

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

Никифорова Лариса Євгенівна

УДК 632.935.4:537.868

**НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ
АКТИВАЦІЇ НАСІННЯ ТЕПЛИЧНИХ КУЛЬТУР**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства аграрної політики України.

Наукові консультанти: доктор технічних наук, професор заслужений діяч науки і техніки України, академік УААН **Мартиненко Іван Іванович**, національний аграрний університет, професор кафедри автоматизації сільськогосподарського виробництва;
доктор технічних наук, професор **Червінський Леонід Степанович**, національний університет біоресурсів і природокористування України, завідувач кафедри електроприводу та електротехнологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Смердов Андрій Андрійович**, Полтавська державна аграрна академія, завідувач кафедри фізики, автоматизації і механізації;
доктор технічних наук, професор **Павлов Сергій Володимирович**, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки;
доктор технічних наук, професор **Піротті Євген Леонідович**, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерної математики та математичного моделювання.

Захист відбудеться «4» лютого 2010 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, Артема, 44.

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

Автореферат розісланий «21» грудня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Д. Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У вирішенні продовольчої проблеми України велику роль відіграє виробництво овочевої продукції протягом всього року, що можливе лише при використанні технологій захищеного ґрунту. В Україні на одного мешканця припадає близько $0,25 \text{ м}^2$ площі захищеного ґрунту, тоді як у Франції - $5,6 \text{ м}^2$, у Нідерландах - $5,4 \text{ м}^2$. Тобто, для задоволення потреби населення країни у тепличній продукції, необхідно існуючі площі збільшити у декілька разів. Разом із тим, аналіз літератури та досвід країн із розвинутою галуззю рослинництва свідчать, що перспективним є не просте нарощування посівних угідь, а максимальне підвищення продуктивності рослин.

Середня врожайність огірків та томатів в Україні (найбільш розповсюджених овочів у теплицях) складає $8,5 - 9,0 \text{ кг/м}^2$, тоді як їх потенційна врожайність може досягти $30 - 35 \text{ кг/м}^2$. Однак, реалізувати такий потенціал у середньому по країні вдається лише на $20 - 30\%$. Головними чинниками такого положення є недотримання технології, використання насіння з низькими посівними якостями та відхилення від норми кліматичних факторів, що впливають на ріст та продуктивність тепличних рослин. Частка застосування некондиційного насіння за останні роки виросла до 90% . Внаслідок цього знижується врожайність до 30% , що веде за собою підвищення трудозатрат, енергозатрат та собівартості продукції.

Слід також зазначити, що на отримання всього 1% збільшення врожайності овочевих припадає біля 5% антропогенних витрат, знизити які можливо за умов розроблення нових, менш енергоємних технологій, у тому числі технологій активації насіння. У початковий період свого розвитку рослини тісно пов'язані з насінням, отримуючи від них необхідні для росту та розвитку живильні речовини та будівельний матеріал. У цей період зовнішні фактори роблять найбільш сильний вплив на насіння, викликаючи в них структурні зміни та створюючи передумови для стимуляції або пригнічення процесів життєдіяльності рослин у наступні періоди їх розвитку.

Найбільш ефективними, енергозберігаючими та екологічно чистими є електромагнітні технології передпосівної обробки насіння.

Керуючись інформаційно-резонансною взаємодією електромагнітних випромінювань із біологічними об'єктами, з'являється можливість заміни традиційних технологій на електромагнітні з інформаційним рівнем впливу на насіння тепличних культур з метою підвищення їх урожайності.

Накопичений досвід у вивченні реакцій біологічних об'єктів на вплив низькоенергетичного електромагнітного випромінювання показує, що інформаційна дія електромагнітного поля на метаболічні процеси в

біооб'єктах відбувається лише при певному поєднанні його параметрів (частоти, потужності, модуляції, стабільності частоти джерел випромінювання).

Однак, народногосподарська проблема підвищення врожайності культур рослинництва в закритому ґрунті пов'язана зі значними труднощами через відсутність як теоретичних робіт, що досліджують процеси взаємодії низькоенергетичних електромагнітних полів з насінням із урахуванням їх морфологічної будови, електрофізичних властивостей, внутрішніх електромагнітних полів, так і джерел надвисокої частоти з вихідною потужністю 4000 – 5000 мВт та відносною нестабільністю частоти $10^{-6} - 10^{-7}$.

Тому дослідження впливу електромагнітного поля на насіння, визначення технологічних параметрів їх передпосівної обробки та створення нових електромагнітних технологій є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводилися протягом 1993 – 2008 рр. на базі Таврійського державного агротехнологічного університету відповідно до державних українських наукових програм: науково-технічної програми на 1991–1995 роки “Розвиток досліджень і використання НВЧ-енергії в АПК країни”; Постанови кабінету міністрів України від 22.06.1994 р. № 429 “Про реалізацію пріоритетних напрямків розвитку науки й техніки”; науково-дослідної роботи “НВЧ - електроніка – народному господарству України” (1991-2000 рр.); Постанови кабінету міністрів України від 24 грудня 2001 р. № 1716 “Про затвердження переліку державних наукових і науково-технічних програм пріоритетних напрямків розвитку науки й техніки на 2002 – 2006 роки”; науково-дослідної роботи “Нові технології виробництва та переробки сільськогосподарської продукції”.

За планами НДР і ОКР були виконані такі роботи:

- науково-дослідна робота “Розробка засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (ДР №012U000678);
- науково-дослідна робота “Експериментальні дослідження із впливу ЕМП НВЧ-діапазону на біологічні об'єкти в сільському господарстві” (ДР №0107U008951);
- науково-дослідна робота “Аналіз проблем, пов'язаних із побудовою електротехнологій для обробки насіння на основі ЕМП” (ДР №0104U003720);
- науково-дослідна робота “Практичні аспекти застосування низькоенергетичного електромагнітного випромінювання в медицині й сільському господарстві” (ДР №0103U004246).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення врожайності тепличних культур шляхом застосування електромагнітних

технологій передпосівної обробки насіння на базі теоретичних положень активації насіннєвого матеріалу під впливом низькоенергетичного електромагнітного поля.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні **задачі**:

- дослідити частотний діапазон, що викликає активацію насіння тепличних культур, на основі розробки математичної моделі резонансного поглинання низькоенергетичного електромагнітного поля;
- теоретично дослідити процес впливу низькоенергетичного електромагнітного поля на мембранний транспорт речовин у клітинах з метою визначення щільності потоку потужності й експозиції для їх обробки;
- дослідити та розробити високостабільні джерела надвисокочастотного випромінювання, що перебудовуються за частотою, у твердотільному виконанні для використання в електромагнітних технологіях активації насіння;
- дослідити та обґрунтувати метод додавання потужностей декількох джерел надвисокочастотного випромінювання;
- розробити методику й устаткування технічної системи контролю біоелектричних характеристик насіння для прогнозування результатів електромагнітного опромінення тепличних культур;
- провести експериментальні дослідження з впливу низькоенергетичного електромагнітного поля надвисокочастотного діапазону на насіння тепличних культур з метою уточнення технологічних параметрів, що викликають підвищення врожайності тепличних культур рослинництва.

Об'єкт дослідження. Процеси активації насіння тепличних культур під впливом низькоенергетичного електромагнітного поля.

Предмет дослідження. Закономірності впливу низькоенергетичного електромагнітного поля на активацію насіння та врожайність тепличних культур.

Методи дослідження. Теоретична складова розробки науково-технічних основ створення низькоенергетичних електромагнітних технологій активації насіння базується на застосуванні елементів системного аналізу, методів теоретичної й математичної фізики, теоретичних основ електродинаміки, електроніки й радіоавтоматики, методів розв'язування диференціальних і інтегро-диференціальних рівнянь, теоретичних методів біофізики.

Достовірність наукових положень встановлювалась на основі відповідності результатів теоретичних досліджень – математичних моделювань та обчислювальних експериментів результатам експериментальних досліджень та виробничих випробувань.

Експериментальні дослідження виконувались із використанням методу планування повного факторного експерименту з регресійним та дисперсійним аналізом отриманих даних. Проведення обчислювальних експериментів, оброблення експериментальних даних базувались на використанні програмних засобів.

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

- вперше, на основі розробленої математичної моделі, отримано закономірності резонансного поглинання низькоенергетичного електромагнітного поля в насінні тепличних культур, які дозволяють визначити його частотний діапазон, що забезпечує активацію насіннєвого матеріалу;
- вперше отримано залежності зміни іонного струму в клітинах насіння та мембранного транспорту речовин під впливом низькоенергетичного електромагнітного поля, що дозволяють знайти щільність потоку потужності та експозицію для обробки тепличних культур;
- одержала подальший розвиток теорія створення високостабільних, що перебудовуються за частотою, пристроїв надвисокочастотних випромінювань для передпосівної обробки насіння;
- вперше розроблен метод додавання потужностей джерел надвисокочастотного діапазону на основі відкритих бочкоподібних резонаторів;
- вперше запропонований метод біоелектричних потенціалів для визначення технологічних параметрів електромагнітного поля, що забезпечують підвищення врожайності тепличних культур;
- вперше математично інтерпретована залежність між біоелектричними потенціалами насіння тепличних культур і параметрами діючого на насіння електромагнітного поля (частота, щільність потоку потужності, експозиція).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблено ефективну енергозберігаючу, екологічно безпечну електромагнітну технологію й технічні засоби передпосівної обробки насіння тепличних культур низькоенергетичним електромагнітним полем надвисокочастотного діапазону;
- для забезпечення оптимальних режимів обробки насіння тепличних культур, що призводять до підвищення врожайності, встановлено частотний діапазон, щільність потоку потужності та експозицію діючого електромагнітного поля;
- впровадження результатів дисертаційної роботи здійснено у

плодоовочевому господарстві "Південна сільськогосподарська компанія", тепличному комплексі "Оksamит" Миколаївської області Жовтневого району, фермерському господарстві Мелітопольського району Запорізької області;

- результати теоретичних і практичних розробок використовуються з 2005 року в навчальному процесі при викладанні курсу „Електротехнології в аграрному виробництві” в Таврійському державному агротехнологічному університеті та Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто. У наукових працях, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в такому: у наукових працях [1,2] автору належить розроблення теоретичних положень, пов'язаних із впливом резонансно-періодичного режиму опромінення на розсаду огірків та обґрунтування моніторингу біологічних об'єктів на основі використання в них резонансних явищ; у роботах [11,16] автор провів теоретичні дослідження з розрахунку резонансних частот електромагнітних випромінювань у клітинах рослинних біосистем; у роботі [21] автор обґрунтував електрофізичну модель клітини і її резонансні властивості; у роботі [23,25] обґрунтована інноваційна технологія електромагнітної обробки насіння та технічних засобів експрес-контролю стану рослин.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень і матеріали, що включені до дисертації, доповідались і були обговорені на міжнародних, відомчих та вузівських науково-технічних конференціях, симпозіумах: “Вдосконалення зональних систем машин” (Київ, 1994 р.), “Науково-технічний прогрес в АПК” (м. Мелітополь, 1999-2007 рр.); “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (м. Харків, 2000-2006 рр.); “Землеробська механіка на рубежі сторіч” (м. Мелітополь, 2001 р.); “Применение лазеров в медицине и биологии” (м. Ялта, 2001–2007 рр.); «Проблеми електрифікації та автоматизації сільського господарства», (м. Київ, 2002 р.); ”Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России – использование и технический сервис машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве”. (м. Москва, ГОСНИТИ, 2004 р.); “Автоматизация сельскохозяйственного производства” (м. Углич, РАСХН, ВНИИМЭСХ (ГНУ ВИМ), 2004 р.), «Перспективні інформаційні технології і проблеми управління ризиками на порозі нового тисячоліття» (м. Санкт-Петербург, 2000 р.); “Актуальные проблемы развития АПК” (м. Волгоград 2005 р.); «Науково-інноваційна діяльність і підприємництво в АПК» (м. Мінськ, 2007 р.); “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” (с.м.т. Глеваха, 2007 р.).

Розроблена електромагнітна технологія та технічні засоби експонувались на Міжнародній виставці “Урожай – 2004” (м. Мелітополь, 2004 р.); Міжнародній виставці “АГРО-2005” (м. Київ, 2005 р.), VII Московському Міжнародному салоні інновацій та інвестицій (м. Москва, 2007 р.).

Публікації. Основні результати досліджень викладені у 28 друкованих працях, у тому числі 1 патенті на винахід та 1 тезі доповідей наукової конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації становить 302 сторінки, список використаних джерел містить 224 найменування на 20 сторінок, має 70 ілюстрацій на 64 сторінки, 11 таблиць на 9 сторінок, 5 додатків на 25 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, формулюється наукова проблема, що вирішується; розкривається її сутність і стан; висвітлюється зв'язок роботи з програмами, планами та темами науково-дослідної роботи; формулюється мета і наукові задачі дослідження; визначається наукова новизна та практичне значення одержаних результатів; визначається особистий внесок здобувача в надрукованих роботах; надається інформація щодо апробації дисертаційних досліджень; наводиться перелік робіт, що надруковані з теми дисертації.

У першому розділі “Стан та напрямок вирішення проблеми активації насіння і підвищення врожайності тепличних культур” розкривається об'єктивна реальність низької врожайності культур рослинництва в спорудах закритого ґрунту. Середня врожайність, за даними великих підприємств, становить 10 – 15 кг/м², що на 40 – 50% нижча потенційно можливої.

Аналіз літературних джерел показує, що підвищення врожайності тепличних культур можливе за рахунок методів активації насіння. У наш час відомі хімічні, біологічні й фізичні методи активації насіння.

Хімічні методи передбачають оброблення посівного матеріалу регуляторами росту, інгібіторами, мікродобривами, солями макроелементів.

До біологічних методів належать стимулятори ростових процесів на основі продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, грибів, суспензій, бактерій, які підвищують урожайність тепличних культур до 10%. До недоліків цих методів варто віднести їх негативний вплив на навколишнє середовище й можливість накопичування в біомасі рослин, що приводить до інтоксикації й хронічних захворювань людини.

До фізичних методів обробки насіння відносять термічний, фізико-механічний, фотоенергетичний, радіаційний, магнітний і енергетичний.

Термічний – передбачає витримку насіння протягом тривалого часу при постійній температурі або його нагрівання підігрітою парою з температурою 150°C. Цей спосіб підвищує стійкість технічних культур до 10%, однак є тривалим і енергоємним.

Фізико-механічний – пов'язаний з обробкою насіння повітрям або киснем. Незважаючи на простоту, цей метод тривалий, важко контролюється та є пожежонебезпечним.

Застосування ультразвуку для передпосівної обробки насіння пов'язане із впливом звукових коливань на внутрішньоклітинні процеси, що відбуваються у насінні. У зв'язку зі своєю неоднозначністю та високою ціною обладнання, він не знайшов широкого застосування.

Фотоенергетичні способи використовуються як для обробки насіннєвого матеріалу, так і вегетучих рослин, дають збільшення врожаю до 11%. Головною перевагою фотоенергетичного методу є екологічна чистота обробки.

Використання радіаційного методу для активації насіння приводить до незначного збільшення врожайності й пов'язане з підвищеним ризиком радіаційного зараження.

Застосування поливної води, обробленої постійним магнітним полем, дозволяє збільшити енергію проростання насіння на 3...8%, а врожайність – до 16%. Однак, цей метод не знайшов масового використання.

Аналіз електромагнітних технологій у сільському господарстві показав, що в рослинництві екологічно чистою, ефективною та енергозберігаючою, сприяючою підвищенню врожайності тепличних культур на 40 – 50%, може бути електромагнітна технологія на основі низькоенергетичних електромагнітних полів.

Попередніми дослідженнями встановлено, що при низькоенергетичному впливі електромагнітного поля на насіння бажаний біологічний ефект може бути отриманий тільки при оптимальному поєднанні його технологічних параметрів (частоти, потужності, експозиції, модуляції).

Теоретичні й експериментальні дослідження останніх років, що проведені під керівництвом Н.Д. Девяткова, Є.М. Нефедова, Ф.І. Ізакова, І.І. Мартиненко, І.Ф. Бородіна, Г.Б. Іноземцева, Л.С. Червінського, Л.Ф. Кучина, О.Д. Черенкова, А.С. Черепньова та інших свідчать, що метаболічні процеси в біологічному об'єкті пов'язані з наявністю інформаційних процесів на основі електромагнітних полів міліметрового діапазону довжин хвиль.

Біофізичний аналіз процесів на молекулярному рівні в біооб'єктах

показав, що інформаційна дія низькоенергетичного електромагнітного поля спрямована на азотисті структури ДНК, з якими пов'язаний механізм спадковості й мутацій, причому граничне значення енергії електромагнітного поля повинно перевищувати рівень слабких нековалентних зв'язків у макромолекулі: іонних взаємодій, водневих зв'язків і вандервальсових взаємозв'язків. При цьому платність потоку потужності повинна знаходитись в інтервалі від десятків мкВт/см² до одиниць мВт/см². Біологічна дія низькоенергетичного електромагнітного поля надвисокочастотного діапазону виявлена на клітинному рівні та пов'язана з резонансним характером поглинання електромагнітних випромінювань. Резонансний характер поглинання визначається тим, що між ядром і клітинною оболонкою, заряджених різнополярно, перебувають білки-вібратори, відповідальні за резонансне приймання електромагнітного випромінювання.

Пошуки первинних механізмів впливу низькоенергетичного електромагнітного поля на клітину йдуть паралельно з вивченням молекулярних принципів будови й функціонування мембран. Причому специфічні механізми впливу електромагнітного поля визначають відповідні електричні й магнітні властивості мембран молекул і процесів з їхньою участю.

При дослідженні взаємодії електромагнітного поля із біооб'єктами рослинного походження особливе значення має вибір параметрів, що характеризують стан насіння і рослин на різних стадіях органогенезу. З порівняльного оцінювання існуючих методів і способів контролю біооб'єктів було встановлено, що найбільш інформативним є метод біоелектричних потенціалів. Величина біоелектричних потенціалів відображає реальні процеси обміну речовин і нерозривно пов'язана з фізіологічним станом рослин.

Аналіз літературних джерел також показав, що для створення електромагнітних технологій передпосівної обробки насіння тепличних культур необхідні джерела надвисокочастотних коливань із високими вимогами за спектрально-флуктуаційними та енергетичними характеристиками, які можуть бути створені на основі лавино-пролітних діодів.

На основі проведеного аналізу, зроблено висновок про те, що застосування низькоенергетичного електромагнітного поля для підвищення врожайності рослин пов'язане з найменшими витратами енергії, у порівнянні з іншими методами, при найвищому впливі на інформаційні процеси в насінні і рослинах, оскільки основою життя є обмін речовин, енергії та інформації.

Таким чином, народногосподарська проблема підвищення врожайності

культур рослинництва в закритому ґрунті при мінімальних енергозатратах залишається невирішеною. Для її вирішення необхідно розв'язати науково-прикладну проблему теоретичного обґрунтування застосування низькоенергетичних електротехнологій для передпосівної обробки насіння. Проведений теоретичний аналіз виконаних досліджень в даному напрямку дозволив нам висунути гіпотезу – якщо застосувати низькоенергетичне електромагнітне поле для активації насіння з певними технологічними параметрами, узгодженими з внутрішніми біологічними процесами, що протікають всередині рослинного організму, то можна очікувати максимального підвищення врожайності тепличних культур при мінімальних енергозатратах.

У другому розділі “Моделювання взаємодії електромагнітного випромінювання надвисокочастотного - діапазону з насінням тепличних культур” вирішувались перша та друга завдання досліджень, для чого розглянуто вплив низькоенергетичних коливань надвисокочастотного діапазону на біоенергетичні процеси, які відбуваються на клітинному рівні.

Одним з можливих факторів позитивної дії низькоенергетичного електромагнітного випромінювання на розвиток рослин є його вплив на транспорт іонів через мембрану клітини і живильних речовин із ендосперму всередину зернівки. Дослідження цього процесу можливо лише в тому випадку, коли відомо як розподіляється діюче електромагнітне поле на даних структурах.

Насіння тепличних культур подано у наближеному вигляді як сфера, що заповнена ендоспермом із зернівкою всередині. Сфера оточена тонкою шкіркою. Якщо розглядати дану систему як низько-добротний резонатор, то очевидно, що вона має спектр резонансних частот.

Визначення розподілу електромагнітного поля всередині зернівки зводилось до розв'язання задачі про розсіювання падаючої електромагнітної хвилі на багат шаровій структурі, що має форму вкладених сфер.

Для одержання необхідних результатів приймалось, що центр насіння збігається з центром прямокутної декартової системи координат, а плоска хвиля поширюється нормально до поверхні насіння, а її електричний вектор направлений по дотичній до поверхні (рис.1). Крім того, для спрощення припускалось, що центр зернівки збігається з центром насіння.

Вважалось, що кожний з шарів насіння є однорідним, тобто має постійну діелектричну проникність. Діелектричну проникність середовища, що оточує насіння, позначено ϵ_0 , так само позначено і проникність шкірки; проникність ендосперму позначено ϵ_1 , а зернівки – ϵ_2 .

Для розв'язання задачі падаюче поле розкладалось за двома векторними сферичними хвильовими функціями $\vec{M}$ і $\vec{N}$.

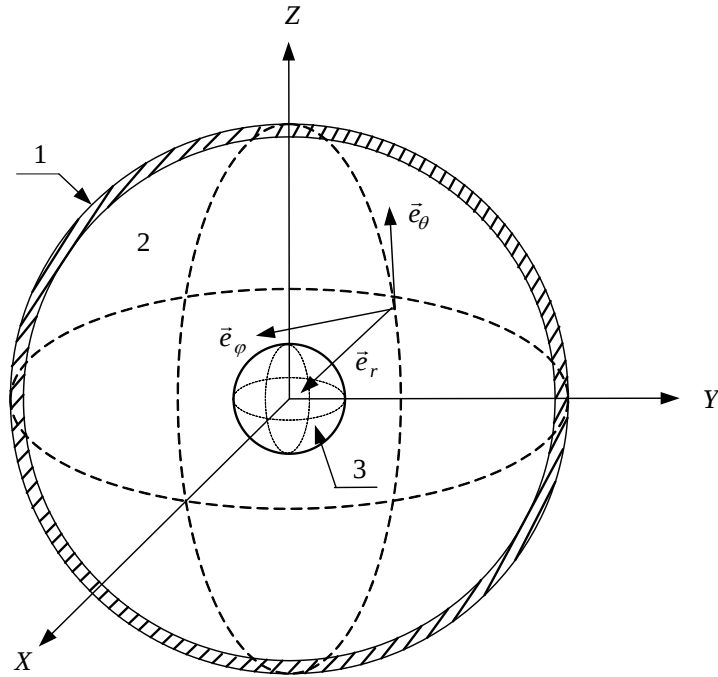


Рис. 1. Падіння плоскої електромагнітної хвилі на насіння:

1 – шкірка насіння;

2 – ендосперм;

3 – зернівка; $\vec{e}_r$, $\vec{e}_\varphi$, $\vec{e}_\theta$ – координатні орти

У цьому випадку електрична $\vec{E}^{nad}$ і магнітна $\vec{H}^{nad}$ компоненти падаючого поля у сферичній системі координат подано у вигляді:

$$\vec{E}^{nad} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{no}^+ - i \vec{N}_{ne}^+); \quad (1)$$

$$\vec{H}^{nad} = -\frac{k_1 E_0}{\mu_0 \omega} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{ne}^+ + i \vec{N}_{no}^+),$$

де n – номер гармоніки падаючого поля;

E_0 – амплітуда електричної складової падаючого поля;

$i = \sqrt{-1}$.

$$\vec{M}_{n_e^o}^+ = \sqrt{\frac{\pi}{2k_1 r}} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \left[\pm \vec{e}_\theta \frac{1}{\sin \theta} P_n^{(1)}(\cos \theta) \cos \varphi - \right. \\ \left. - \vec{e}_\varphi \frac{d}{d\theta} P_n^{(1)}(\cos \theta) \sin \varphi \right]; \quad (2)$$

$$\vec{N}_{n_e^o}^+ = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{k_1 r} \left\{ \vec{e}_r \frac{n(n+1)}{\sqrt{k_1 r}} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) P_n^{(1)}(\cos \theta) \sin \varphi + \right. \\ \left. + \vec{e}_\theta \left[\sqrt{k_1 r} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \right]' \frac{d}{d\theta} P_n^{(1)}(\cos \theta) \sin \varphi \pm \right. \\ \left. \pm \vec{e}_\varphi \frac{1}{\sin \theta} \left[\sqrt{k_1 r} J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r) \right]' P_n^{(1)}(\cos \theta) \cos \varphi \right\}, \quad (3)$$

де $P_n^{(1)}(\cos \theta)$ – приєднані функції Лежандра;

$J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r)$ – функції Бесселя першого роду напівцілого порядку;

$\vec{e}_r, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_\theta$ – координатні орти;

похідна береться за змінною $(k_1 r)$;

$k_1 = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \mu_0}$ – хвильове число в навколишньому середовищі зернівки;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота падаючої хвилі;

індекси o або e означають вибір верхнього або нижнього варіанта тригонометричної функції й знака.

Компоненти розсіяної хвилі – $\vec{E}^{poz.}, \vec{H}^{poz.}$, у цьому випадку, мають вигляд:

$$\begin{cases} \vec{E}^{poz.} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n^{poz.} \vec{M}_{no}^- - i b_n^{poz.} \vec{N}_{ne}^-); \\ \vec{H}^{poz.} = -\frac{k_1}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n^{poz.} \vec{M}_{ne}^- + i a_n^{poz.} \vec{N}_{no}^-), \end{cases} \quad (4)$$

де $a_n^{poz.}$ й $b_n^{poz.}$ – коефіцієнти відбиття для електричної й магнітної складової падаючого електромагнітного поля.

Функції $\vec{M}_{n_e^o}^-$ й $\vec{N}_{n_e^o}^-$ отримувались з $\vec{M}_{n_e^o}^+$ і $\vec{N}_{n_e^o}^+$ за допомогою заміни

$J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r)$ на функцію Ханкеля другого роду напівцілого порядку $H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 r)$, при цьому слід зазначити, що знак плюс ставився до падаючих полів, а мінус – до розсіяних.

Нарешті, внутрішнє поле визначалось за допомогою виразів:

$$\begin{cases} \vec{E} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \vec{M}_{no} - i b_n \vec{N}_{ne}); \\ \vec{H} = -\frac{k}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n \vec{M}_{ne} + i a_n \vec{N}_{no}), \end{cases} \quad (5)$$

де a_n й b_n – коефіцієнти проходження електричної й магнітної складової падаючого електромагнітного поля усередину зернівки.

З урахуванням деформації зернівки, був отриманий розв'язок для електричної й магнітної складової внутрішнього поля зернівки:

$$E_r = \frac{3E_0 b_1}{k_2^2 r^2} \sin \theta \cos \varphi \left\{ \frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right. \quad (6)$$

$$\left. + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\sin k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + 3 \cos k_2 r \right] \right\};$$

$$E_\varphi = i \frac{3E_0}{2kr} \left\{ a_1 \sin \varphi \cos \theta \left[\cos kr - \frac{\sin kr}{kr} + \right. \quad (7)$$

$$+ \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\sin kr \left(\frac{2}{kr} - kr \right) - 2 \cos kr \right] + \right.$$

$$+ i b_1 \sin \varphi \left[\sin k_2 r \left(1 - \frac{1}{k_2^2 r^2} \right) + \frac{\cos k_2 r}{k_2 r} + \right.$$

$$\left. \left. + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\cos k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + \sin k_2 r \left(\frac{3}{k_2^2 r^2} - 2 \right) \right] \right] \right\};$$

$$\begin{aligned}
E_{\theta} = & i \frac{3E_0}{2k_2 r} \left\{ a_1 \cos \varphi \left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right. \right. \\
& + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\sin k_2 r \left(k_2 r - \frac{2}{k_2 r} \right) + 2 \cos k_2 r \right] \left. \right] - \\
& - i b_1 \cos \varphi \cos \theta \left[\sin k_2 r \left(1 - \frac{1}{k_2^2 r^2} \right) + \frac{\cos k_2 r}{k_2 r} + \right. \\
& + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\cos k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + \sin k_2 r \left(\frac{3}{k_2^2 r^2} - 2 \right) \right] \left. \right] \left. \right\};
\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
H_r = & \frac{3E_0 a_1}{\omega \mu_0 k_2 r^2} \sin \theta \sin \varphi \left\{ \frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right. \\
& + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\sin k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + 3 \cos k_2 r \right] \left. \right\};
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
H_{\varphi} = & i \frac{3E_0}{2\omega \mu_0 r} \left\{ b_1 \cos \theta \cos \varphi \left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right. \right. \\
& + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\sin k_2 r \left(k_2 r - \frac{2}{k_2 r} \right) + 2 \cos k_2 r \right] \left. \right] - \\
& - i a_1 \frac{\cos \varphi}{2} \left[\sin k_2 r \left(1 - \frac{1}{k_2^2 r^2} \right) + \frac{\cos k_2 r}{k_2 r} + \right. \\
& + \alpha (\sin l \varphi + \sin m \theta) \left[\cos k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + \sin k_2 r \left(\frac{3}{k_2^2 r^2} - 2 \right) \right] \left. \right] \left. \right\};
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
H_{\theta} = i \frac{3E_0}{2\omega\mu_0 r} & \left\{ b_1 \sin\varphi \left[\frac{\sin k_2 r}{k_2 r} - \cos k_2 r + \right. \right. \\
& + \alpha (\sin l\varphi + \sin m\theta) \left[\sin k_2 r \left(k_2 r - \frac{2}{k_2 r} \right) + 2 \cos k_2 r \right] \left. \right] - \\
& - i a_1 \frac{\sin\varphi \cos\theta}{2} \left[\sin k_2 r \left(1 - \frac{1}{k_2^2 r^2} \right) + \frac{\cos k_2 r}{k_2 r} + \right. \\
& \left. \left. + \alpha (\sin l\varphi + \sin m\theta) \left[\cos k_2 r \left(k_2 r - \frac{3}{k_2 r} \right) + \sin k_2 r \left(\frac{3}{k_2^2 r^2} - 2 \right) \right] \right] \right\}. \quad (11)
\end{aligned}$$

З виразів (6 – 11) витікає, що ступінь викривлення розподілу, що розглядається, буде залежати від ступеня деформації зернівки, тобто від величини параметра α .

Вирази (6 – 11) було використано для теоретичного визначення технологічних параметрів електромагнітного поля.

Таким чином, на основі математичної моделі отримані закономірності резонансного поглинання електромагнітного поля в насінні тепличних культур, які дозволяють визначити його частотний діапазон, що забезпечує активацію насіння. Для тепличних культур він складає 37 – 38 ГГц.

Для визначення щільності потоку потужності й експозиції електромагнітного поля, що впливає на насіння тепличних культур, було проведено теоретичне дослідження дії даного поля на мембранний транспорт речовин.

У результаті теоретичних досліджень було отримано вираз для іонного струму, обумовленого дією надвисокочастотного поля:

$$\begin{aligned}
I_{EMH} = -4\pi R^2 & \left[\frac{z_i^2 F^2 \varphi P_i l}{RT} \times \right. \\
& \times \frac{n_i^{int} e^{\frac{2z_i F \varphi}{RT}} + e^{\frac{z_i F \varphi}{RT}} \left[\frac{z_i^2 F \varphi}{RT} (n_i^{ext} - n_i^{int}) - n_i^{ext} - n_i^{int} \right] + n_i^{ext}}{\left(e^{\frac{z_i^2 F^2 \varphi}{RT}} - 1 \right)^2} E + \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\partial E}{dt} \left. \right], \quad (12)
\end{aligned}$$

де Z_i – зарядове число іона i ;

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}} - \text{постійна Фарадея};$$

φ – електричний потенціал;

P_i – коефіцієнт проникності іона;

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} - \text{газова постійна};$$

n^{ext} і n^{int} – концентрації іонів поза і усередині мембрани, відповідно.

Чисельний аналіз виразу (12) дозволив визначати щільності потоку потужності і експозицію електромагнітного поля для обробки насіння.

Таким чином, на підставі теоретичних досліджень з впливу низькоенергетичного електромагнітного поля на мембранний транспорт речовин в рослинах, отримані залежності зміни іонного струму в клітинах насіння, що дозволило визначити щільність потоку потужності та експозицію діючого електромагнітного поля. Для тепличних культур щільність потоку потужності складає $10 - 15 \text{ мВт/см}^2$, експозиція – $10 - 15$ хвилин.

У **третьому розділі** “Теоретичне обґрунтування створення високостабільних за частотою джерел надвисокочастотних випромінювань у твердотільному виконанні” вирішувалась третя та четверта задачі досліджень. Було проведено обґрунтування зі створення джерел надвисокочастотних випромінювань для передпосівного оброблення насіння тепличних культур з визначенням вимог за спектральними та флуктуаційними характеристиками. Показано, що традиційно відомі методи побудови радіоелектронних пристроїв не відповідають високим вимогам, специфічним для електромагнітних технологій у рослинництві. Тому було розглянуто питання створення джерел надвисокочастотних випромінювань у твердотільному виконанні, які поряд з вихідною потужністю повинні задовольняти вимогам за стабільністю частоти.

Аналіз методів стабілізації частоти таких джерел показав, що для цілей електромагнітних технологій варто використовувати метод стабілізації частоти за допомогою високодобротних зовнішніх резонаторів. Для задоволення вимог за найбільшою вихідною потужністю $4000 - 5000 \text{ мВт}$ і відносною нестабільністю частоти $10^{-6} - 10^{-7}$ була досліджена схема генератора на лавино-пролітному діоді (ЛПД) з резонатором, увімкнутим за схемою на відбиття. Для оптимізації енергетичних, спектральних і конструктивних характеристик генератора, активним елементом якого є ЛПД, було отримано значення активної й реактивної провідності ЛПД з урахуванням параметрів корпусу:

$$R_d(\omega) = \frac{1}{\omega \cdot C_d} \cdot \left(1 - \frac{l_{\bar{o}}}{l_w}\right) \cdot \frac{\beta_{\ell}^2}{1 - \beta_{\ell}^2 + \delta^2} \cdot \left[(1 - \beta_{\ell}^2) \cdot \xi(\theta) - \delta \cdot \lambda(\theta)\right]; \quad (13)$$

$$X_d(\omega) = -\frac{1}{\omega \cdot C_d} \cdot \left\{1 + \frac{\beta_{\ell}^2}{(1 - \beta_{\ell}^2) \cdot \delta} \cdot \left(1 - \frac{l_{\bar{o}}}{l_w}\right) \cdot \left[\delta \cdot \xi(\theta) + (1 - \beta_{\ell}^2) \cdot \xi(\theta)\right]\right\}; \quad (14)$$

де C_d – ємність p - n -переходу діода при $U = U_{np}$;

$$\beta_{\ell}^2 = \frac{\omega_{\ell}^2}{\omega^2};$$

$$\delta = \omega \cdot \tau \cdot l_{\bar{o}} = \omega \cdot l_{\bar{o}} \cdot \vartheta;$$

$$\omega_{\ell} = \frac{1}{\sqrt{L_{\bar{o}} \cdot C_d}};$$

$$\xi(\theta) = \frac{1 - \cos \theta}{\theta};$$

$$\lambda(\theta) = \frac{\sin \theta}{\theta} + \frac{l_{\bar{o}}}{l_w - l_{\bar{o}}};$$

θ – кут прольоту носіїв заряду;

$\tau \cdot \left(l_w - \frac{l_{\bar{o}}}{2}\right) \cdot \frac{1}{\vartheta}$ – час прольоту носіїв заряду дрейфової області;

$l_{\bar{o}}$ – ширина еквівалентного шару множення;

$L_{\bar{o}}$ – лавинна індуктивність шару множення.

$$R'_d(\omega) = R_s + \frac{R_d}{1 - 2 \cdot \omega \cdot C_k \cdot X_d + \omega^2 \cdot C_k^2 \cdot X_d^2 - \omega^2 \cdot C_k^2 \cdot R_d^2}; \quad (15)$$

$$X'_d(\omega) = \frac{\omega \cdot L_k + X_d - \omega \cdot C_k \cdot X_d^2 - \omega \cdot C_k \cdot R_d^2}{1 - 2 \cdot \omega \cdot C_k \cdot X_d + \omega^2 \cdot C_k^2 \cdot X_d^2 - \omega^2 \cdot C_k^2 \cdot R_d^2}, \quad (16)$$

де R_s – опір бази діода;

L_k і C_k – індуктивність і ємність корпусу діода.

Для дослідження частотних і енергетичних характеристик генератору на ЛПД було обрано радіально-хвильоводну систему (рис. 2).

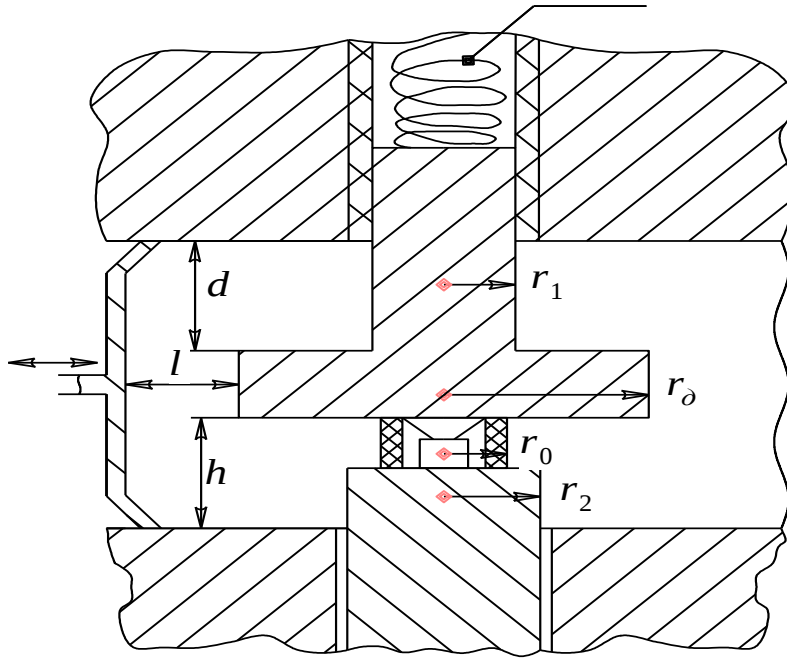


Рис. 2. Генератор на ЛПД з радіально-хвильовим резонатором

Коливальна система генератора на ЛПД являє собою прямокутний хвильвід перерізом $7,2 \times 3,4$ мм, у центрі якого розташовані циліндричні металеві стрижні з радіусом r_1 і r_2 . На торці стрижня з радіусом r_1 у Н-площині укріплений диск радіусом r_0 . Положення диска впливає на частоту й потужність коливань, що генеруються. Для визначення резонансних частот генератора на ЛПД було отримано рівняння:

$$\begin{aligned}
 & \frac{Z_0 \cdot (R_d'')^2 \cdot \operatorname{tg} \beta l + (X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0}) \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l \cdot (Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l + X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0})}{(R_d'')^2 + Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l \cdot (Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l + X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0})} + \\
 & + \frac{h \cdot Z_{01} \cdot \sin(\theta - \theta_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \cos(\psi - \theta_1)} + \\
 & + \frac{Z_{01} \left[\frac{h \cdot Z_{01} \cdot \sin(\theta - \theta_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \cos(\psi - \theta_1)} \cdot \cos(\theta - \psi_2) + Z_{02} \cdot \sin(\theta - \theta_2) \right]}{\left[Z_{02} \cdot \cos(\psi - \theta_2) - (X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0}) \cdot \sin(\psi - \psi_2) \right]^2 + [(R_d'' \cdot \sin(\psi - \psi_2))]^2} \times \\
 & \times \left[Z_{02} \cdot \cos(\psi - \theta_2) - (X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0}) \cdot \sin(\psi - \psi_2) \right] = 0,
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$\text{де } Z_1 = j \cdot \frac{h \cdot Z_{01} \cdot \sin(\theta - \theta_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_\partial \cdot \cos(\psi - \theta_1)}; \quad Z_1 = j \cdot \frac{h \cdot Z_{01} \cdot \sin(\theta - \theta_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_\partial \cdot \cos(\psi - \theta_1)}$$

$$Z_{01} = \eta_1 \cdot \frac{G_0(kr_\partial)}{G_1(kr_\partial)};$$

$$\eta_1 = 377 \text{ Ом};$$

$$G_0(kr_\partial) = \sqrt{J_0^2(kr_\partial) + N_0^2(kr_\partial)};$$

$$\theta = \arctg \left[\frac{N_0(kr_\partial)}{J_0(kr_\partial)} \right];$$

$$G_1(kr_\partial) = \sqrt{J_1^2(kr_\partial) + N_1^2(kr_\partial)};$$

$$\psi = \arctg \left[\frac{J_1(kr_\partial)}{-N_1(kr_\partial)} \right];$$

$$\theta_1 = \arctg \left[\frac{N_0(kr_\partial)}{J_0(kr_\partial)} \right];$$

$J_1(kr_\partial)$ і $N_1(kr_\partial)$ – функції Бесселя й Неймана;

k – хвильове число;

$$Z_\pi = -j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_0} + Z_d;$$

$$Z_d = R''_d + j''_d;$$

$$C_0 = 0,886 \cdot \frac{\pi}{d_1} \cdot (r_2^2 - r_0^2);$$

r_0 – радіус діода;

$$Z_2 = Z_{01} \cdot \left[\frac{Z_1 \cdot \cos(\theta - \psi_2) + j \cdot Z_{02} \cdot \sin(\theta - \theta_2)}{Z_{02} \cdot \cos(\psi - \theta_2) + j \cdot Z_\pi \cdot \sin(\psi - \psi_2)} \right];$$

$$\psi_2 = \arctg \left[\frac{N_0(kr_2)}{J_0(kr_2)} \right];$$

$$Z_{02}(kr_2) = \eta_1 \cdot \frac{G_0(kr_2)}{G_1(kr_2)};$$

$$G_0(kr_2) = \sqrt{J_0^2(kr_2) + N_0^2(kr_2)};$$

$$G_1(kr_2) = \sqrt{J_1^2(kr_2) + N_1^2(kr_2)};$$

h – висота радіальної лінії.

Зміна вихідної потужності генератора на ЛПД у діапазоні частот 36 – 39 ГГц для різних розмірів диска було отримано з виразу:

$$P_{\text{вих}} = \frac{I_1^2 \cdot R_e}{2}, \quad (18)$$

де I_1 – амплітуда нульової гармоніки струму;

$$R_e = \frac{\left(\frac{1}{\omega \cdot C_0} - X_d'' \right) \cdot Z_0 \cdot R_d'' \cdot \operatorname{tg} \beta l + Z_0 \cdot R_d'' \cdot \operatorname{tg} \beta l \cdot \left[Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l + \left(X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0} \right) \right]}{R_d'' + \left(Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta l + X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0} \right)^2} +$$

$$+ \frac{Z_{01} \cdot R_d'' \cdot \sin(\psi - \psi_2) \cdot \left[\frac{h \cdot Z_{01} \cdot \sin(\theta - \theta_1)}{2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \cos(\psi - \theta_1)} \cdot \cos(\theta - \psi_2) + Z_{02} \cdot \sin(\theta - \theta_2) \right]}{\left[Z_{02} \cdot \cos(\psi - \theta_2) - \left(X_d'' - \frac{1}{\omega \cdot C_0} \right) \cdot \sin(\psi - \psi_2) \right]^2 + [R_d'' \cdot \sin(\psi - \psi_2)]^2}.$$

Чисельний аналіз отриманих результатів показав, що зі збільшенням висоти радіальної лінії (h) частота генерації зменшується, а зменшення діаметра диска приводить до збільшення частоти генерації. Максимальна смуга частот перебудови при зміні h від 0,2 мм до 0,6 мм становить 20%. Максимальний рівень вихідної потужності становить 620 мВт при висоті

радіальної лінії $h = 0,4$ мм і відношенні $d/a = 0,52$, при цьому коефіцієнт корисної дії генератора становить 14%.

Таким чином, для розроблення генератора на лавинопролітних діодах з вихідною потужністю 4 – 5 Вт в діапазоні частот 36 – 39 ГГц запропоновано використовувати радіально-хвильовий резонатор з параметрами: радіальна висота лінії $h = 0,4$ мм; відношення діаметра диска до ширини хвильоводу $\frac{d}{a} = 0,52$.

Для стабілізації частоти генератора на ЛПД був застосований зовнішній високодобротний резонатор, що може збільшувати стабільність частоти генератора до двох порядків. Для аналізу стабільності частоти була розглянута еквівалентна схема генератора на ЛПД (рис. 3).

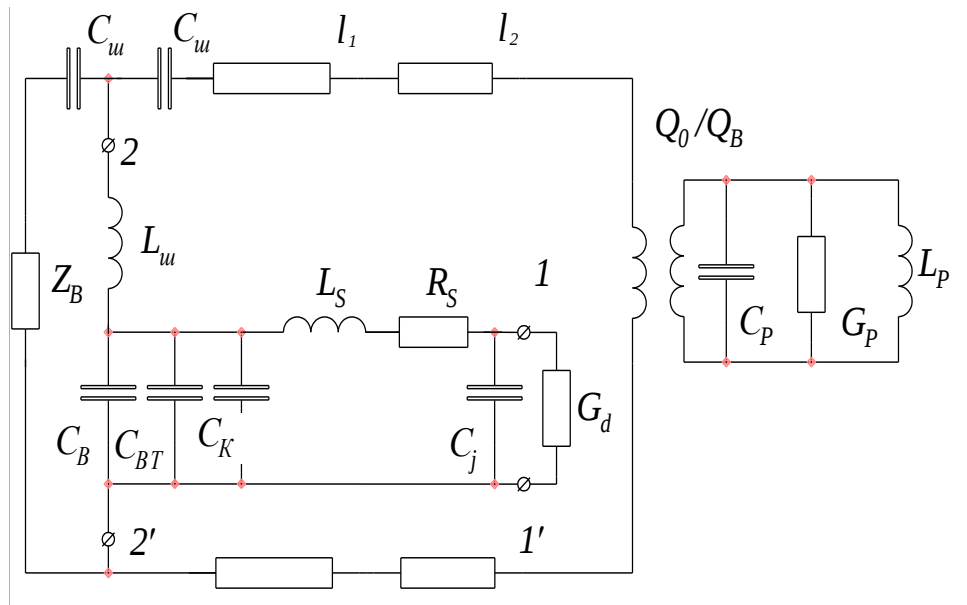


Рис. 3. Еквівалентна схема генератора на ЛПД

Елементи L_{uh} , C_{uh} , C_{BT} , C_B характеризують параметри штиря у хвильоводі, величина яких визначається розрахунковим шляхом. ЛПД поданий елементами C_K , L_S , R_S , C_j , G_d . Зовнішній резонатор характеризується елементами G_P , C_P , L_P . Відстань від осі струмопровідного штиря до площини отвору зв'язку враховано відрізком лінії l_1 , а наявність діафрагми зв'язку відбито введенням ідеального трансформатора й додатковою лінією l_2 . Ступінь зв'язку резонатора з хвильоводним трактом визначалася відношенням

Q_0/Q_e (Q_0 і Q_e – зовнішня й власна добротності резонатора, відповідно).
Навантаження генератора Z_e приймається узгодженим.

Для режиму стаціонарних коливань були використані вирази:

$$\left. \begin{aligned} G_c(\omega) + G_d(\omega, U_m, I_0) &= 0; B_c(\omega) + B_d(\omega, U_m, I_0) = 0; \\ \frac{\delta(B_d + B_c)}{\delta\omega} &> 0; \frac{\delta(G_d)}{\delta U_m} < 0. \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

де G_d , G_c і B_d , B_c – активна й реактивна складові провідності ЛПД і над високочастотних систем, відповідно;

U_m – амплітуда напруги на активному елементі;

ω – кутова частота;

I_0 – струм живлення діода.

Для визначення втрат потужності (L) на стабілізацію частоти, коефіцієнта S і зовнішньої добротності генератора були отримані вирази:

$$L = -10 \cdot \lg \frac{G_{C2} + G_{H2}}{G_{H2}}, \omega = \omega_2;$$

$$S = \frac{\Delta(B_d + B_c)_{cm}}{\Delta\omega} \bigg/ \frac{\Delta(B_d + B_c)_{nc}}{\Delta\omega}, \omega = \omega_2, \omega \rightarrow 0;$$

$$Q_{en} = \frac{\omega_2}{2 \cdot G_{H1}} \cdot \frac{\Delta(B_d + B_c)}{\Delta\omega},$$

де G_{C2} й G_{H2} – відповідні активні складові провідності надвисокочастотної системи і навантаження генератора на клемах 2-2';

індекс *cm* ставиться до стабілізованого, а *nc* – до генератора із закороченим зовнішнім резонатором;

ω_0 – частота нестабілізованого генератора.

На рис. 4. наведені залежності втрати потужності на стабілізацію (L) та коефіцієнта стабілізації частоти (S) від резонансної частоти резонатора, що стабілізує ω_p/ω_0 .

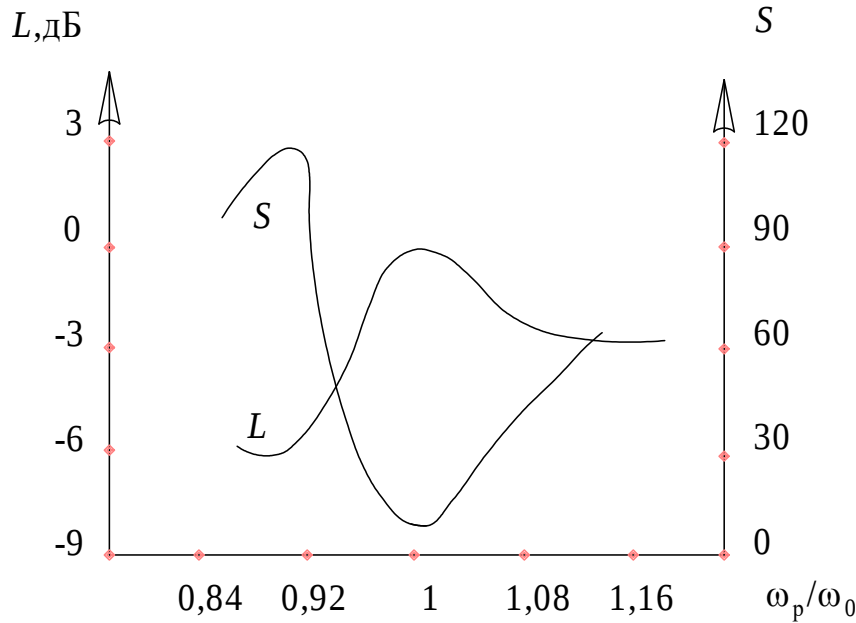


Рис. 4. Залежність втрати потужності на стабілізацію (L) і коефіцієнта стабілізації частоти (S) від ω_p/ω_0

З аналізу залежностей (рис. 4) витікає, що при перебудові частоти зовнішнього резонатора втрати потужності на стабілізацію (L) на ділянці $\omega_p/\omega_0 < 1$ кривої менші, ніж на ділянці $\omega_p/\omega_0 > 1$. Крім того, на відрізку $\omega_p/\omega_0 > 1$ є ділянка, де втрати на стабілізацію частоти практично незмінні.

Проведені розрахунки показують, що за рахунок зовнішнього стабілізуючого резонатора відносна нестабільність частоти генератора на ЛПД може становити $10^{-6} - 10^{-7}$.

Отже, для отримання відносної нестабільності частоти генератора на лавинопролітних діодах у межах $10^{-6} - 10^{-7}$ запропоновано зовнішній стабілізуючий резонатор із власною добротністю – $(2 - 5) \cdot 10^3$, зовнішньою – 10^3 .

Як суматор потужності декількох ГЛПД був використаний високодобротний відкритий бочкоподібний резонатор (ВБР). Концентрація поля в азимутальній площині визначається радіусом кривизни R_1 , а в меридіанному напрямку радіусом кривизни R_2 . Таким чином, форма резонатора нагадує бочку і правильний вибір радіусів R_1 і R_2 забезпечує малі втрати й високе значення добротності резонатора.

Для визначення власних частот ВБР було прийнято вираз:

$$f_{mpq} = f_{cmp} + \frac{c}{2\pi\sqrt{R_1 \cdot R_2}} \left(q - \frac{1}{2} \right), \quad (20)$$

$$\text{де } f_{\text{сmp}} = \frac{c \cdot \xi_{mp}}{2\pi \cdot R_1};$$

ξ_{mp} – p -й корінь функції Бесселя $J_m(x)$;

індекси m, p і q визначають складність поля ВБР;

c – швидкість світла.

На рис. 5 наведені залежності власних частот ВБР в функції індексів m і p для значень $R_1 = 20$ мм, $R_2 = 40$ мм, $q = 1$, $p = 1...4$.

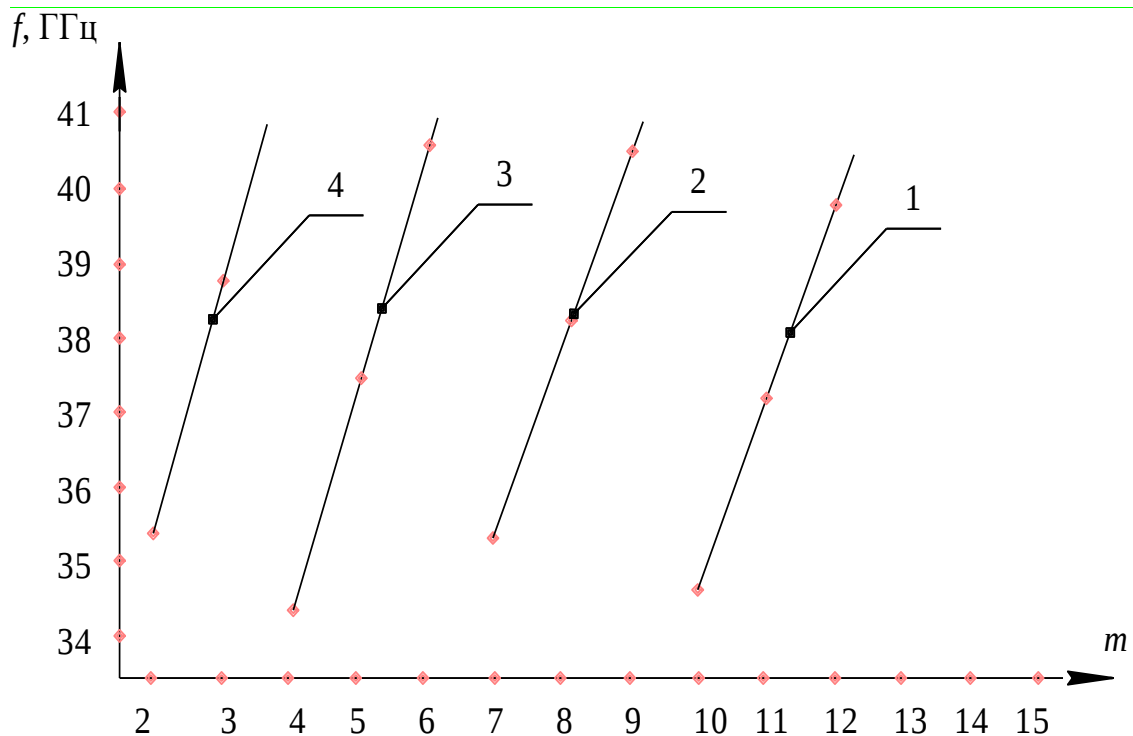


Рис. 5. Власні частоти ВБР в функції індексів m і p :

1 – при $p = 1$; 2 – при $p = 2$; 3 – при $p = 3$; 4 – при $p = 4$

Як видно із залежностей (рис. 5) можливі індекси порушуваної моди коливань для частоти 37,5 ГГц будуть рівні: $m = 5$; $p = 3$; $q = 1$, для частоти 37,3 ГГц – $m = 11$; $p = 1$; $q = 1$.

Таким чином, для одержання потужності 4 – 5 Вт у діапазоні частот 36 – 39 ГГц, запропоновані як суматори потужності відкриті бочкоподібні резонатори з параметрами: радіус резонатора в середній площині – 20 мм; у меридіональному перерізі – 40 мм; порушувані моди коливань $m = 5$, $p = 3$, $q = 1$ (частота 37,5 ГГц) та $m = 11$, $p = 1$, $q = 1$ (частота 37,3 ГГц).

Задача з розміщення ЛПД у ВБР пов'язана з визначенням структури

електромагнітного поля. Структура поля визначалась за допомогою скалярного потенціалу Φ у припущенні, що $R_1 > R_2$:

$$\Phi(r, \varphi, z) = \frac{E_0}{\kappa^2} \cdot J_m(\kappa, r) \cdot f(z) \frac{\cos(m \cdot \varphi)}{\sin(m \cdot \varphi)}, \quad (21)$$

$$\text{де } \kappa_1 = \frac{\xi_{mp}}{R_1}; \quad \kappa = \frac{2\pi}{\lambda};$$

$J_m(\kappa, r)$ – функція Бесселя.

У результаті перетворень було отримано вирази для компонентів поля у ВБР для хвилі ТМ-коливання:

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{E_0}{k_1 \cdot Z_c^2} \cdot J'_m(k_1 r) \cdot \cos(m \cdot \varphi) \cdot Z \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2 \cdot Z_c^2}\right), \\ E_\varphi &= E_0 \cdot \frac{m_1}{R_1} \cdot \frac{1}{k_1^2 \cdot Z_c^2} \cdot J_m(k_1 r) \cdot \sin(m \cdot \varphi) \cdot Z \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2 \cdot Z_c^2}\right), \\ E_z &= E_0 \cdot J_m(k_1 r) \cdot \cos(m \cdot \varphi) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2 \cdot Z_c^2}\right), \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$\text{де } Z_c = \left[\frac{2 \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}}{\kappa_{mpq}} \cdot \left(q - \frac{1}{2}\right) \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\kappa_{mpq} = \frac{2\pi}{\lambda_{mpq}} - \text{хвильове число для вільного простору};$$

$$Z = \pm \frac{L_1}{2}.$$

Розрахункова топологія структури електромагнітного поля в ВБР показана на рис. 6. З топології структури поля витікає, що ЛПД варто розташовувати в пучності електромагнітного поля (темне засвічення), а підстроювання за частотою здійснювати зміною напруги зсуву на одному з діодів.

Проведений аналіз показав, що для одержання потужності 4 – 5 Вт, у діапазоні частот 36 – 39 ГГц, варто використовувати як суматор потужності ВБР.

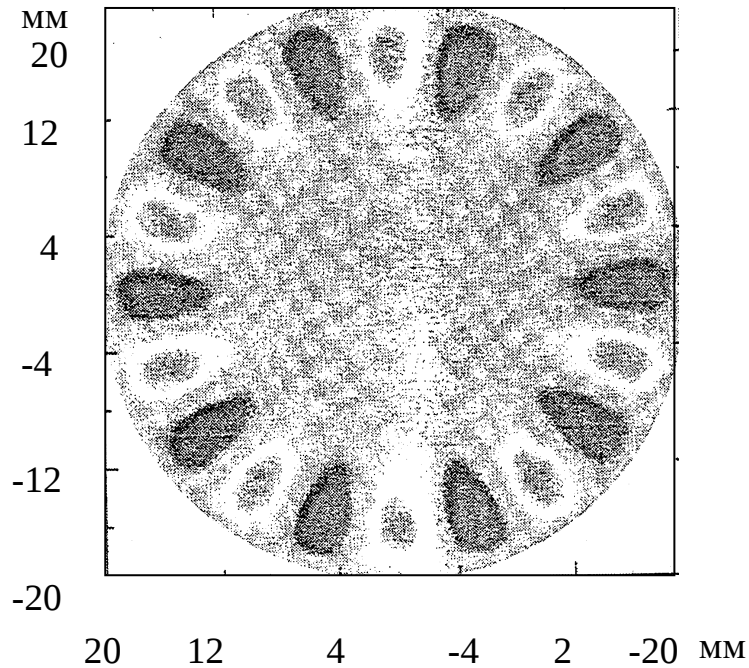


Рис. 6. Розрахункова топологія структури ЕМП у ВБР

Таким чином, встановлено, що у суматорі потужності на основі відкритих бочкоподібних резонаторів (добротність до $70 \cdot 10^3$) можна розташовувати в пучностях електромагнітного поля до 10 лавинопролітних діодів.

У четвертому розділі “Експериментальні дослідження з впливу низькоенергетичного електромагнітного надвисокочастотного поля на насіння тепличних культур” вирішуються п’ята та шоста завдання дослідження, для чого проведені експериментальні дослідження з реалізації електротехнічного комплексу, що складається з джерела надвисокочастотного випромінювання, технологічного обладнання для розміщення насіння та програмно-апаратного комплексу для контролю реакції рослинного організму на дію зовнішнього електромагнітного поля та результати передпосівної обробки насіння тепличних культур.

Для передпосівної обробки насіння у лабораторних умовах (за результатами теоретичних і експериментальних досліджень) було розроблено генератор на ЛПД, що перебудовується за частотою з параметрами: частотний діапазон 36 – 39 ГГц; короткочасна нестабільність частоти ($\tau_u = 10^{-2} - 10^{-6}$ с); вихідна потужність 5000 мВт; ККД 13%.

Для визначення оптимальних технологічних параметрів низькоенергетичного електромагнітного поля, що забезпечують підвищення

врожайності тепличних культур, запропоновано метод біоелектричних потенціалів.

Для експериментальних досліджень із рослинами обрано насіння томатів і огірків. Метою досліджень було вивчення дії низькоенергетичних електромагнітних полів надвисокочастотного діапазону на первинні процеси метаболізму рослини для уточнення технологічних параметрів електромагнітного поля. Застосовувалось повнофакторне планування другого порядку. Як функція відгуку була прийнята різниця біоелектричних потенціалів між зародком та просторово-протилежною локальною областю оболонки насіння. Як вхідні контрольовані фактори обрані частота, щільність потоку потужності та експозиція.

Після проведення виміру й розрахунків були отримані рівняння регресії для огірків і томатів:

$$U_{oe} = 19,5 + 2,8x_1 + 1,05x_2 + 2,1x_3 + 1,5x_1x_2 + 2,5x_1x_3 + 1,3x_2x_3 + 2,0x_1^2 + 0,4x_2^2 + 1,8x_3^2; \quad (23)$$

$$U_{tom} = 16,8 + 2,62x_1 + 1,0x_2 + 2,3x_3 + 1,5x_1x_2 + 3,0x_1x_3 + 1,4x_2x_3 + 2,5x_1^2 + 0,5x_2^2 + 2,0x_3^2, \quad (24)$$

де U_{oe} – функція відгуку насіння огірків;

U_{tom} – функція відгуку насіння томата.

У результаті експерименту були отримані оптимальні параметри електромагнітного поля для передпосівного оброблення насіння огірків і томатів:

$$X_{1oe} = 37,25 \text{ ГГц}; X_{2oe} = 11,8 \text{ мкВт/см}^2; X_{3oe} = 8,35 \text{ хв.};$$

$$X_{1tom} = 37,705 \text{ ГГц}; X_{2tom} = 7,35 \text{ мкВт/см}^2; X_{3tom} = 8,55 \text{ хв.}$$

Вплив електромагнітного поля із визначеними технологічними параметрами на хромосомні аберації насіння огірків і томатів було вивчено в лабораторіях Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва було вивчено

Як видно із проведеного експерименту (рис. 7), хромосомні аберації насіння огірка були максимальними на частоті 37,25 ГГц і склали $10,6 \pm 0,01\%$. На частотах 36,25 ГГц і 38,25 ГГц відсоток хромосомних аберацій значно зменшився порівняно із частотою 37,25 ГГц і склав 5,3% і 6%, відповідно.

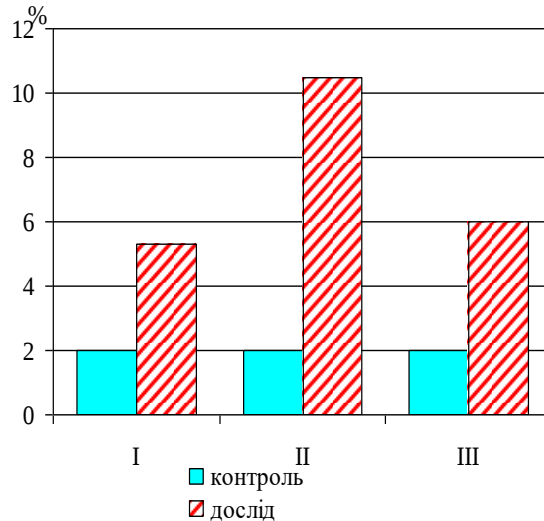


Рис. 7. Відсоток хромосомних перебудов насіння огірків, що оброблено

ЕМП із щільністю потоку потужності $11,8 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$ і експозицією 8,5 хв:

I - частота ЕМП 36,25 ГГц; II - частота ЕМП 37,25 ГГц;

III - частота ЕМП 38,25 ГГц

Зміна хромосомних перебудов у насінні томата «Rinato» залежно від частоти наведено на рис. 8.

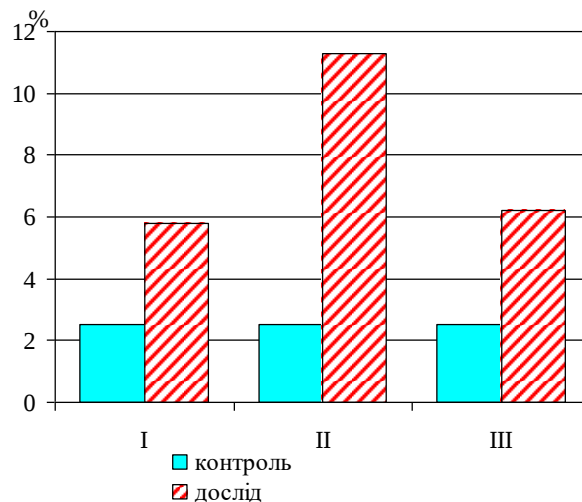


Рис.8. Відсоток хромосомних перебудов насіння томатів, що оброблено

ЕМП із щільністю потоку потужності $7,5 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$ і експозицією 8,5 хв:

I - частота ЕМП 36,705 ГГц; II - частота ЕМП 37,705 ГГц;

III - частота ЕМП 38,705 ГГц

Результати досліджень з насінням томата показали, що хромосомні аберації рослини на частоті 36,705 ГГц склали 5,8%, на частоті 38,705 ГГц –

6,2%, а на частоті 37,705 ГГц – $11,3 \pm 0,01\%$.

У контрольному насінні хромосомні аберації не перевищували величини $2,6 \pm 0,01\%$.

Польовий експеримент показав, що схожість насіння огірка була максимальною на частоті 37,25 ГГц з експозицією 8,5 хв., щільністю потоку потужності $11,8 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$ і склала 89%. Контрольна партія мала цей показник на рівні 65%. На частотах 36,25 ГГц і 38,25 ГГц вона відрізнялася від контрольної на 5 – 8%.

Результат: встановлено параметри, що забезпечують активацію життєдіяльності насіння огірків: частота – 37,25 ГГц; щільність потоку потужності – 12 мкВт/см^2 , відносна нестабільність частоти 10^{-6} ; експозиція 8,5 хв.

В експерименті з насінням томатів схожість була максимальною на частоті 37,705 ГГц і склала 88% для експозиції 8,5 хв. і щільності потоку потужності $1,5 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$. У контрольному насінні даний показник дорівнював 67%.

Результат: отримано параметри, що забезпечують активацію життєдіяльності насіння томатів: 37,705 ГГц; щільність потоку потужності – $7,5 \text{ мкВт/см}^2$, відносна нестабільність частоти – 10^{-6} ; експозиція – 8,5 хв.

Експериментальні дослідження кількості хлорофілу «а» у листі огірків сорту «ТСХА-575» показали, що при обробленні їх насіння електромагнітним полем з частотою 37,25 ГГц з експозицією 8,5 – 12 хвилин було отримане збільшення вмісту хлорофілу у порівнянні з контрольним насінням – на 0,98 мг/г. Зі зменшенням експозиції до 5 хвилин вміст хлорофілу «а», відносно контрольного насіння, склав менше 0,13 мг/г. У контрольному насінні цей показник був на рівні 0,24 мг/г.

Вміст хлорофілу «а» у кільчиках томату з насіння, опромінених електромагнітним полем з частотою 37,705 ГГц збільшився, в порівнянні з контролем, на 1 мг/г. При експозиції 12 хв. відзначено збільшення хлорофілу «а» усього на 0,12 мг/г у порівнянні зі вмістом хлорофілу при експозиції 8,5 хв. і на 1,12 мг/г – у порівнянні з контролем.

При зміні щільності потоку потужності (табл. 1) як для огірків, так і для томатів не було виявлено істотних розходжень у вмісті хлорофілу в кільчиках при опроміненні насіння електромагнітним полем з експозицією 10 хв. з частотою 37,25 ГГц (для культури огірка) і з частотою 37,705 ГГц (для томата). У процесі експерименту із кільчиками було встановлено, що низькоенергетичні електромагнітні поля надвисокочастотного діапазону

впливають на кількість азоту й фосфору в рослинах, що отримані з опроміненого насіння.

Порівнюючи вміст азоту в кильчиках огірків, насіння яких були оброблені електромагнітним випромінюванням з частотою 37,25 ГГц зі щільністю потоку потужності $11,8 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$ протягом 5 хв., 8,5 хв., 12,0 хв. встановлено, що відсоток вмісту азоту у цих варіантах був вищий, ніж в контрольному насінні на 0,3%, 1,8%, 2,1%, відповідно. Вміст азоту в контрольному насінні кильчиків огірка складав 3,9%.

Вміст фосфору в кильчиках огірка, отриманих з насіння, що оброблено електромагнітним полем з частотою 37,25 ГГц та експозицією 5 хв., 8,5 хв. і 12,0 хв. склав збільшення стосовно контрольної партії на рівні 0,4%, 2,1%, 2,3%, відповідно. У контрольній партії кількість фосфору не перевищувало 6,1%.

Результати процентного вмісту азоту в кильчиках томату «Rinato» з насіння, опромінених електромагнітним полем з частотою 37,705 ГГц з експозицією 5 хв., 8,5 хв., 12,0 хв показали, що стосовно контрольних кильчиків вміст азоту в дослідних кильчиках був вищий на 0,25%, 2,5%, 2,6 %, відповідно. У контрольних кильчиках вміст азоту не перевищував 4,5%.

Результати впливу низькоенергетичних електромагнітних полів надвисокочастотного діапазону на врожайність огірків і томатів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Структура врожайності огірків і томатів

Вид тепличної культури	Число маточкових квіток, шт.			Врожай, кг/м ²		Збільшення врожаю відносно контрольного насіння	
	Усього на рослину	на головному пар.	на бічному пар.	конт- роль	дослід	кг/м ²	%
Контрольне насіння огірків «ТСХА-575»	7,9±0,9	3,3±0,7	4,6±0,5	150,2	208,8	58,6	39,0
	28,2±2,8	12,3±1,5	15,9±1,3				
Контрольне насіння томатів «Rinato»	14,2±1,0	6,8±0,6	7,4±0,5	285	355	70	24,6
	42,6±2,1	19,2±1,0	23,4±1,1				

З результатів урожайності огірків і томатів (табл. 1) видно, що передпосівне оброблення насіння огірків і томатів електромагнітним полем з певними параметрами збільшує врожай огірків і томатів стосовно контрольного насіння на 39% і 24,6%, відповідно.

Висновок: експериментально встановлено, що передпосівне оброблення насіння огірків і томатів низькоенергетичними електромагнітними полями надвисокочастотного діапазону підвищує проростання на 16 – 20%; енергію росту – на 13 – 15%; урожайність – на 25...40% порівняно з контрольним насінням.

У п'ятому розділі “Практична реалізація роботи” на основі проведених досліджень розроблені технічні пристрої й методика передпосівного оброблення насіння тепличних культур у виробничих умовах.

Для передпосівного оброблення насіння тепличних культур електромагнітним полем у виробничих умовах створена установка з такими технічними характеристиками:

- діапазон робочих частот 37 – 38 ГГц;
- вихідна потужність 4,5 Вт;
- відносна нестабільність частоти 10^{-7} ;
- крутизна електронної перебудови 40 МГц/мА;
- установлена потужність 50 Вт;
- кількість оброблюваного матеріалу 20 кг/год;
- маса 5 кг.

Виробничі випробування із застосування низькоенергетичних електромагнітних полів надвисокочастотного діапазону для активації насіння тепличних культур наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні результати застосування низькоенергетичної електромагнітної технології активації насіння тепличних культур

Культура, сорт	Підвищення врожайності на:	Рік і місце використання
Огірок “ТСХ575”, Корольок, Амазонка, Гладіатор, Естафета, Concerto	30 – 55 кг/м ²	2002 – 2006 рр. фермерське господарство “Мехтієв Ш. А”, тепличний комплекс ТОВ "Оксамит"
Томати гібрид “Rinato”, Фараон, Майстер, Кострома, Recento	50 – 70 кг/м ²	2002 – 2006 рр. фермерське господарство “Мехтієв Ш. А”, тепличний комплекс ТОВ "Оксамит"
Морква Карлена, Натська	15 кг/м ²	2004 – 2006 рр. фермерське господарство “Мехтієв Ш. А.”

Економічний ефект із впровадження електромагнітної технології склав 11 – 12 тис. грн. на рік у теплицях з площею 2000 м².

ВИСНОВКИ

1. Вплив електромагнітного поля на насіння з метою його активації є не до кінця визначеним. У роботі досліджено проблему активації насіння тепличних культур під дією низькоенергетичних електромагнітних полів.
2. На основі математичної моделі отримано закономірності резонансного поглинання електромагнітного поля в насінні тепличних культур, які дозволяють визначати його частотний діапазон, що забезпечує активацію насіння. Для тепличних культур він складає 37 – 38 ГГц.
3. На підставі теоретичних досліджень з впливу низькоенергетичних електромагнітних полів на мембранний транспорт речовин в рослинах, отримано залежності зміни іонного струму в клітинах насіння, що дозволяють визначати щільність потоку потужності та експозицію діючого електромагнітного поля. Для тепличних культур щільність потоку потужності складає 10 – 15 мкВт/см², експозиція – 10 – 15 хв.
4. Запропоновано, для розроблення генератора на лавинопролітних діодах з вихідною потужністю 4 – 5 Вт в діапазоні частот 36 – 39 ГГц, використовувати радіально - хвилеводний резонатор з параметрами: радіальна висота лінії $h = 0,4$ мм; відношення діаметра диска до ширини хвилеводу $\frac{d}{a} = 0,52$.
5. Для отримання відносної нестабільності частоти генератора на лавинопролітних діодах у межах $10^{-6} - 10^{-7}$ запропоновано зовнішній стабілізуючий резонатор із власною добротністю – $(2 - 5) \cdot 10^3$, зовнішньою – 10^3 .
6. Для одержання потужності 4 – 5 Вт у діапазоні частот 36 – 39 ГГц запропоновані як суматори потужності відкриті бочкоподібні резонатори з параметрами: радіус резонатора в середній площині – 20 мм; у меридіональному перерізі – 40 мм; порушувати моди коливань $m = 5$, $p = 3$, $q = 1$ (частота 37,5 ГГц) та $m = 11$, $p = 1$, $q = 1$ (частота 37,3 ГГц).
7. Встановлено, що у суматорі потужності на основі відкритих бочкоподібних резонаторів (добротність до $70 \cdot 10^3$) можна розташовувати в пучностях електромагнітного поля до 10 лавинопролітних діодів.

8. Для визначення оптимальних технологічних параметрів низькоенергетичного електромагнітного поля, що забезпечують підвищення врожайності тепличних культур, запропоновано метод біоелектричних потенціалів.
9. Встановлено параметри, що забезпечують активацію життєдіяльності насіння огірків: частота – 37,25 ГГц; щільність потоку потужності – 12 мкВт/см², відносна нестабільність частоти 10⁻⁶; експозиція 8,5 хв.
10. Встановлено параметри, що забезпечують активацію життєдіяльності насіння томатів: 37,705 ГГц; щільність потоку потужності – 7,5 мкВт/см², відносна нестабільність частоти – 10⁻⁶; експозиція – 8,5 хв.
11. Експериментально встановлено, що передпосівна обробка насіння огірків і томатів низькоенергетичними електромагнітними полями надвисокочастотного діапазону підвищує проростання - на 16 – 20%; енергію росту – на 13 – 15%; урожайність – на 25 - 40% , у порівнянні з контролем.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Никифорова Л.Є. До пошуку режимів та діапазонів ефективного впливу на життєдіяльність сільськогосподарських біологічних об'єктів / Л.Є. Никифорова, А.Г. Сабо // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2000. – Вип. 1, Т. 11. – С. 44 - 47.
2. Никифорова Л.Є. Використання резонансних явищ для моніторингу і впливу на життєдіяльність сільськогосподарських біологічних об'єктів / Л.Є. Никифорова, А.Г. Сабо // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001. – Вип. 1, Т. 18. – С. 56 – 60.
3. Никифорова Л.Є. Багатоканальний автоматичний пристрій для діагностування стану сільськогосподарських біооб'єктів / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001. – Вип. 1, Т. 19. – С. 88 – 91.
4. Никифорова Л.Є. Використання низькоінтенсивних електромагнітних полів діапазону НВЧ для діагностики та впливу на життєдіяльність сільськогосподарських біологічних об'єктів / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001. – Вип. 1, Т. 24. – С. 46 – 49.
5. Никифорова Л.Є. Алгоритми для автоматичного діагностування стану сільськогосподарських біооб'єктів / Л.Є. Никифорова // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2001. – Вип. 6.– С. 415 – 418.

6. Никифорова Л.Є. Шляхи універсалізації алгоритмів машинної діагностики стану сільськогосподарських біологічних об'єктів / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2002. – Вип. 8. – С. 52 – 55.
7. Никифорова Л.Є. Аналіз проблеми ідентифікації стану сільськогосподарських біологічних об'єктів / Л.Є. Никифорова // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – К., 2003. – №1. - С. 73 – 75.
8. Никифорова Л.Є. Аналіз структурно - функціональних зв'язків у рослинній біосистемі / Л.Є. Никифорова // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2003. – Вип. 19, Т. 1. – С. 188 – 191.
9. Никифорова Л.Є. Стимулюючий вплив на овочеві культури низькоенергетичного електромагнітного поля / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 19. – С. 80 – 83.
10. Никифорова Л.Є. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті / Л.Є. Никифорова // "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України : Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2004. – Вип. 27, Т. 2 . – С.85 – 90.
11. Мартыненко И.И. Средства информационного обеспечения автоматизации полива в сооружениях защищенного грунта / И.И. Мартыненко, Л.Е. Никифорова // Автоматизация сельскохозяйственного производства. – М., 2004. - Ч. 1. – С. 183 – 190.
12. Мартиненко І.І. Низькоенергетичні електромагнітні технології в закритому ґрунті / І. І. Мартиненко, Л.Є. Никифорова // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – К., 2005. – № 2(11). – С. 85 – 88.
13. Никифорова Л.Є. Механізм впливу низькоенергетичного електромагнітного випромінювання на тепличні культури / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип. 31. – С. 47 – 52.
14. Никифорова Л.Є. Методологія дослідження активації насіння овочевих низькоенергетичним електромагнітним випромінюванням / Л.Є. Никифорова // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2005. – Вип. 37, Т. 2. – С. 48 – 51.
15. Никифорова Л.Е. Энергосбережение при активации семян тепличных культур низкоэнергетическим электромагнитным излучением /

- Л.Е. Никифорова // Энергосберегающие технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции / Крымский агротехнологический университет. – Симферополь, 2006. – Вип. 93. – С. 70 – 72.
16. Никифорова Л.Є. Аналітичний розрахунок резонансних частот електромагнітних коливань клітини рослинної біосистеми / Л.Є. Никифорова, Л.А. Фунтікова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип. 43. – С. 86 – 90.
 17. Никифорова Л.Є. Техніко-економічна ефективність низькоенергетичних електромагнітних технологій активації тепличних культур / Л.Є. Никифорова // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2006. – Вип. 43, Т. 1. – С. 162 – 165.
 18. Пат. 15961 Україна, МКИ⁶ A01G 9/26. Спосіб активації тепличних культур / Л.Є.Никифорова (Україна). - № 200601362; заявл. 10.02.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. – 3 с.
 19. Никифорова Л.Е. Термодинамическая модель взаимодействия низькоенергетического радиоизлучения с биообъектами / Л.Е. Никифорова // Вестник науки и техники. – Харків: НТУ ХПИ, 2006. – Вип. 1-2 (24-25). – С. 51 – 58.
 20. Никифорова Л.Е. Экономическая эффективность инновационной технологии предпосевной обработки семян тепличных культур / Л.Е. Никифорова // Научно-инновационная деятельность и предпринимательство в АПК: проблемы эффективности и управления: 2-я Междунар. научно – практич. конф. – Минск: БГАТУ, 2007. – Ч. 1. – С. 195 – 197.
 21. Никифорова Л.Е. Электродинамическая модель и резонансные свойства биологической клетки / Л.Е. Никифорова, А.И. Мартыненко // Праці інституту електродинаміки НАН України. – К., 2007. – № 2 (17). – С. 115 – 121.
 22. Никифорова Л.Е. Действие когерентного низкоинтенсивного электромагнитного излучения на растения и семена. / Л.Е. Никифорова // Применение лазеров в медицине и биологии: Материалы XXVIII Междунар. научно – практич. конф. – Ялта, 2007. – С.101.
 23. Мартыненко И.И. Инновационная технология низькоенергетической электромагнитной обработки семян / И.И. Мартыненко, Л.Е. Никифорова // Энергетика: економіка, технології, екологія. – К.: КПІ, 2007. – № 1 – С. 89 – 92.
 24. Никифорова Л.Є. Дослідження впливу низькоенергетичного

- електромагнітного випромінення на насіння тепличних культур / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип. 8, Т. 4. – С. 117 – 125.
25. Никифорова Л.Є. Пристрій для експрес - оцінювання стану рослин / Л.Є. Никифорова, Ю.М. Куценко, Г.П. Селезньов, Г.І. Олійник // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип.8, Т. 4. – С. 139 – 147.
26. Никифорова Л.Є. Системний аналіз при дослідженні електротехнологічних процесів низькоенергетичної високочастотної обробки насіння / Л.Є. Никифорова, Л.С. Червінський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. – Вип. 92. – С. 340 – 350.
27. Никифорова Л.Є. Обґрунтування параметрів генератора електромагнітних коливань для передпосівної обробки насіння тепличних культур / Л.Є. Никифорова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип. 8, т. 10. – С. 92 – 99.
28. Никифорова Л.Є. Моделювання взаємодії електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону з насінням тепличних культур // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2009. – Вип. 86. - С. 127 – 130.

АНОТАЦІЯ

Никифорова Л.Є. Низькоенергетичні електромагнітні технології для активації насіння тепличних культур. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. - Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2009.

Дисертацію присвячено проблемі активації насіння тепличних культур за допомогою низькоенергетичного електромагнітного поля.

Розроблено науково-технічні основи побудови та застосування низькоенергетичних електромагнітних технологій інформаційно-резонансного впливу для активації насіння та підвищення врожайності тепличних культур, що передбачають теоретичне обґрунтування механізму інформаційно -резонансної взаємодії низькоенергетичного електромагнітного випромінювання із структурами рослинної клітини, які відображають інтегральні характеристики і динаміку процесів перетворення поглинутої енергії в окремій насініні, і вирішується шляхом теоретико-

експериментальних досліджень, що ґрунтуються на закономірностях електрофізичних характеристик насінневої продукції та ресурсощадних можливостях електротехнологічного процесу активації насіння; теоретично обґрунтовано та експериментально визначено режими опромінення з урахуванням взаємозв'язку електротехнологічних параметрів оброблення насіння, технологічних та екологічних параметрів вирощування рослин з показниками ефективності, що забезпечує активацію насіння, зростання врожайності, вирощених з них тепличних культур, а також сприяє енергозбереженню у технологічних процесах; створені засоби для контролю дії електромагнітного випромінювання, методики та спеціалізоване обладнання для оброблення насіння.

Основні результати дисертації знайшли практичне використання в технологічному процесі вирощування овочевих культур в умовах захищеного ґрунту, а також в реалізації методології побудови низькоенергетичних електромагнітних технологій в рослинництві

Ключові слова: низькоенергетичні електромагнітні технології, інформаційно-резонансний вплив, біотропні параметри, насіння.

АННОТАЦИЯ

Никифорова Л. Е. Низкоэнергетические электромагнитные технологии для активации семян тепличных культур. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские устройства и системы. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Харьков, 2009.

Диссертация посвящена проблеме активации семян тепличных культур с помощью низкоэнергетического электромагнитного поля.

В диссертации разработаны научно - технические основы построения и использования низкоэнергетических электромагнитных технологий информационно - резонансного воздействия для активации семян и повышения урожайности тепличных культур, заключающиеся в теоретическом обосновании механизма информационно-резонансного взаимодействия низкоэнергетического электромагнитного излучения с клеточными структурами семян, отображающие динамику процессов преобразования поглощенной энергии в отдельном семени, и решаются путем теоретико-экспериментальных исследований, основывающиеся на закономерностях электрофизических характеристик семенной продукции и ресурсосберегающих возможностях електротехнологического процесса активации семян.

В работе получены математические модели, позволяющие находить

распределение внутренних ЭМП растительного организма под воздействием внешних электромагнитных излучений, а на их базе - закономерности резонансного поглощения ЭМП клеточными структурами семян. Электродинамическая модель структуры посевного материала положена в основу методики определения собственной частоты среды в зависимости от размеров и вида объекта, что явилось теоретической базой для обоснования конструктивных параметров устройства для обработки семян.

Теоретически обоснована и экспериментально проверена методика контроля эффективности воздействия низкоэнергетического электромагнитного облучения растительных биологических объектов, основанная на регистрации биоэлектрических характеристик семян, а также специализированное оборудование для их предпосевной обработки.

Установлено, что максимальная эффективность воздействия низкоэнергетического электромагнитного облучения семян, наиболее распространенных тепличных культур, наблюдается при следующих основных технологических параметрах обработки: для растений огурца – на резонансной частоте 37,25 ГГц, плотности потока мощности 12 мкВт/см², экспозиции 8,5 минут и относительной нестабильности частоты 10⁻⁶; для растений томата - на резонансной частоте 37,705 ГГц, плотности потока мощности 7,5 мкВт/см², экспозиции 8,5 минут и относительной нестабильности частоты 10⁻⁶.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при обработке семенного материала имеет место явление неадекватного восприятия растительным организмом ЭМП на определенной частоте, то есть, видовые отличия растений определяют собственные резонансные частоты. Это дает возможность влиять одним и тем же режимом на сортовые смеси, стимулируя ростовые функции у определенного вида растения, или создавать промышленные установки, которые селективно влияют на сортовой материал (с целью выборочной стимуляции, коррекции, селекции).

По результатам теоретического анализа и экспериментальных исследований разработаны методологические принципы и алгоритм построения электромагнитных технологий в растениеводстве, обоснована низкоэнергетическая электромагнитная технология активации семян и технические средства для ее реализации. Данная технология приводит к повышению всхожести тепличных культур на 16 – 20%, энергии роста - на - 13 – 15%, сохранение растений за период вегетации - на - 12%, урожайности - на – 25 - 40%.

Основные результаты диссертации нашли практическое использование в технологическом процессе выращивания овощных культур в условиях защищенного грунта, а также в реализации методологии построения

низкоэнергетических электромагнитных технологий в растениеводстве.

Ключевые слова: низкоэнергетические электромагнитные технологии, информационно-резонансное влияние, биотропные параметры, семена.

SUMMARY

Nikiforova I.E. Lowenergy electromagnetics technology for activation of seeds of hothouse cultures. – Manuscript.

Dissertation for the academic degree of Doctor of Technical Sciences by speciality 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – Kharkiv National Technical Universiti of Agriculture of the name of Peter Vasilenko, Kharkiv, 2009.

Dissertation is devoted the problem of activating of seed of glass-cultures by lowenergy of the electromagnetic field.

Developed scientifically are technical bases of the use lowenergy electromagnetic technologies of informatively-resonance influence for activating of seed and increase of the productivity of glass-cultures basis of which is made: theoretical ground of mechanism of informatively - resonance co-operating of low-energy electromagnetic radiation with the structures of vegetable cage, which represent integral descriptions and dynamics of processes of transformation of eaten up energy in a separate seed, and decides the way of theorist- experimental researches which are based on conformities to the law of electrophysical descriptions of seminal products and resursosaving possibilities of electrotecnological process of activating of seed; theoretical ground and experimental determination of the modes of irradiation taking into account intercommunication of electrotecnological parameters of treatment of seed, technological and ecological parameters of growing of plants with the indexes of efficiency, which provides activating of seed, growth of the productivity, and also renders assists an energy-savings in technological processes; created facilities for control of action of electromagnetic irradiation, methods and specialized equipment for treatment of seed.

The basic results of dissertation found the practical using for development of recommendations on application of low-energy electromagnetic technology in hothouses and hardwares of preseed treatment of seed.

Keywords: lowenergy electromagnetic technologies, informatively is resonance influence, biottrope parameters, seed.

Відповідальний за випуск А.В. Левкін.
Підписано до друку 10.12.2009.
Комп'ютерний набір та верстка Т.О. Мазурець.
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Тираж 100 пр.
Замаовлення № 41 від 10.12.2009.
Різограф TR 1510 №80654645.

Навчально-методичний відділ Харківського національного технічного
університету сільського господарства ім. П. Василенка.
Адреса редакції та поліграфпідприємства: 61002, м. Харків,
вул. Артема 44, кімн. 101.