом, исходная задача сведена к построению решений интегрального уравнения (20) для двух значений волнового числа  $k_+$  и  $k_-$ . Как показали численные оценки, эти решения можно получить с помощью приближения Борна [10]. При этом относительная погрешность составляет менее 5 %, для реальных геометрических параметров семечки подсолнуха и относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ ,  $2 \leq \epsilon' \leq 4$ ,  $2 \cdot 10^{-3} \leq \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \leq 2 \cdot 10^{-3}$ , в частотном диапазоне

$25 \text{ ГГц} \leq \frac{\omega}{2\pi} \leq 40 \text{ ГГц}$  и частоте модуляции  $\frac{\Omega}{\omega} \leq 10^{-9}$ .

На основании приближения Борна, имеем:

$$\begin{aligned} E_0^\pm &= \frac{mE_0}{2} I_0(k\Gamma_1) + \frac{m(\epsilon-1)k_\pm^2}{4} E_0 \int_0^{2h_1} dZ_2 \times \\ &\times \int_0^{a(Z_2)} I_0(k\Gamma_2) S_0 \Gamma_2 d\Gamma_2 + \frac{m(\epsilon-1)RE_0}{4} \times \\ &\times \int_0^L I_0(k\bar{R}(v)) \sin \frac{2v}{R} \frac{\partial S}{\partial Z_2} dv, \\ E_0^0 &= \frac{iE_0}{2} I_0(k\Gamma_1) + \frac{i(\epsilon-1)k^2 E_0}{4} \int_0^{2h_1} dZ_2 \times \\ &\times \int_0^{a(Z_2)} I_0(k\Gamma_2) S_0 \Gamma_2 d\Gamma_2 + \frac{i(\epsilon-1)RE_0}{4} \times \\ &\times \int_0^L I_0(k\bar{R}(v)) \sin \frac{2v}{R} \frac{\partial S}{\partial Z_2} dv. \end{aligned} \quad (21)$$

Итак, с помощью формул (20) и (21) можно рассчитать напряженность электрического поля, возникающего в результате взаимодействия модулированной электромагнитной волны с диэлектрическим сфероидом, являющимся электродинамической моделью семян подсолнуха.

#### 4. Выводы

Численный анализ полученных выражений показал, что для повышения урожайности и маслянистости семян подсолнуха их предпосевную обработку следует проводить модуляционным электромагнитным излучением с параметрами: диапазон частот 35,8...37,8 ГГц; частота модуляции 100 Гц; индекс модуляции 0,5; напряженность ЭП 11,7...13,78 В/м; экспозиция 250...350 с.

Применение электромагнитного поля с установленными параметрами для предпосевной обработки семян подсолнуха позволит увеличить урожайность на 15–20 % и маслянистость на 10–15 %.

#### Литература

1. Скрипник, М. М. Энергозберігаючі електротехнології опромінювання рослин [Текст] / М. М. Скрипник // Восточно-Европейский журнал передових технологій. — 2006. — № 2/3(18). — С. 22–29.
2. Посыпанов, Г. С. Растениеводство [Текст] / Г. С. Посыпанов, В. Е. Долгодворов, Б. Х. Жеруков и др.; под ред. Г. С. Посыпанова. — М.: Колос, 2006. — 612 с.
3. Черенков, А. Д. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства [Текст] / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // Світлотехніка та електроенергетика. — 2005. — № 5. — С. 77–80.
4. Оленюк, А. А. Биофизический анализ действия электромагнитного поля на информационные процессы в биологических объектах [Текст] / А. А. Оленюк, Л. Н. Михайлова, А. Н. Мороз // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. — 2012. — Вип. 130. — С. 120–123.

5. Gordan, E. N. The Influence of Electromagnetic Ultra-high-frequency Radiation on the Absorption of Iodine by Organic Culture of Thyroid Gland [Text] / E. N. Gordan, N. D. Tronko, I. P. Paster, M. R. Nebozhina // *Physics of the Alive*. — 1996. — Vol. 4, № 1. — P. 133–136.
6. Shwan, H. P. Microwave Radiation: Biophysical Considerations and Standards Criteria [Text] / H. P. Shwan // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. — 1972. — Vol. 19, № 4. — P. 304–312. — Available at: \www/URL: doi: 10.1109 / TBME.1972.324075.
7. Апашева, Л. М. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений [Текст] / Л. М. Апашева, А. В. Лобанов, Г. Г. Комиссаров // Доклады академии наук. — 2006. — Т. 406, № 1. — С. 108–110.
8. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. — М.: Наука, 1970. — 720 с.
9. Дмитриев, В. И. Интегральные уравнения в краевых задачах электродинамики [Текст] / В. И. Дмитриев, Е. В. Захаров. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. — 167 с.
10. Хижняк, Н. А. Интегральный уравнения макроскопической электродинамики [Текст] / Н. А. Хижняк. — Киев: Наук. думка, 1986. — 280 с.

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА**

В роботі, на основі розробленої моделі насіння соняшнику, проведені теоретичні дослідження по визначенню біотропних параметрів низькоенергетичного (інформаційного) електромагнітного поля міліметрового діапазону довжин хвиль (частота, щільність потоку потужності, експозиція, амплітудна модуляція), які можуть впливати на біофізичні процеси у насінні. Застосування електромагнітного поля, з встановленими біотропними параметрами для передпосівної обробки насіння, підвищить врожайність і масляничість насіння нового врожаю.

**Ключові слова:** насіння соняшнику, частота електромагнітного поля, модуляційні параметри, потужність ЕМП, передпосівна обробка насіння.

---

*Чёрная Мария Александровна, аспирант, кафедра технотроники и теоретической электротехники, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Украина, e-mail: tte\_nniekt@ukr.net.*

---

*Чорна Марія Олександрівна, аспірант, кафедра технотроніки і теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Україна.*

---

*Chornaya Mariya, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: tte\_nniekt@ukr.net*