УДК 632.935.4

ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА УНИЧТОЖЕНИЯ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ В САДАХ

Черенков А. Д.[1], Косулина Н. Г.[1], Дубик В. Н.[2]

[1]Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,
[2]Подольский государственный аграрно-технический университет

Проведены теоретические исследования по распределению электрической напряжённости видеоимпульсов внутри насекомых. Полученные выражения позволяют определить биотропные параметры импульсного электромагнитного поля для уничтожения насекомых-вредителей в садах. На этой основе созданы эффективные передвижные электрофизические установки, которые позволят сохранить экологически чистые плоды и ягоды.

Введение. В связи с развитием интенсивного садоводства возрастают требования к защите растений от вредителей и болезней, эффективность, которой зависит от культуры земледелия, а также комплекса агротехнических, механических, биологических и карантинных приемов борьбы.

Несвоевременное проведение мероприятий по защите растений приводит к гибели 50…70%, а иногда и всего урожая плодов [1].

В настоящее время в садах Украины для уничтожения вредных насекомых применяют только химические препараты [2]. Однако химический метод при широком его применении имеет и ряд недостатков: вызывает обеднение биоценоза в результате массового уничтожения почти всего комплекса паразитирующих и хищных насекомых, загрязнение биосферы, появление устойчивых к пестицидам вредителей, в некоторых случаях приводит к повышению плодовитости отдельных насекомых и клещей и др. При нарушении правил использования пестицидов в плодово-ягодных продуктах накапливаются остаточные количества химических препаратов, превышающие допустимые нормы. Научные исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу может быть электрофизический [3].

Анализ предыдущих публикаций. Электрофизический метод основан на применении электрооптических преобразователей. Они основаны на применении электрооптических преобразователей, к которым насекомые привлекаются различными способами.

Наиболее распространенными аттрактантами являются электрические источники света [4]. Это объясняется их большей эффективностью по сравнению с остальными способами привлечения.

Для уничтожения насекомых применяют механические поражающие устройства с использованием лески или зубчатой рейки [5]. Большое распространение получили аэродинамические поражающие устройства [6]. Преобразователи аэродинамического типа успешно применяются для уничтожения комаров, чешуекрылых, табачного жука и др.

Отличаются они от механического типа тем, что между излучателем и приемной камерой устанавливается всасывающий вентилятор.

Наиболее распространенными являются преобразователи с электропоражающими устройствами [4]. Они основаны на уничтожении насекомых током высокого напряжения, которое подается на ограждающую излучатель сетку. Привлеченные светом насекомые, коснувшись любой пары соседних электродов, либо пролетая между ними, гибнут. Недостатком ловушек такого типа является их низкая надежность. Во время массового лета погибающие насекомые забивают отверстия спирали и снижают эффективность поражающего устройства, создавая большие токи кроме того, вредители, имеющие малые размеры тела (менее 6 мм), установкой не поражаются.

Экологическая чистота, селективность, быстродействие, делает применение электрофизических методов перспективными при организации защитных мероприятий. Однако, недостаточная изученность процессов привлечения и уничтожения насекомых, а также высокие потенциальные возможности методов, обуславливают необходимость продления работ по исследованию и разработке установок и процессов электрофизических методов борьбы с насекомыми-вредителями в садах.

Цель статьи. Проведены теоретические исследования по распределению электрической напряжённости видеоимпульсов внутри насекомых.

Основная часть. Биологический объект (летающие насекомые-вредители в садах) моделируется круговым цилиндром с радиусом R и высотой H, который заполнен однородной изотропной средой с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1r}\,\varepsilon_0$, магнитной проницаемостью μ_0 и проводимостью σ (ε_0, μ_0 – проницаемость вакуума) [7].

Этот цилиндр находится в однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2r}\,\varepsilon_0$ и магнитной проницаемостью μ_0. Предполагается, что диэлектрические проницаемости ε_1 и ε_2 и проводимость σ не зависят от частоты возбуждающего электрического поля, т.е. отсутствует частотная дисперсия. В качестве источника электромагнитных импульсов выбрана плотность электрического тока, локализованная в среде, окружающей биологический объект и имеющая вид:

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

где 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.

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

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 [7]:

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

где U и τ – 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:

$$rot\vec{H}_1 = \varepsilon_1\frac{\partial\vec{E}_1}{\partial t} + \sigma\vec{E}, \qquad (4)$$

$$rot\vec{E}_1 = -\mu_0\frac{\partial\vec{H}_1}{\partial t}, \qquad (5а)$$

$$rot\vec{E}_2 = -\mu_0\frac{\partial\vec{H}_2}{\partial t}, \qquad (5б)$$

На границе биологического объекта потребуем выполнения условий сопряжения, а именно, тангенциальные компоненты напряженностей электрического и магнитного полей должны быть непрерывны.

Итак, задача состоит в решении уравнений (4) – (5) для заданного источника (1), (2). Как следует из (1) и (4), (5), эта задача является нестационарной задачей электродинамики [8]. Однако зависимость источника (1) от времени типа (2) позволяет редуцировать исходную нестационарную задачу к задаче в частотной области.

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

$$\vec{E}_1 = \sum\vec{E}_{1n}\, e^{i\frac{2\pi}{T}nt}, \quad \vec{H}_1 = \sum\vec{H}_{1n}\, e^{i\frac{2\pi}{T}nt}, \qquad (6)$$

$$\vec{E}_2 = \sum\vec{E}_{2n}\, e^{i\frac{2\pi}{T}nt}, \quad \vec{H}_2 = \sum\vec{H}_{2n}\, e^{i\frac{2\pi}{T}nt}, \qquad (7)$$

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

Подставляя (6), (7) в (4), (5) и используя теорему единственности для рядов Фурье, получаем:

$$rot\vec{H}_{1n} = i\,\omega_n\,\varepsilon_1\,\vec{E}_{1n} + \sigma\,\vec{E}_{1n}, \qquad (8а)$$

$$rot\,\vec{E}_{1n} = -\mu_0\, i\,\omega_n\,\vec{H}_{1n}\,, \qquad (8б)$$

$$rot\vec{H}_{2n} = i\,\omega_n\,\varepsilon_2\,\vec{E}_{2n} + A_n\,\sigma(p - p_0)\vec{e},, \qquad (9а)$$

$$rot\,\vec{E}_{2n} = -i\,\omega_n\,\mu_0\,\vec{H}_{2n}\,, \qquad (9б)$$

где $\omega_n = \dfrac{2\pi n}{T}$.

Введем комплексную относительную диэлектрическую проницаемость биологического объекта по формуле [7]:

$$\bar{\varepsilon}_{1r} = \varepsilon_{rr} - i\frac{\sigma}{\omega_n\,\varepsilon_0}\,. \qquad (10)$$

Тогда уравнения (8), (9) можно представить в виде:

$$rot\vec{H}_{1n} = i\,k_n\,\bar{\varepsilon}_{1r}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\vec{E}_{1n}\,, \qquad (11а)$$

$$rot\vec{E}_{1n} = -i\,k_n\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\vec{H}_{1n}\,, \qquad (11б)$$

$$rot\vec{H}_{2n} = ik_n\varepsilon_{2r}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\vec{E}_{2n} + A_n\,\sigma(p - p_0)\vec{e}\,, \qquad (12а)$$

$$rot\vec{E}_{2n} = -i\,k_n\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\vec{H}_{2n}\,, \qquad (12б)$$

где $k_n = \omega_n\sqrt{\varepsilon_0\,\mu_0}$ – волновое число;

ε_{2r} – относительная диэлектрическая проницаемость среды окружающей биологический объект.

Уравнения (11), (12) следует дополнить условием сопряжения – непрерывность тангенциальных компонент электрического поля на границе биологического объекта и условием излучения на бесконечности [10].

Итак, исходная нестационарная задача о взаимодействии последовательности электромагнитных импульсов с биологическим объектом сведена к задаче дифракции гармонического электромагнитного поля с частотой $\omega = \omega_n = \dfrac{2\pi n}{T}$ (T – период следования импульсов) на диэлектрическом цилиндрическом рассеивателе, моделирующем биологический объект.

Непосредственное решение этой задачи возможно только численными методами. Однако при определенных упрощающих предположениях можно получить явную формулу для поля, усредненного по объему, занимаемому биологическим объектом методом интегральных уравнений.

Метод интегральных уравнений позволяет получить интегральное уравнение эквивалентное задаче (11) – (12). Основой является представление электромагнитного поля через векторные потенциальные функции [9] и интегральные формулы теории векторных полей [9]. В результате получается интегральное уравнение для напряженности электрического поля внутри биологического объекта.

Пусть Q – область пространства, которую занимает биологический объект. Представим (11), (12) в виде:

$$rot\vec{H}_n = i\,k_n\,\varepsilon_{2r}\,\vec{E}_n + j_n\,, \tag{13}$$

$$rot\vec{E}_n = -i\,k_n\,\vec{H}_n\,, \tag{14}$$

Здесь введены обозначения:

$$\vec{E}_n = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\begin{cases}\vec{E}_{1n}\,,\ p\in Q\\ \vec{E}_{2n}\,,\ p\notin Q\end{cases}. \tag{15}$$

$$\vec{H}_n = \begin{cases}\vec{H}_{1n}\,,\ p\in Q\\ \vec{H}_{2n}\,,\ p\notin Q\end{cases}. \tag{16}$$

$$\vec{j}_n = \begin{cases} ik_n\left(\bar{\varepsilon}_{1r}-\varepsilon_{2r}\right)\sqrt{\dfrac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\,\vec{\mathrm{E}}_{1n}, & p\in Q\\ & \\ A_n\,\delta\left(p-p_0\right), & p\notin Q\end{cases}. \tag{17}$$

Уравнения (13), (14) можно рассматривать как уравнения Максвелла в однородной среде с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_{2\mathrm{r}}$ и магнитной проницаемостью $\mu = \mu_0$, т.е. полагать, что искомое электромагнитное поле порождается плотностью тока $\vec{j}_n$ (см. формула (17)).

Решение уравнений (13), (14), удовлетворяющее условию излучения, можно представить с помощью векторной потенциальной функции $\vec{\Pi}$ по известным формулам [8]:

$$\vec{\Pi}\left(p\right) = \int \vec{j}\left(q\right)\,G\left(\left|p-q\right|\right)\,d\,V_q\,. \tag{18}$$

$$\vec{E}_n = \frac{1}{i\,k_n\,\varepsilon_{2r}}\,qrad\,div\,\vec{\Pi} - i\,k_n\,\vec{\Pi}. \tag{19}$$

$$\vec{H}_n = rot\,\vec{\Pi}. \tag{20}$$

Функция $\mathrm{G}\left(\left|p-\mathrm{q}\right|\right)$ – функция Грина для трехмерного скалярного уравнения Гельмгольца:

$$G\left(\left|p-q\right|\right) = \frac{\exp\left(-i\,k_n\sqrt{\varepsilon_{2r}}\,\left|p-q\right|\right)}{4\pi\,\left|p-q\right|}, \tag{21}$$

где $\left|\,p-q\,\right|$ – расстояние между точками p и q.

Подставим (18) в (19) тогда получим следующее интегральное представление для $\vec{E}_{\mathrm{n}}$.

$$\vec{E}_n\left(p\right) = k_n^2\left(\bar{\varepsilon}_{1r}-\varepsilon_{2r}\right)\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\int_Q \vec{E}_{1n}\left(q\right)\,G\left(\left|p-q\right|\right)\,d\,V_q + $$
$$+\left(\bar{\varepsilon}_{1r}-\varepsilon_{2r}\right)\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\;qrad\;div\int_Q \vec{E}_{1n}\left(q\right)\,G\left(\left|p-q\right|\right)\,d\,V_q + \vec{E}_n^0\cdot \tag{22}$$

Здесь

$$\vec{E}_{\mathrm{n}}^0 = -\,i\,k_n\,\vec{\Pi}_n^0 + \frac{1}{i\,k_n\,\varepsilon_{2r}}\;qrad\;div\;\vec{\Pi}_n^0\;, \tag{23}$$

где $\vec{\Pi}_n^0 = G\left(\left|p-q\right|\right)\,A_n\,\vec{e}$.

Легко показать [14], что ЭП $\vec{E}_n^0$ является полем возбуждаемым плотностью тока $\vec{j} = A_n\,\delta\left(p-p_0\right)\,\vec{e}$ в свободном пространстве, т.е. когда биологический объект отсутствует.

Отметим, что в (22) нельзя внести операцию $qrad\ div$ под знак интеграла, так как функция $\mathrm{G}\left(\left|p-\mathrm{q}\right|\right)$ в этом случае должна дважды дифференцироваться по переменной p, и тогда в силу (21) появится член порядка $\left|p-\mathrm{q}\right|^{-3}$ и соответствующий интеграл потеряет смысл.

Далее, если в (22) считать, что точка $p\in\mathrm{Q}$, то из (15) имеем:

$$\vec{\mathrm{E}}_{1n}\left(p\right) = k_n^2\left(\bar{\varepsilon}_{1r}-\varepsilon_{2r}\right)\int_Q \vec{\mathrm{E}}_{1n}\left(q\right)\,G\left(\left|p-q\right|\right)\,dV_q + $$
$$+\left(\bar{\varepsilon}_{1r}-\varepsilon_{2r}\right)\,qrad\;div\int_Q \vec{\mathrm{E}}_{1n}\left(q\right)\,G\left(\left|p-q\right|\right)\,dV_q + \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\,\vec{\mathrm{E}}_n^0. \tag{24}$$

Легко видеть, что соотношение (24) является интегро-дифференциальным уравнением относительно напряженности электрического поля $\vec{E}_{1n}(p)$ внутри биологического объекта Q.

Если точка $p \notin Q$, то при известном поле $\vec{E}_{1n}(p)$ соотношение (22) позволяет рассчитать электрическое поле вне биологического объекта. Магнитное поле так же легко определить, если известно электрическое поле внутри биологического объекта. Из (18) и (20) получаем:

$$\vec{H}_n(p) = i k_n \left(\bar{\varepsilon}_{1r} - \varepsilon_{2r}\right) \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\, rot \int_Q \vec{E}_{1n}(q)\; G\left(\left|p-q\right|\right)\, dV_q. \quad (25)$$

Таким образом, исходная задача дифракции (13), (14) сведена к интегро-дифференциальному уравнению (24).

Отметим, что определение $\vec{E}_{1n}(p)$ из (24) является сложной вычислительной проблемой. Поскольку (24) представляет собой систему линейных трехмерных интегро-дифференциальных уравнений.

В этой связи необходимо преобразовать уравнение (24) к более простому виду. Один из возможных подходов основан на интегро-дифференциальных формулах теории векторных полей. Как известно, если $\vec{A}$ – векторное поле, компоненты которого являются непрерывно дифференцированными функциями в некоторой области D с границей ∂D, то справедливы следующие формулы:

$$\int_D div\; \vec{A}\; dv = \int_{\partial D} \left(\vec{A}, \vec{n}\right) ds, \quad (26)$$

$$\int_D rot\; \vec{A}\; dv = \int_{\partial D} \left(\vec{A} \times \vec{n}\right) ds, \quad (27)$$

где $\vec{n}$ – единичный вектор внешней нормали к границе области D.

Воспользуемся формулами (26) и (27) и преобразуем уравнения (24), (25).

Имеем:

$$qrad\; div \int_Q \vec{E}_{1n}(q)\; G\left(\left|p-q\right|\right)\, dV_q =$$

$$= qrad \int_{\partial Q} \left(\vec{E}_{1n}(q), \vec{n}(q)\right) G\left(\left|p-q\right|\right)\, ds_q, \quad (28)$$

где $\vec{n}(q)$ – единичный вектор нормали к границе ∂Q, области Q, занимаемой биологическим объектом.

Далее справедлива формула:

$$qrad_P\; G\left(\left|p-q\right|\right) = -qrad_q\; G\left(\left|p-q\right|\right). \quad (29)$$

В (29) индексы P и q обозначают по каким переменным применяется операция $qrad$. Докажем законность (29), используя декартовы координаты.

Пусть $\left(x_p, y_p, z_p\right)$ и $\left(x_q, y_q, z_q\right)$ – декартовы координаты соответственно точек p и q. Тогда имеем:

$$\frac{\partial G\left(\left|p-q\right|\right)}{\partial x_p} = \dot{G}\, \frac{\partial \left|p-q\right|}{\partial x_p} = \dot{G}\, \frac{x_p - x_q}{\left|p-q\right|}, \quad (30)$$

аналогично:

$$\frac{\partial G\left(\left|p-q\right|\right)}{\partial y_p} = \dot{G}\frac{y_p - y_q}{\left|p-q\right|}, \quad \frac{\partial G\left(\left|p-q\right|\right)}{\partial z_p} = \dot{G}\frac{z_p - z_q}{\left|p-q\right|}, \quad (31)$$

В (30) и (31) через $\dot{G}$ обозначена производная функции G по переменной $\left|p-q\right|$ (см. формула (21)). Из (30), (31) имеем:

$$qrad_p\; G\left(\left|p-q\right|\right) = \dot{G}\, \frac{p-q}{\left|p-q\right|}, \quad (32)$$

где $p-q = \left(x_p - x_q\right)\vec{e}_x + \left(y_p - y_q\right)\vec{e}_y + \left(z_p - z_q\right)\vec{e}_z$,

$\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$ – орты декартовой системы координат. Непосредственными вычислениями легко убедиться, что:

$$qrad_q\; G\left(\left|p-q\right|\right) = -\dot{G}\, \frac{p-q}{\left|p-q\right|}, \quad (33)$$

что и требовалось установить.

Воспользовавшись (29) представим (28) в виде:

$$qrad\; div \int_Q \vec{E}_{1n}(q)\; G\left(\left|p-q\right|\right)\, dV_q =$$

$$= -\int_{\partial Q} \left(\vec{E}_{1n}(q), \vec{n}(q)\right) qrad_q\, G\left(\left|p-q\right|\right)\, ds_q, \quad (34)$$

Тогда уравнение (24) преобразуется к следующему виду:

$$\vec{E}_{1n}(p) = k_n^2 \left(\bar{\varepsilon}_{1r} - \varepsilon_{2r}\right) \int_Q \vec{E}_{1n}(q)\; G\left(\left|p-q\right|\right)\, dV_q -$$

$$-\left(\bar{\varepsilon}_{1r} - \varepsilon_{2r}\right) \int_{\partial Q} \left(\vec{E}_{1n}(q), \vec{n}(q)\right) qrad_q\, G\left(\left|p-q\right|\right) ds_q + \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\, \vec{E}_n^0. \quad (35)$$

Уравнение (35) и является искомым интегральным уравнением для электромагнитного поля внутри биологического объекта

Итак, исходная нестационарная задача о взаимодействии последовательности электромагнитных импульсов с биологическим объектом сведена к интегральному уравнению (35) относительно напряженности электрического поля в биологическом объекте.

Применение импульсного электромагнитного поля для уничтожения летающих насекомых-вредителей в садах обусловлено рядом особенностей, к числу которых относятся:

- в качестве одного из основных механизмов действия импульсного электромагнитного излучения на клеточном уровне является концепция ведущей роли биологических мембран в реакциях биологических систем на электромагнитное излучение. Механизмы воздействий электромагнитного поля могут определять соответствующие электрические и магнитные свойства мембранных молекул и процессов с их участием. Механические нарушения и дефекты в мембранах сопряжены с такими важными биологическими процессами как слияние клеток, лизис, секреция, гемолиз и др. Следует предположить, что отклонение мембран от равновесия может произойти под действием импульсного электромагнитного поля за счет локального сжатия в продольном или поперечном направлении.

- **одним из важных** параметров установок для борьбы с насекомыми-вредителями является режим излучения. Под действием света в организме насекомых возникают такие явления, фототаксис, фототропизм и др., которые зависят от продолжительности освещения, его интенсивности и спектрального состава. Лучшее привлекающее воздействие на насекомых будет иметь не пульсирующее излучении, а повышение частоты питающего напряжения целесообразно лишь потому, что это приводит к уменьшению пульсации потока излучения.
- **для защиты** неэлектрифицированных садов следует применять мобильные агрегаты и автономные электрофизические ловушки. Мобильные агрегаты чаще всего конструируются на базе трактора, оснащенного электрическим генератором, питающим световые аттрактанты и поражающее устройство установки. В отличие от стационарных ловушек, мобильный агрегат может проводить обработку во время движения. Применение самоходных установок снижает возникновение на обрабатываемой территории зон скопления насекомых, связанных с явлением "фотонаркоза".

Выводы. 1. Для анализа распределения электрической напряжённости импульсного излучения в летающих насекомых-вредителях в садах следует использовать модель в виде цилиндра, заполненного изотропной диэлектрической средой.

2. В качестве источника электромагнитных импульсов, для уничтожения насекомых рекомендуется выбирать плотность электрического тока, локализованная в среде, окружающей биологический объект.

3. Для преобразования нестационарной задачи, на основе системе уравнений Максвелла, к задаче в частотной области, искомые электромагнитные поля внутри и вне биологического объекта могут быть представлены в виде рядов Фурье.

4. Формула для импульсного поля, усредненного по объему, занимаемому биологическим объектом, можно получить методом интегральных уравнений, основой которых является представление электромагнитного импульсного поля через векторные потенциальные функции и интегральные формулы теории векторных полей.

5. Полученные интегральные уравнения являются основными для анализа распределения электрической напряжённости видеоимпульсов в объёме насекомых и вне их объёма, что позволить определить параметры электрофизической установки.

Список использованных источников

1. Дубик В. Н. Защита плодовых культур от насекомых-вредителей / В. Н. Дубик // Весник национального технического университета "ХПИ". – 2011 – № 12. – С. 121 – 129.

2. Адамова С. В. Методи боротьби зі шкідниками плодових культур / С. В. Адамова, В. А. Мунтян // Праці Таврійського державного агротехнологічного університеу. – 2009. – Вип. 9, Т. 2. – С. 119 – 125.

3. Заруцкий М. М. Обеззараживание микроволнами / М. М. Заруцкий // Защита растений. – 1981. – № 1. – С. 60 – 68.

4. Дубик В. Н. Обоснование оптических аттрактантов для привле-чения ночных насекомых в саду / В. Н. Дубик // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. Общегосударственный научно производственный журнал. – 2010. – № 12 (82). – С. 55 – 61.

5. Harding W. C., Hartssock J. G., Rohwer G. G. Blacklight trap standards for general insect surveys // Bull. Entom. Soc. Amer. – 1966. – V.12. No 1. – P. 31 – 32.

6. Mulhern T. D. New Jersey mechanical trap for moosquito surveys. – New Jersey Agr / Expt. Sta. Circ., 1982. – 421 p.

7. Астахов А. В., Электромагнитное поле / А. В. Астахов, Ю. М. Широков.- М.: Наука, 1980. – 360 с.

8. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны / Л. А. Вайнштейн. - М.: Радио и связь 1988. – 345 с.

Анотація

ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ ЗНИЩЕННЯ КОМАХ-ШКІДНИКІВ У САДАХ

Черенков О. Д., Косуліна Н. Г., Дубік В. М.

Проведені теоретичні дослідження по розподілу електричної напруженості відеоімпульсів усередині комах. Отримані вирази дозволяють визначити біотропні параметри імпульсного електромагнітного поля для знищення комах-шкідників в садах. На цій основі створені ефективні пересувні електрофізичні установки, які дозволять зберегти екологічно чисті плоди і ягоди.

Abstract

RATIONALE ELECTROMAGNETIC PULSE METHOD OF DESTRUCTION OF INSECTS IN GARDENS

O. Cherenkov, N. Kosulina, V. Dubik

Theoretical studies are undertaken on distribution of electric tension of videopulses into insects. The got expressions allow to define the biotrope parameters of the impulsive electromagnetic field for elimination of insects-wreckers in gardens. On this basis effective movable electrophysics options that will allow to save clean garden-stuffs and berries ecologically are created.