

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка

Сілі Іван Іванович

УДК 621.341

**ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНА РАДІОІМПУЛЬСНА
БІОТЕХНОЛОГІЯ І ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ЗНИЩЕННЯ
ШКІДНИКІВ КАРТОПЛІ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Мелітополь

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Федюшко Юрій Михайлович, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри електротехнології і теплових процесів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Косуліна Наталія Геннадіївна, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри технотроніки і теоретичної електротехніки;

доктор технічних наук, професор Аврунін Олег Григорович, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії.

Захист відбудеться « 27 » __ 11 _____ 2015 р. о 10⁰⁰ _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.832.01 у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий « 21 » __ 10 _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Д.Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТИ

Актуальність теми. У сільськогосподарському виробництві України важливе місце займає вирощування картоплі, оскільки картопля містить необхідні речовини для організму людини: вітаміни, органічні кислоти, мікроелементи та ін. Крім того, картопля передусім є продукт харчування, з якого готують сотні різних блюд. Картоплю широко використовують і як сировину для крохмально-паточної, спиртової і ряду інших галузей. Тому з повсюдним вирощуванням картоплі зростають і вимоги до захисту її від комах-шкідників, які впливають на якість і кількість урожаю. Найнебезпечнішим шкідником картоплі є колорадський жук. При середній чисельності від 20 до 40 личинок жуків на кущ картоплі листя знищується повністю, урожай знижується в 15...20 разів або зовсім відсутній.

Нині в Україні для знищення колорадського жука застосовують тільки хімічні препарати: хлорофос, полихлорпиперин, полихлоркамфен, гамма-ізомер, дилор, фталофос та ін. Застосування хімічних препаратів викликає збіднення біоценозу, забруднення біосфери, появу стійких до пестицидів шкідників, підвищення плодючості окремих комах, хрущів та ін. Хімічні препарати, потрапляючи в організм людини через бульби картоплі, знижують імунітет, вражають печінку і інші органи, що призводить до різних захворювань, раннього старіння.

Отже, для збереження і підвищення врожайності картоплі потрібні інші підходи, засновані на застосуванні енергоінформаційної радіоімпульсної технології для знищення колорадського жука.

Пригноблення колорадського жука радіоімпульсним випромінюванням пов'язане не лише з процесом високої швидкості наростання температури в об'єкті, але і з інформаційною дією радіоімпульсного випромінювання на мембрани клітин комах.

Таким чином, дослідження і розробка методу радіоімпульсної біотехнології і електронних систем для знищення колорадського жука і його личинок являється актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Тема дисертаційної роботи пов'язана із загальними Українськими програмами: постановою Президента Національної академії наук України від 25.02.09 р. №55 «Основні наукові напрямки, найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009...2013 роки»;

постановою Кабінету Міністрів України «Про основні напрямки державної аграрної політики на період до 2015 р». По планах НДР і ДКР Таврійського державного агротехнологічного університету були виконані наступні роботи: «Розробка засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України», номер ДР №012U000678; «Імпульсні електромагнітні технології і пристрої для знищення шкідників-комах у сільськогосподарському виробництву», ДР №0110U002503.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення енергозбережної, екологічно чистої і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної технології і радіоімпульсної електронної системи випромінювання для пригнічення життєдіяльності колорадського жука і його личинок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз біологічних характеристик колорадського жука і методів і його пригнічення;
- обґрунтувати біофізичну дію радіоімпульсних випромінювань з метою пригнічення колорадського жука і його личинок;
- розробити модель взаємодії енергоінформаційного радіоімпульсного випромінювання з колорадським жуком;
- на основі теоретичних досліджень визначити біотропні параметри енергоінформаційного радіоімпульсного випромінювання для пригнічення колорадського жука і його личинок;
- провести теоретичне обґрунтування зі створення високостабільних за частотою джерел електромагнітної енергії на лавинно-пролітних діодах (ЛПД) на основі зовнішньої синхронізації сигналом генератора стабілізованого за частотою високодобротним резонатором;
- провести дослідження характеристик синхронізуючого генератора, що стабілізован за частотою високодобротним резонатором прохідного типу;
- провести теоретичний аналіз антенної системи радіоімпульсного випромінювання з визначенням її параметрів;
- провести виробничу перевірку теоретичних і експериментальних досліджень по пригніченню колорадського жука і його личинок енергоінформаційним радіоімпульсним випромінюванням .

Об'єкт дослідження. Процес впливу енергоінформаційного радіоімпульсного випромінювання на життєдіяльність колорадського жука і його личинок.

Предмет дослідження. енергоінформаційна радіоімпульсна

біотехнологія і електронні системи для пригноблення репродуктивної здатності колорадського жука.

Методи дослідження гарантуються на способах рішення диференціальних інтегральних і алгебраїчних рівнянь різного типу; теоретичних положеннях електродинаміки, біофізики; основах електроніки і схемотехніки; математичних методах планування повнофакторного експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в цій роботі:

- уперше, на основі розробленої моделі, теоретично досліджено процес впливу енергоінформаційного радіоімпульсного випромінювання на життєдіяльність колорадського жука і визначені біотропні параметри радіоімпульсного випромінювання для пригноблення його репродуктивних властивостей;

- отримала подальший розвиток теорія аналізу синхронізуючого генератора з високодобротним резонатором прохідного типу для стабілізації частоти, що відрізняється від відомих тим, що в ній елементи зв'язку резонатора пов'язані з його добротністю і параметрами резонансної хвилеводної системи генератора;

- отримала подальший розвиток теорія аналізу широкосмугових антен, яка відрізняється від відомих тим, що в ній обґрунтовані параметри для випромінювання радіоімпульсами сантиметрового діапазону, які залежать від величини тривалості імпульсів;

- уперше математично інтерпретовано вплив біотропних параметрів енергоінформаційного радіоімпульсного випромінювання сантиметрового діапазону на пригноблення життєдіяльності колорадського жука і його личинок.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що отримані результати формують науково-технічну базу зі створення радіоімпульсної біотехнології і електронної системи для пригноблення колорадського жука і його личинок.

Застосування енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології для боротьби з колорадським жуком дозволить виключити хімічні препарати і підвищити врожайність картоплі на 17...20 %.

Результати досліджень апробовані в 2013...2015 рр. у господарствах Сахновщинського району Харківської області. Економічна ефективність від впровадження енергоінформаційної радіоімпульсної технології з пригноблення життєдіяльності колорадського жука склала 25 тис. грн/га.

Особистий вклад здобувача в наукових роботах, написаних в

співавторстві, полягає в наступному:

- у роботі [2] авторові належать теоретичні дослідження за визначенням параметрів широкосмугової антени.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи заслуховували і обговорювали на: 6 міжнародній науково-технічній конференції пам'яті І. І. Мартиненко «Енергозабезпечення технологічних процесів в Агропромисловому комплексі України» (Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я» (Харків, НТУ «ХПІ», 2014 р.); науково-практичній студентській конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2015 р.); міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми енергозабезпечення і енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2014 р.); Міжнародній студентській конференції «Проблеми енергозабезпечення»] (Белгород, БелДСГА, 2014 р.).

Публікації.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 3 статтях у науково-технічних збірниках, 2 статтях у науково-технічних журналах і 3 тезах.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Вона містить 159 сторінок, 33 рисунка, 3 таблиці, 2 додатка на 7 сторінках, список використаних джерел нараховує 136 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, формулюється наукова задача, що розв'язується, розкривається сутність і стан цієї задачі, висвітлюється зв'язок роботи з програмами, планами та темами НДР, формулюються напрямки та наукові задачі дослідження, розв'язання яких забезпечує значущість одержаних результатів. Визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в надрукованих роботах. Надана інформація щодо апробації дисертаційних досліджень.

У першому розділі проведено аналіз методів і пристроїв для

знищення колорадського жука і його личинок.

З аналізу літературних джерел виходить, що серед усіх продовольчих культур картопля займає важливе місце в житті людини. Широкому поширенню картоплі сприяли його смакові і поживні властивості. Картопля є одночасно харчовою, технічною і кормовою культурою.

На врожайність картоплі значно впливають комахи-шкідники, у тому числі і картопляний колорадський жук. Збиток, що наноситься колорадським жуком сільському господарству, в першу чергу картоплярству, величезний. За короткий проміжок часу жуки та їх личинки, живлячись листям і стеблами картоплі, можуть знищити увесь кущ, внаслідок чого урожай різко знижується. Збиток, що наноситься картоплі колорадським жуком, визначається багатьма його особливостями: висока плодючість – одна самиця може відкласти за один раз до 1000 яєць; за літо розвивається до трьох поколінь; колорадський жук швидко пристосовується до отрутохімікатів. Таким чином, шкідливість колорадського жука не знижується, а росте з року в рік. І до теперішнього часу неясно, чи можна знищити його взагалі або хоч би звести його чисельність до мінімуму. Найбільш відомими методами винищування колорадського жука є: агротехнічний, механічний, біологічний, хімічний і фізичний. Фізичний метод засновано на використанні високих і низьких температур, ультразвукових коливань, електромагнітних імпульсних випромінювань, радіаційних випромінювань, за допомогою яких погіршується життєдіяльність шкідника і навіть настає загибель.

Аналіз експериментальних досліджень з дії ЕМП на фізико-хімічні процеси у біологічних об'єктах, що проводяться: в Харківському НТУСХ ім. Петра Василенко під керівництвом О. Черенкова, Ю. Мегеля, М. Лисиченко, Н. Косуліної; у ІРЕ РАН під керівництвом Н. Д. Девяткова; у Новосибірську під керівництвом А. П. Казначеева, показав, що найбільший ефект при знищенні комах слід чекати від енергоінформаційного імпульсного випромінювання сантиметрового або міліметрового діапазону. Практичні результати показують, що електромагнітна енергія може змінювати метаболічні і біосинтетичні процеси в клітинах і при визначених параметрах радіоімпульсного випромінювання (частота слідування імпульсів, шпаруватість, потужність, експозиція) може порушувати мембрани кліткових структур комах. Необхідно також відмітити, що існуючі антенні системи для наших цілей не підходять із-за значних геометричних розмірів і необхідної діаграми направленості. Тому

розробка антен з меншими розмірами і необхідної діаграмою направленості можлива при проведенні теоретичних і експериментальних дослідженнях. Проведений аналіз показує, що у багатьох роботах відсутній аналітичний аналіз щодо застосування радіоімпульсного випромінювання для знищення колорадських жуків. Відсутня методологія визначення чисельних значень біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання, які здатні знищити колорадських жуків, відсутні необхідні ширококугові антени.

У другому розділі проведено теоретичний аналіз впливу радіоімпульсного випромінювання на пригнічення репродуктивної здатності колорадських жуків в рослинному середовищі картоплі. З електродинамічної точки зору шар рослинного середовища вважатимемо ізотропним діелектричним середовищем з відносною діелектричною проникністю ε , питомою провідністю σ і завтовшки h . Введемо декартову систему координат xyz з віссю z перпендикулярній поверхні землі (рис. 1).

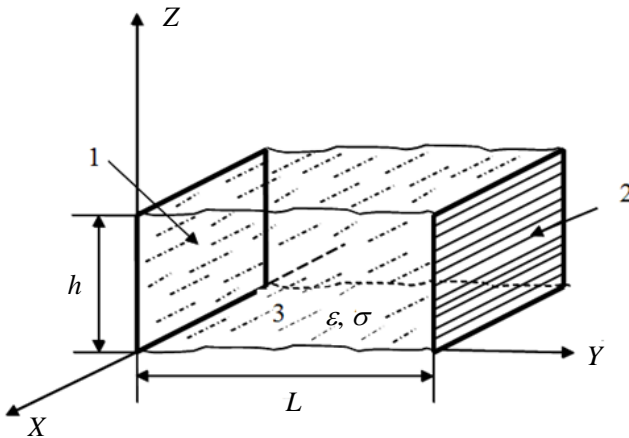


Рис. 1. Електродинамічна модель рослинного середовища картоплі з колорадськими жуками

Площина $z = 0$ співпадає з поверхнею землі. У площині $y = 0$ знаходиться джерело радіоімпульсів, а в площині $y = L$ – металевий відбивач радіоімпульсів. На рис. 1 прийнято наступне позначення: 1 – випромінююча апертура джерела радіоімпульсів; 2 – відбивач радіоімпульсів; 3 – опромінювана ділянка. Припустимо, що джерело радіоімпульсів створює нестационарне ЕМП з векторами напруженості

електричного і магнітного полів, що мають наступні компоненти відносно декартової системи координат xuz :

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

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

Задача полягає в знаходженні рішення нестационарної системи рівнянь Максвелла:

$$\text{rot} \vec{H} = \bar{\varepsilon} \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \bar{\sigma} \vec{E}; \quad (2) \quad \text{rot} \vec{E} = \mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{H} = 0; \quad (4) \quad \text{div} \vec{E} = 0. \quad (5)$$

що задовольняють початковим умовам:

$$\vec{E} \Big|_{t \leq 0} = 0, \quad \vec{H} \Big|_{t \leq 0} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} \Big|_{t \leq 0} = 0, \quad \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \Big|_{t \leq 0} = 0, \quad (7)$$

і крайовим умовам $E_z \Big|_{t=0} = U(t), \quad E_z \Big|_{t=L} = 0. \quad (8)$

Тут ε_0 і μ_0 – діелектрична і магнітна проникності вакууму.

$$\bar{\varepsilon} = \begin{cases} 1, & z > h \\ \varepsilon, & 0 < z < h \\ \varepsilon_1, & z < 0 \end{cases} \quad \bar{\sigma} = \begin{cases} 0, & z > h, \\ \sigma, & 0 < z < h, \\ \sigma_1, & z < 0, \end{cases}$$

ε_1 і σ_1 – відносна діелектрична проникність і питома провідність ґрунту, на якому знаходиться шар рослинного середовища.

Функцію, що представляє радіоімпульс запишемо в наступному вигляді:

$$U(t) = E_0 \begin{cases} \sin \omega t, & 0 < t < \tau \\ 0, & \tau < t < T, \end{cases} \quad (9)$$

де E_0 – максимальна амплітуда радіоімпульсу, τ і T – тривалість і період повторюваності радіоімпульсу ($U(t+T) = U(t)$), $\omega = 2\pi f$, f – частота заповнення радіоімпульсу.

Далі припускатимемо, що ЕМП, що збуджується послідовністю радіоімпульсів (9), практично не залежить від координат. В результаті перетворень нестационарні рівняння Максвелла були зведені до нестационарних хвильових рівнянь:

$$\bar{\varepsilon}\varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} + \bar{\sigma}\mu_0 \frac{\partial E_y}{\partial t} - \Delta E_y = 0, \quad (10)$$

$$\bar{\varepsilon}\varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} + \bar{\sigma}\mu_0 \frac{\partial E_z}{\partial t} - \Delta E_z = 0, \quad (11)$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа.

Надалі, за допомогою перетворень Лапласа, нестационарні хвильові рівняння (10-11) були зведені до рівнянь Гемгольца:

$$\Delta \bar{E}_y - \bar{q}^2 \bar{E}_y = 0, \quad (12) \quad \Delta \bar{E}_z - \bar{q}^2 \bar{E}_z = 0, \quad (13)$$

$$\text{де } \bar{q}^2 = \begin{cases} \varepsilon_0\mu_0\varphi^2, & z > h \\ \varepsilon\varepsilon_0\mu_0 P \left(P + \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} \right), & 0 < z < h. \\ \varepsilon_1\varepsilon_0\mu_0 P \left(P + \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1\varepsilon_0} \right), & z < 0. \end{cases} \quad (14)$$

Загальне рішення рівнянь Гемгольца (13 – 14) було отримане методом розділення змінних в наступному виді:

$$\bar{E}_y = \frac{\bar{U}(P)\alpha^2 h(e^{\alpha z} + e^{2\alpha h} e^{-\alpha z} D) \cdot (e^{-2\beta L} e^{\beta y} + e^{-\beta y})}{\beta(1 - e^{-2\beta L}) \cdot (e^{\alpha h} - 1 + D(e^{\alpha h} - e^{2\alpha h}))}; \quad (15)$$

$$\bar{E}_z = \frac{\bar{U}(P)\alpha \cdot h(e^{\alpha z} - e^{2\alpha h} D e^{-\alpha z}) \cdot (e^{-\beta y} - e^{-2\beta L} e^{\beta y})}{(1 - e^{-2\beta L}) \cdot (e^{\alpha h} - 1 + D(e^{\alpha h} - e^{2\alpha h}))}, \quad (16)$$

$$\text{де} \quad \beta^2 = p^2 \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\varepsilon \cdot p + \sigma / \varepsilon_0}{(\varepsilon + 1) \cdot p + \sigma / \varepsilon_0}, \quad \alpha^2 = q^2 - \beta^2, \quad D = \frac{\beta^2}{\alpha},$$

$$\bar{U}(P) = \frac{E_0 \omega (1 - e^{-P\tau}) (1 - e^{-PT(N_2+1)})}{(P^2 + \omega^2) (1 - e^{-PT})}.$$

Узагальненою характеристикою процесу взаємодії кінцевого числа радіоімпульсів з рослинним шаром картоплі є електричне поле, усереднене за об'ємом опромінюваної ділянки цього шару (рис. 1).

$$E_{\text{сеп}} = \sqrt{E_y^2 + E_z^2} = \frac{2E_0 \omega \tau b (N_2 + 1)}{\pi^2 a \sqrt{\varepsilon} \left(1 + \frac{\omega^2}{b^2 \varepsilon^2}\right)} \times$$

$$\times \sqrt{1 + \left[\frac{(e^{a\tau} \cos b\tau - 1) a \sqrt{\varepsilon} \left(1 + \frac{\omega^2}{b^2 \varepsilon^2}\right)}{T\tau(a^2 - b^2 + \omega^2) b (N_2 + 1)} \right]^2} \quad (17)$$

За допомогою (17) були проведені чисельні розрахунки за визначенням оптимальних параметрів електромагнітного імпульсного сигналу, при яких середнє значення напруженості електричного поля досягає максимального значення (рис. 2).

Як впливає з аналізу результатів, оптимальне значення шпаруватості радіоімпульсу відповідає значенню $Q = 160$, $\tau_u = 10^{-6}$, значення частоти заповнення радіоімпульсу складає $f = 20$ ГГц.

Величину потужності радіоімпульсного ЕМП і час опромінення колорадських жуків та їх личинок в рослинному шарі картоплі визначали, використовуючи модель руйнування клітинних мембран комах під дією наведеного потенціалу.

У результаті розрахунків було встановлено, що для знищення колорадських жуків та їх личинок потужність джерела випромінювання повинна складати 600 Вт, а експозиція 2 с.

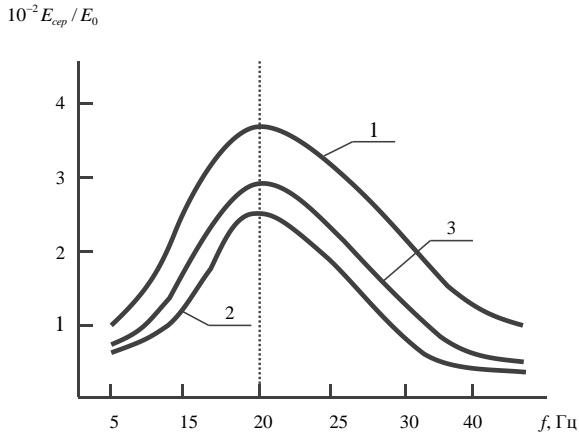


Рис. 2. Залежність нормованого значення електричного поля від частоти заповнення радіоімпульсу : 1 – $Q=160$, 2 – $Q=140$, 3 – $Q=180$.

У **третьому** розділі було проведено аналіз енергетичних параметрів багатодіодного генератора з підсумовуванням потужностей окремих діодів в загальній електродинамічній системі, працюючих на застосуванні режиму зовнішньої синхронізації генератором, стабілізованого по частоті високодобротним об'ємним резонатором «прохідного» типу.

Генератор, що стабілізується, виконаний у вигляді хвилеводно-штирьової конструкції перерізом $11 \times 4 \text{ мм}^2$. Діод ЛПД кріпиться в хвилеводі з використанням металевого круглого стержня, вісь якого паралельна вектору електричного поля у прямокутному хвилеводі поширюється хвиля H_{10}). У якості зовнішнього стабілізуючого резонатора використовується циліндричний резонатор, працюючий на TE_{011} типі коливань і включеного за схемою «на прохід». Зв'язок резонатора з хвилеводною конструкцією здійснюється через отвори зв'язку.

На рис. 3 наведена еквівалентна схема синхронізуючого ГЛПД.

У еквівалентній схемі (рис. 3) металевий стрижень для кріплення діода замінено T -образною еквівалентною схемою. Еквівалентні

параметри стержня представлені реактивністю jX_a , та $-jX_c$, що визначаються розмірами стрижня і розмірами хвилеводу. ЛПД генератор представлено елементами R_{p-n} і X_{p-n} , величина яких визначається шляхом розрахунків. Зовнішній стабілізуючий резонатор характеризується елементами L_p , C_p , G_p . Відстань від осі струмопровідного штиря до площини отвору зв'язку враховано відрізком довжиною лінії l_1 . Перебудова частоти стабілізуючого резонатора здійснюється безконтактним поршнем. Навантаженням генератора є резонансна багатодіодна електродинамічна система, що характеризується елементами L_{pn} , C_{pn} , G_{pn} . У випадку, коли всі діоди включені в пучність ЕП підсумовуючого резонатора, коефіцієнт трансформації можна вважати рівним одиниці. Відстань від отвору зв'язку резонатора до площини навантаження враховано відрізком довжиною лінії l_2 .

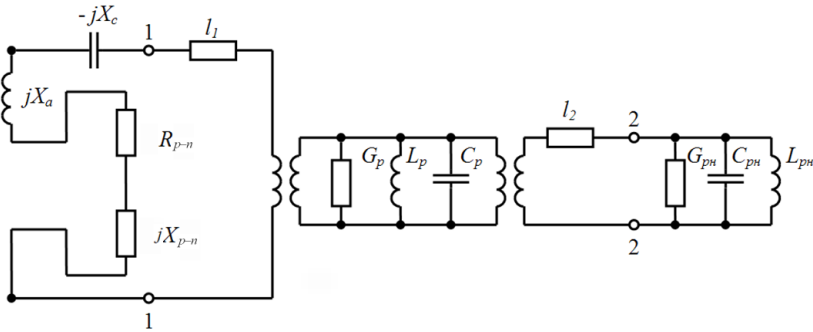


Рис. 3. Еквівалентна схема генератора із зовнішнім стабілізуючим резонатором

В результаті теоретичних досліджень були отримані рівняння для визначення конструктивних параметрів хвилеводної системи синхронізуючого генератора і розмірів отвору зв'язку резонатора з хвилеводною системою:

$$\frac{a_1(1 + tg\beta l_1)}{1 - (2b_1 / Z_0)tg\beta l_1 + 1 / Z_0^2(b_1 + a_1)tg^2\beta l_1} = -R_{p-n}; \quad (18)$$

$$\frac{b_1 + (Z_0 - \frac{b_1^2}{Z_0} - \frac{a_1^2}{Z_0}) \operatorname{tg} \beta l_1 - b_1 \operatorname{tg}^2 \beta l_1}{1 - (2b_1 / Z_0) \operatorname{tg} \beta l_1 + 1 / Z_0^2 (b_1 + a_1) \operatorname{tg}^2 \beta l_1} = (-X_{p-n} + X_a - X_c); \quad (19)$$

$$Z_0 \frac{\frac{Z_0}{Z_2}}{\frac{Z_0^2}{Z_2^2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2} = a_1; \quad (20)$$

$$Z_0 \frac{(\frac{Z_0^2}{Z_2^2} - 1) \cos \beta l_2 \cdot \sin \beta l_2}{\frac{Z_0^2}{Z_2^2} \cos^2 \beta l_2 + \sin \beta l_2} = b_1, \quad (21)$$

де $\lambda_{кр} = 2a$; $a = 11$ мм; $b = 4$ мм; $d = 0,5$ мм; $\lambda = 15$ мм; $Z_0 = 185$ Ом; $\lambda_g = 20,4$ мм; $X_a = 68,4$ Ом; $X_d = X_c = 1,85$ Ом; $R_{p-n} = -2,94$ Ом; $X_{p-n} = -70,4$ Ом; $C_p = 0,0845$ пФ; $L_p = 7,5$ нГн; $Q_p = 5400$; $G = 0,23510^{-5}$ См; $R = 32$ мм; $h = 7,5$ мм; $\delta = 2$ мм; $\beta_1 = \frac{2\pi d_1}{\lambda_g}$;

$$a_1 = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}; \quad b_1 = 0,81 \text{ Ом}; \quad \beta_2 = \frac{2\pi d_2}{\lambda_g}; \quad Z_2 = -10,34 \text{ Ом}.$$

В результаті рішень системи рівнянь (1...4) були отримані величини довжин хвилеводних відрізків $l_1 = 0,4$ см і $l_2 = 1,3$ см, при цьому відносна нестабільність частоти генератора склала величину $1,6 \cdot 10^{-6}$, а величина потужності 728 мВт.

З літературного аналізу виходить, що для вирішення задачі з боротьби проти колорадського жука слід використовувати секторіальні рупорні випромінювачі. *E*-секторіальний рупор найбільш підходить для вирішення поставленої в дисертаційній роботі задачі, оскільки забезпечує ширшу діаграму спрямованості (ДС) в площині, паралельній поверхні землі, а вектор \vec{E} у випромінюючому розкриві буде перпендикулярний поверхні землі.

Випромінюючий розкрив *E*-секторіального рупора приведений на рис. 4.

В результаті теоретичного аналізу були отримані діаграми

спрямованості E -секторіального рупора в площинах xOz і yOz .

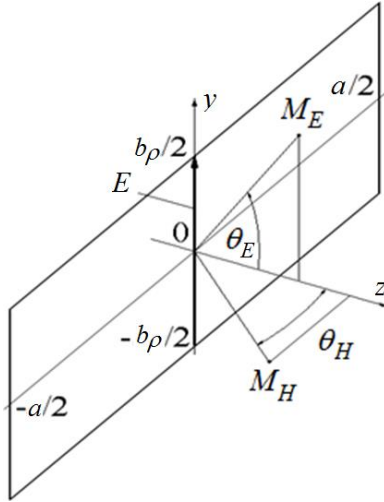


Рис. 4. Випромінюючий розкрит E -секторіального рупора

Виразення, що визначає ДС E -секторіального рупора в площині xOz (див. рис. 2), має наступний вигляд:

$$F_E(\theta_H) = |E_E(\theta_H)/E_E^{\max}(0^\circ)| = \left| F_\Gamma(\theta_H) \frac{\cos\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta_H\right)}{1 - \left(\frac{2a}{\lambda} \sin \theta_H\right)^2} \right|, \quad (22)$$

де $F_\Gamma(\theta_H) = E_\Gamma(\theta_H)/E_\Gamma(0^\circ) = (1 + \cos \theta_H)/2$ – нормована ДС поодинокого випромінювача Гюйгенса в далекій зоні.

Для ДС E -секторіального рупора в площині yOz було отримано вираження:

$$F_E(\theta_E) = \left| \frac{(1 + \cos \theta_E)}{4} \frac{\left\{ M \left[\left[C\left(\frac{\pi}{2} V_1^2\right) + C\left(\frac{\pi}{2} V_2^2\right) \right] - i \left[S\left(\frac{\pi}{2} V_1^2\right) + S\left(\frac{\pi}{2} V_2^2\right) \right] \right] \right\}}{N \left[C\left(\frac{\pi}{2} W^2\right) - i S\left(\frac{\pi}{2} W^2\right) \right]} \right|. \quad (23)$$

$$\text{де } M = \frac{\sqrt{\lambda R_E}}{\sqrt{2}} \exp \left[i \frac{\pi R_E}{\lambda} (\sin \theta_E)^2 \right], \quad V_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{b_p}{\sqrt{\lambda R_E}} - 2 \sqrt{\frac{R_E}{\lambda}} \sin \theta_E \right],$$

$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{b_p}{\sqrt{\lambda R_E}} - 2 \sqrt{\frac{R_E}{\lambda}} \sin \theta_E \right], \quad V_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{b_p}{\sqrt{\lambda R_E}} + 2 \sqrt{\frac{R_E}{\lambda}} \sin \theta_E \right].$$

$$N = \frac{\sqrt{\lambda R_E}}{\sqrt{2}}, \quad W = \frac{b}{\sqrt{2 \lambda R_E}}, \quad C \left(\frac{\pi}{2} V_1^2 \right), C \left(\frac{\pi}{2} V_2^2 \right), S \left(\frac{\pi}{2} V_1^2 \right), S \left(\frac{\pi}{2} V_2^2 \right) -$$

інтеграли Френеля, R_E – довжина рупора.

Чисельний аналіз отриманих виразів показав, що для пригноблення репродуктивної здатності колорадського жука необхідно застосовувати секторіальну рупорну антену з параметрами: поперечні розміри 40×11 мм; довжина рупора 40 мм; ширина діаграми спрямованості по рівню -8 дБ в площині xOz 800 мм; коефіцієнт відображення від розкриття антени не повинен перевищувати величини $3 \cdot 10^{-4}$.

У четвертому розділі наведені експериментальні дослідження розроблених пристроїв і результати виробничого опиту зі знищення колорадських жуків і їх личинок.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень було виготовлено дослідний зразок радіоімпульсного генератора з параметрами: потужність 600 Вт; тривалість радіоімпульсу $1 \cdot 10^{-6}$ с; шпаруватість 160; частота заповнення радіоімпульсів 20 ГГц. Отримання такої потужності було реалізовано на основі 2-х каскадного суматора потужності з 6 діодами типу 3A762A в кожному каскаді і вихідною потужністю в імпульсі 300 Вт.

Для забезпечення низької відносної нестабільності частоти імпульсного джерела в межах $1 \cdot 10^{-6}$ с було розроблено синхронізуючий генератор у якого для стабільності частоти використовувався циліндричний резонатор «прохідного» типу з параметрами: $R = 32$ мм; $h = 20$ мм; $Q = 5450$. Діаметр зв'язку резонатора з хвилеводною системою складає 2 мм. Загальний вигляд синхронізуючого генератора наведено на рис. 5.

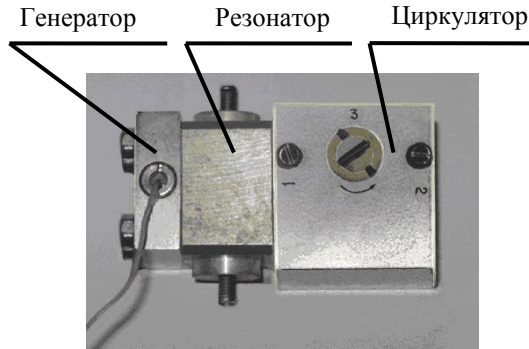


Рис. 5. Зовнішній вигляд конструкції генератора із стабілізуючим об'ємним резонатором на хвилі TE_{011}

Для пригноблення репродуктивної здатності колорадського жука в рослинному середовищі картоплі були проведені дослідження і розроблена секторіальна рупорна антена з параметрами: поперечні розміри 40×11 мм; довжина рупора 40 мм; ширина ДС по рівню -8дБ в площині xOz 800 мм; коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) антени не перевищує величини 1,8. Експериментально було встановлено, що для зменшення часу обробки рослин картоплі радіоімпульсним випромінюванням до двох секунд доцільно застосовувати не окремих випромінювач, а два рупори, рознесених в просторі на 800 мм. В цьому випадку по рівню -5 дБ ширина сумарної ДС складає 1400 мм.

Для визначення оптимальних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота, щільність потоку потужності, експозиція) було проведено багатофакторний експеримент, в якому в якості відгуку на дію радіоімпульсного випромінювання було узятю кількість відкладених яйцекладок самцями колорадського жука. Математична модель, яка описує пригнічення колорадських жуків та їх личинок від дії радіоімпульсного випромінювання наведена у вигляді рівняння регресії:

$$Y = 5 + 2X_1 - 1X_2 + 2X_3 + 2X_1X_2 + 2X_1X_3 + 1X_2X_3 + 2X_1^2 + 1X_2^2 + 1X_3^2, \quad (24)$$

де Y – вихідний параметр (кількість яйцекладок); X_1 – частота заповнення радіоімпульсів; X_2 – щільність потоку потужності; X_3 – час опромінення.

У лабораторно-польових умовах було встановлено, що для знищення колорадських жуків та їх личинок слід використовувати радіоімпульсно випромінювання з параметрами: частота заповнення радіоімпульсів $20 \pm 0,1$ ГГц; експозиція $3 \pm 0,5$ с; щільність потоку потужності 110 мВт/см².

У 2014 р. були проведені досліді з 30 самицями і 10 самцями, які опромінювались радіоімпульсним випромінюванням з оптимальними біотропними параметрами. У контрольній групі використали 30 самиць і 10 самців, але без опромінення. Опитні і контрольні групи поміщалися окремо на кущах картоплі з ізоляцією від зовнішнього середовища. В результаті експерименту було встановлено: кількість відкладених яйцекладів в контрольній групі 26, а в піддослідній 0; кількість живих особин в контрольній групі 100%, а в піддослідній 3%, які надалі виявилися нежиттєздатними. Експеримент з личинками 1...4 стадій розвитку показав, що опромінення личинок радіоімпульсним випромінюванням приводить їх до 100% загибелі.

Виробничі випробування по знищенню колорадських жуків і їх личинок проводили в господарстві Сахновщинського району Харківської області.

У експерименті були використані два гектари картоплі, які оброблялися двічі за сезон. Один гектар оброблявся радіоімпульсним випромінюванням, а інший хімічними препаратами. Виробничий експеримент показав, що картопля оброблена радіоімпульсним випромінюванням зацвіла на 7 днів раніше, а врожай збільшився на 17%, ніж на ділянці з хімічним способом обробки. Обробку радіоімпульсним випромінюванням проводили установкою змонтованою на тракторі «Білорусь», яка рухалася із швидкістю 2,3 км/год. Економічний ефект від застосування радіоімпульсного випромінювання для знищення колорадських жуків склав 25 тис. грн. на гектар.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень в сантиметровому діапазоні довжин хвиль розроблена енергоінформаційна радіоімпульсна технологія і електронна система для знищення колорадських жуків. Впровадження отриманих результатів для знищення жуків та їх личинок без отрутохімікатів дозволяє підвищити врожайність картоплі і виключити забруднення довкілля отрутохімікатами.

1. На підставі аналізу літературних джерел, вітчизняних і зарубіжних публікацій встановлено, що для знищення колорадського жука і його личинок слід використовувати енергоінформаційні радіоімпульсні випромінювання сантиметрового діапазону довжини хвиль, які дозволяють виключити отрутохімікати з технологічного процесу підвищення врожайності картоплі.

2. В процесі теоретичного аналізу розробленої моделі було встановлено, що для знищення колорадських жуків їх слід опромінювати радіоімпульсним випромінюванням з параметрами: тривалість радіоімпульсів $1 \cdot 10^{-6}$ с; шпаруватість радіоімпульсів 160; потужність джерела випромінювання не менше 600 Вт; частота заповнення радіоімпульсів 20 ГГц; час експозиції 1...2 с.

3. Для пригнічення репродуктивної здатності колорадського жука необхідно застосовувати секторіальну рупорну антену з параметрами: поперечні розміри 40×11 мм; довжина рупора 40 мм; ширина діаграми спрямованості по рівню -8дБ в площині xOz 800 мм; коефіцієнт відображення від розкриву антени не повинен перевищувати величини $3 \cdot 10^{-4}$.

4. Для захисту антени від сторонніх речовин (пил, волога) в її розкритт необхідно поміщати діелектричну лінзу з параметрами: діелектрична проникність $\epsilon' = 2,6$; діаметр 40 мм; товщина 10 мм; фокусна відстань 19,5 мм.

5. Для знищення колорадських жуків та їх личинок слід використовувати 12-ти діодне радіоімпульсне джерело сантиметрового діапазону, зібраного за двокаскадною схемою, з параметрами:

- вихідна потужність генератора 580 Вт;
- тривалість радіоімпульсів 10^{-6} с;
- шпаруватість радіоімпульсів 160;
- частота заповнення радіоімпульсів 20 ГГц;
- короткочасна відносна нестабільність частоти заповнення імпульсів $1 \cdot 10^{-6}$ с.

6. Для зменшення часу обробки рослин картоплі з колорадськими жуками радіоімпульсним випромінюванням доцільно застосовувати не окремий випромінювач, а два рупори, рознесених в просторі на 800 мм.

В цьому випадку по рівню -5 дБ ширина сумарної ДС складає 1400 мм.

7. Застосування радіоімпульсної біотехнології для боротьби з

колорадським жуком дозволить виключити хімічні препарати і підвищити врожайність картоплі на 15...17 % в порівнянні з контролем.

8. Економічний ефект від впровадження радіоімпульсної технології по знищенню колорадських жуків складає 25 тис. грн. на гектар.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертації

1. Сілі І. І. Аналіз біофізичного впливу інформаційно-хвильових випромінювань на репродуктивну здатність колорадського жука (*Lepinotarsa decemlineata*) / І. І. Сілі // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. – 209, Ч.1. – С. 269 – 273. (ISSN2222-8594).

2. Сілі І. І. Теоретичний аналіз системи імпульсних інформаційно-хвильових випромінювань для впливу на репродуктивну здатність колорадського жука / І. І. Сілі, Ю. М. Федюшко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – Вип. 15, Т. 2. – С. 104 – 109. (ISSN2078-0877).

3. Сили И. И. Теоретическое исследование для определения параметров *E*-секториального рупора / И. И. Сілі // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – №22(1131). – С.68 – 72. (ISSN2411-2798).

4. 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. (ISSN2226-3780).

5. Сили И. И. Параметры и стабилизация частоты генератора с резонатором проходного типа / И. И. Сили // Энергозбереження, енергетика, енергоаудит. Загальнодержавний науково-виробничий журнал. – 2015. – № 9 (140). – С. 53 –59.(ISSN2313-8890).

Опубліковані праці апробаційного характеру

1. Сілі І. І. Аналіз біофізичного впливу інформаційно-хвильових випромінювань на репродуктивну здатність колорадського жука: тези за матеріалами 6 міжнародної науково-технічної конференції пам'яті І. І. Мартиненко [«Енергозабезпечення технологічних

процесів в агропромисловому комплексі України] (Мелітополь, 10 – 14 червня 2015 р.) // Сілі І. І. // Міністерство освіти і науки України, Таврійський державний агротехнологічний університет, – М.:ТДАТУ, 2015. – С. 53 – 54.

2. Сили І. І. Применение информационно-энергетических излучений для угнетения репродуктивной способности колорадского жука: тези за матеріалами науково-практичної студентської конференції [«Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»] (Харків, 2 квітня 2015 р.) / Сили І. І. // М-во освіти і науки України, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка. – Х.: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2015. – Вип. 7. – С. 12 – 13.

3. Сили І. І. Обоснование требований к электронным системам для уничтожения колорадских жуков: тезисы по материалам научно-практической студенческой конференции [«Проблемы энергообеспечения»] (Белгород, 26 – 27 мая 2014 г.), Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. Б. Я. Горина (Россия). – Белгород, БелГСХА, 2014. – Т. 2. – С. 19.

АНОТАЦІЇ

Сілі І. І. Енергоінформаційна радіоімпульсна біотехнологія і електронні системи знищення шкідників картоплі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2015.

У дисертаційній роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень створена енергоінформаційна радіоімпульсна технологія і електронна система радіоімпульсного випромінювання в сантиметровому діапазоні довжини хвиль для знищення колорадських жуків та їх личинок.

У роботі на основі математичної моделі було досліджено процес взаємодії радіоімпульсного випромінювання з рослинним середовищем картоплі і визначені біотропні параметри радіоімпульсного випромінювання для знищення колорадських жуків. Проведений багатофакторний експеримент показав, що оптимальними біотропними параметрами радіоімпульсного випромінювання для знищення колорадських жуків є: частота

заповнення радіоімпульсів 20 ГГц; щільність потоку потужності 110 мВт/см²; експозиція 2 с; тривалість радіоімпульсів 1·10⁻⁶ с; шпаруватість радіоімпульсів 160. Для виробничого застосування були розроблені: діодний генератор з потужністю 600 Вт; синхронізує джерело на основі високодобротного резонатора прохідного типу; секторіальна антена з діаграмою спрямованості 800 мм.

Виробничий експеримент показав, що картопля оброблена радіоімпульсним випромінюванням зацвіла на 7 днів раніше, а врожай збільшився на 17%, ніж на ділянці з хімічним способом обробки. Економічний ефект від застосування радіоімпульсного випромінювання для знищення колорадських жуків склав 25 тис. грн. на гектар.

Ключові слова: енергоінформаційне радіоімпульсне випромінювання; діодний генератор; синхронізує джерело електромагнітних коливань; колорадський жук; радіоімпульсний захист картоплі.

Сили И. И. Энергоинформационная радиоимпульсная биотехнология и электронные системы уничтожения вредителей картофеля. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко. – Харьков, 2015.

В диссертационной работе на основе теоретических и экспериментальных исследований создана энергоинформационная радиоимпульсная технология и электронная система радиоимпульсного излучения в сантиметровом диапазоне длин волн для уничтожения колорадских жуков и их личинок.

В работе, на основе математической модели, исследован процесс взаимодействия радиоимпульсного излучения с растительной средой картофеля и определены биотропные параметры радиоимпульсного излучения для уничтожения колорадских жуков. Проведенный многофакторный эксперимент показал, что оптимальными биотропными параметрами радиоимпульсного излучения для уничтожения колорадских жуков являются: частота заполнения радиоимпульсов 20 ГГц; плотность потока мощности 110 мВт/см²; экспозиция 2 с; длительность импульсов 1·10⁻⁶ с; скважность

импульсов 160. На основании теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец радиоимпульсного генератора с мощностью 600 Вт на основе 2-х каскадного сумматора мощности. Для обеспечения низкой относительной нестабильности частоты импульсного генератора в пределах $1 \cdot 10^{-6}$ с был разработан синхронизирующий источник, у которого для стабильности частоты использовался цилиндрический резонатор «проходного» типа с параметрами: $R = 32$ мм; $h = 20$ мм; $Q = 5450$. Диаметр связи резонатора с волноводной системой составляет 2 мм. Для угнетения репродуктивной способности колорадского жука в растительной среде картофеля были проведены исследования и разработана секториальная рупорная антенна с параметрами: поперечные размеры 40x11 мм; длина рупора 40 мм; ширина диаграммы направленности по уровню -8 дБ в плоскости xOz 800 мм; КСВН антенны не превышает величины 1,8.

Производственный эксперимент показал, что картофель обработанный радиоимпульсным излучением зацвёл на 7 дней раньше, а урожай увеличился на 17% больше, чем на участке с химическим способом обработки. Экономический эффект от применения радиоимпульсного излучения для уничтожения колорадских жуков составил 25 тыс. грн. на гектар.

Ключевые слова: энергоинформационное радиоимпульсное излучение; диодный генератор; синхронизирующий источник электромагнитных колебаний; колорадский жук; радиоимпульсная защита картофеля.

Sealey I. I. Informational energy radiopulse biotechnology and electronic systems for control of potatoes pests. – Manuscript.

This dissertation is for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.11.17 – biological and medical devices and systems. – Kharkiv National Technical University of Agriculture of Petro Vasilenko. – Kharkiv, 2015.

In dissertation based on theoretical and experimental studies radiopulse energy informational electromagnetic technology and electronic pulse electromagnetic radiation device in the centimeter range of wavelengths were developed. This device allows to destroy Colorado beetles and their larvae.

Based on a mathematical model process of interaction between radiopulse radiation and plants was studied. Biotropic attributes of EMF for

Colorado beetle control were calculated. Conducted experiments showed that optimal biotropic attributes are: pulse filling frequency 20 GHz; power flux density 110 mW /sm^2 ; exposition 2 s; pulse duration $1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$; pulse porosity 160. For practical usage following components were developed: diode generator 600 W; synchronizing based on high-quality pass type resonator; sectorial antenna with radiation of 800 mm.

The production experiment has shown that potato treated with pulsed EMR bloomed 7 day earlier, and the yield has increased by 17% more in the group with chemically treatment. The economic effect of EMF radiopulse radiation use for Colorado beetles control was 25 thousand. UAH per hectare.

Keywords: energy radiopulse radiation; diode generator; synchronizing source of electromagnetic waves; Colorado potato beetle; potato radiopulse protection.

Відповідальний за випуск Левкін А. В.

Підп. до друку 16.10.2015 р.

Комп'ютерний набір та верстка Полянова Н. В.

Формат паперу 60x90 1/16. Папір офсетний.

Умов. арк. 1,2. Тираж 100 пр.

Замовлення № 361

Різограф TR 1510 №80654645

Навчально-методичний відділ

Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Адреса редакції та поліграфпідприємства: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44, кімн. 101.