

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КУЦЕНКО ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК [621.3:537.8]: 631.234

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ І МАГНІТНІ СИСТЕМИ
АКТИВАЦІЇ ГЕТЕРОГЕННИХ СТРУКТУР
В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Мелітополь – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства аграрної політики та продовольства України та Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий консультант :

доктор технічних наук, професор Лисиченко Микола Леонідович, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем

Офіційні опоненти :

- доктор технічних наук, професор Берека Олег Миколайович, Національний університет біоресурсів і природокористування України, директор Науково-дослідного інституту електроенергетичних систем, професор кафедри електроприводу та електротехнологій ім. проф. С.П. Бондаренка;

- доктор технічних наук, професор Вендин Сергій Володимирович, «ФДБОУ ВПО Білгородська державна сільськогосподарська академія ім. В.Я. Горіна» Міністерства сільського господарства Російської Федерації, завідувач кафедри електрообладнання та електротехнологій в АПК;

- доктор технічних наук, доцент Дубовенко Костянтин Вікторович, Миколаївський національний аграрний університет, завідувач кафедри електротехнологій і електропостачання.

Захист відбудеться «13» грудня 2013 року о «10» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 у Таврійському державному агротехнологічному університеті, за адресою: 72312, м. Мелітополь, просп. Б.Хмельницького, 18, головний корпус.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету, за адресою: 72312, м. Мелітополь, просп. Б.Хмельницького, 18.

Автореферат розісланий «8» листопада 2013 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.Т. Діордієв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема насичення ринку України сільськогосподарською продукцією власного виробництва на сьогодні особливо актуальна. Огірки та томати є суттєвою складовою раціону людини. Сьогодні, за даними статистики, споживання овочів населенням не відповідає нормам. Більш ніж половина продукції не задовольняє вимоги державних стандартів України до якості овочів.

Створення новітніх електротехнічних комплексів, раціональне та ефективне використання енергії електричного і магнітних полів в технологічних процесах вирощування сільськогосподарської продукції є важливим фактором інтенсифікації виробництва с.-г. продукції. Особливо це стосується овочевих тепличних культур.

Урожайність овочів захищеного ґрунту в середньому складає 12...15 кг/м². Для підвищення ефективності вирощування огірків і томатів є нагальною потреба застосування екологічно чистих енергоощадних систем обробки ґрунту.

Вирішення цієї проблеми лежить у площині максимального збільшення врожайності рослин, вирощених на існуючих площах за рахунок інтенсифікації процесів вирощування, пов'язаних з активізацією вегетаційного розвитку.

Сучасне овочівництво, як у відкритому, так і в захищеному ґрунтах, на жаль, перенасичене хімічними сполуками, які, як вважається, активізують і захищають рослини в період розвитку і дозрівання.

Зрозуміло, що виникає сумнів щодо рівня екологічної чистоти отриманої таким чином продукції овочівництва. Враховуючи те, що останнім часом відбувається інтенсивне забруднення навколишнього середовища, відповідно підвищується рівень нітратів, пестицидів в продуктах харчування.

Останнім часом отримав розвиток цілий ряд електротехнічних комплексів, які використовують різні фізичні фактори впливу на рослини. Отримані залежності ефективності позитивного відгуку від біотропних параметрів фактора впливу використовують для отримання високоякісного насіння, рослин або для регулювання процесів вегетації, дозрівання тощо.

Одним із напрямків активації процесу розвитку рослин і його керування можна вважати електротехнічні і магнітні системи, побудовані на основі перетворення електричної і магнітної енергії в енергію розвитку рослин, які можуть впливати на насіння та кореневу систему, активізуючи їх життєдіяльність. Тому розробка і впровадження електротехнічних і магнітних систем у спорудах захищеного ґрунту для активації гетерогенних структур з метою підвищення ефективності виробництва, зокрема збільшення врожайності тепличних культур, є актуальним завданням для науки і практики.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися в Таврійському державному агротехнологічному університеті та Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка відповідно до: планів НДР ТДАТУ «Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України», номер державної реєстрації 0102U000678; тематики міжвузівських наукових і науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки (наказ Міністерства науки України № 37 від 13.02.1996, п.2); підпро-

грами 1.12 «Розробка методів ультразвукової технології та електротехнологічних систем обробки та технічних засобів контролю якості сільськогосподарських продуктів», номер державної реєстрації 0102U000686; підпрограми 1.10 на 2007-2010 рр. «Розробка методів та технічних засобів енергетичного та інформаційного впливу електромагнітного поля та ультразвуку на сільськогосподарські продукти й матеріали», номер державної реєстрації 0107U008965; програми «Розробка електромеханічних систем технологічних процесів сільськогосподарського виробництва» на 2011-2015 рр., номер державної реєстрації 0111U002556; державної науково-технічної програми «ДНТП-12 Енерго- та ресурсозберігаючі технології у сільськогосподарському виробництві»; програми «Електротехнічні технології і технічні системи підвищення продуктивності біологічних об'єктів рослинництва», номер державної реєстрації 0110U002505.

Мета і задачі дослідження. Розробити науково-технічні передумови підвищення ефективності виробництва овочевих тепличних культур на основі створення електротехнічних і магнітних систем активації гетерогенних структур в спорудах захищеного ґрунту.

Завдання дослідження. Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- обґрунтувати біофізичну дію сумісного впливу стаціонарного електричного і статичного магнітного полів на насіння та кореневу систему тепличних культур;
- виявити вплив стаціонарних електричних полів на процеси розвитку насіння овочевих тепличних культур;
- установити закономірності впливу статичних магнітних полів на кореневу систему овочевих тепличних культур;
- обґрунтувати параметри відкритого циліндричного резонатора для контролювання зміни діелектричних параметрів зовнішнього середовища у спорудах захищеного ґрунту;
- розробити електронну систему для контролювання газообміну рослин з вимірюванням діелектричної проникності середовища;
- установити взаємодію феромагнітних частинок гетерогенних структур зі стаціонарним електричним і статичним магнітним полями, сформованими у ґрунті;
- визначити ефективність використання електротехнічних і магнітних систем у спорудах захищеного ґрунту.

Об'єкт дослідження. Процеси перетворення електричної і магнітної енергії в енергію розвитку рослин в гетерогенних структурах споруд захищеного ґрунту.

Предмет дослідження. Електротехнічні і магнітні системи для активації гетерогенних структур в спорудах захищеного ґрунту.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої проблеми були застосовані методи математичного моделювання фізичних процесів; основні положення теорії електромагнітного поля; теорії ймовірності; методи електродинаміки для розрахунку резонаторних систем.

Експериментальна перевірка теоретичних положень проводилася в реальних виробничих умовах, а обробка одержаних даних – із використанням методів математичної статистики, застосовуючи сучасні пакети комп'ютерних програм.

Наукова новизна одержаних результатів:

- отримали подальший розвиток теоретичні положення щодо визначення параметрів стаціонарного електричного поля між металевими штирями в ґрунті теплиць, обґрунтовано їх розташування і взаємозв'язки інтенсивності електричного поля з процесами розвитку рослин, що дозволило встановлювати ефективні режими стимуляції;

- на основі теоретичних досліджень вперше, для стимуляції біохімічних процесів у рослинах, обґрунтовано параметри статичного магнітного поля, які створюються в ґрунті магнітними частинками різної форми для стимулювання розвитку кореневої системи культурних рослин, що призводить до підвищення врожайності овочевих культур;

- вперше встановлено взаємозв'язок між параметрами стаціонарного електричного і статичного магнітного полів і кількістю мікроелементів у ґрунті (фосфор, калій та ін.), який додатково враховує чисельний вміст елементів доступної форми для живлення рослин;

- створена система контролю розвитку овочевих тепличних культур за величиною діелектричної проникності газового середовища рослин і отримали подальший розвиток теоретичні положення щодо процесів в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища, що обумовило можливість розробки електронного пристрою з заданою чутливістю;

- вперше, в якості дискримінатора частоти в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин, обґрунтовано застосування лейкосапфірового резонатора в найбільш високочастотному діапазоні, який відрізняється від існуючих резонаторів можливістю забезпечення точності вимірювання при роботі на частоті 70 ГГц;

- вперше математично інтерпретована залежність між величиною діелектричної проникності газообміну рослин і параметрами стаціонарного електричного і статичного магнітних полів, що дозволило визначити оптимальні параметри електротехнічної і магнітної систем для забезпечення ефективного розвитку овочевих культур в теплицях.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що для підвищення врожайності тепличних овочевих культур створена електротехнічна і магнітна системи в спорудах захищеного ґрунту. Розроблена система контролю розвитку рослинних об'єктів за величиною діелектричної проникності газового середовища рослин.

Застосування даних систем дозволило збільшити врожайність томатів сорту «Лілос» і огірків сорту «Кураж» до 175...190%. Електротехнічна і магнітна системи пройшли виробничу перевірку на протязі 2010-2012 рр. в ВП КСП «Тепличний комбінат» м. Енергодар Запорізької обл. Лабораторні дослідження отриманих плодів не виявили генетичних змін і збільшення кількості хімічних елементів в плодах і рослинах тепличних культур.

Технічні вимоги для виготовлення магнітних систем направлені в ВАТ «Полімагніт» (м. Київ), дослідний зразок експериментальної установки переданий в господарство «Тепличний комбінат» Запорізької області.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, які наведені в дисертації, отримані здобувачем особисто. Автору належить розробка електротехнічної і магнітної систем для активації гетерогенних структур у спорудах захищеного ґрунту.

В роботах [2, 19, 26, 35, 36] автором проведені теоретичні дослідження та визначено параметри стаціонарного електричного поля для стимуляції активних процесів в рослинах; в роботах [4, 6, 7, 28] автором на основі теоретичних досліджень визначено параметри статичного магнітного поля для стимуляції розвитку кореневої системи, розроблено моделі та проведено аналіз їх електрофізичних властивостей. В роботах [15, 34] встановлено залежності впливу стаціонарного електричного та статичного магнітного полів на кількість мікроелементів в ґрунті; в роботах [20, 21, 22, 23, 24, 25] отримали подальший розвиток теоретичні дослідження та розробка пристроїв для вимірювання діелектричної проникності газообміну рослин з використання генератора ЛПД. В роботі [27] проведені техніко-економічні розрахунки ефективності застосування електротехнічних і магнітних систем в спорудах захищеного ґрунту.

Дослідження проводились в Таврійському державному агротехнологічному університеті, Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка, Українському державному науково-дослідному інституті спеціальних сталей, сплавів та феросплавів, Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Інституті зрошувального садівництва імені М.Ф. Сидоренка НААН, ВП КСП «Тепличний комбінат».

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались і обговорювались і отримали позитивні відгуки на:

- щорічних науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2003, 2005, 2006 - 2008, 2010-2012 рр.);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2004-2007, 2010, 2012 рр.);

- міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища» (м. Київ, КНУ ім. Тараса Шевченка, 2005-2006, 2012 рр.);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енергоресурсозберігаючі технології в АПК» (м. Москва, ФДБОУ ВПО «Московський державний агроінженерний університет імені В.П. Горячкіна, 2012 р.);

- Всеросійській науковій конференції «Науково-технічне забезпечення АПК Півдня Росії» (м. Зерноград, ФДБОУ ВПО Азово-чорноморська державна агроінженерна академія, 2012 р.);

- 5 Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції, присвяченій пам'яті Мартиненка І.І. «Енергозабезпечення технологічних процесів АПК» (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2012 р.);

- Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку систем енергетики і автоматики в АПК» (м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2012 р.);

- Міжнародній науково-виробничій конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку агроінженерії та інформаційних технологій» (м.Білгород, ФДБОУ ВПО «Білгородська державна сільськогосподарська академія імені В.Я. Горіна, 2012 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 42 друкованих працях, зокрема 30 у наукових фахових виданнях України, 2 монографіях, 7 друкованих матеріалів у закордонних виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний текст дисертації складає 349 сторінок машинописного тексту, який включає 95 рисунків по тексту та 11 рисунків на 8 сторінках; 12 таблиць по тексту та 18 таблиць на 12 сторінках. Список використаних літературних джерел – 210 найменувань на 21 сторінці, 3 додатки на 46 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подана загальна характеристика роботи, показані актуальність теми і доцільність проведення досліджень, зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані мета і основні задачі досліджень, висвітлені наукова новизна і практична цінність роботи, сформульовані наукові положення, що виносяться на захист, визначено особистий внесок автора, кількість публікацій.

У першому розділі «Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах виробництва і переробки продукції рослинництва» проведений аналіз існуючих електротехнічних і магнітних систем. Використання електромагнітного поля в технологічних процесах розширює функціональні можливості традиційних способів вирощування, обробітку, очищення, сортування, сушіння сировини.

Застосування магнітного поля для впливу на воду з подальшим поливом овочевих культур дозволяє отримати підвищення приросту розсади до 18 %; кількості рослин – до 31 %. За останні роки накопичився великий експериментальний матеріал по передпосівній обробці насіння ЕМП, що призводить до збільшення енергії проростання на 5...7 %, лабораторної схожості – на 6 ... 8 %, польової схожості – до 10%. Таким чином, передпосівна обробка насіння ЕМП сприяє активації процесів росту і розвитку, формуванню високих врожаїв. У переробній промисловості знаходять застосування магнітні установки, які впливають на інтенсивність утворення меляси і синтез етанолу. У цукровій промисловості застосовується комбінована обробка ультрафіолетовим опроміненням і ультразвуковими коливаннями цукрових розчинів з метою зменшення їх мікробіологічного забруднення.

Установки з використанням надвисокочастотної енергії можна віднести до енергозберігаючих, що мають специфіку взаємодії з об'єктом, який обробляється. Дані експериментальних досліджень вказують на високий коефіцієнт корисної дії генеруючих пристроїв (до 70 ... 85%).

Суттєвий внесок у розвиток електротехнічних і магнітних систем внесли видатні науковці І.Ф. Бородін, В.П. Гарячкин, І.І. Мартиненко, І.В. Баєв, А.М. Басов, А.М. Башилов, Г.Б. Іноземцев, Ю.Х. Шогенов, М.О. Корчемний, Л.Ф. Кучин, П.І. Савченко, О.Д. Черенков, М.Л. Червинський та ін.

У зв'язку із збільшенням ступеня забруднення навколишнього середовища досить гостро стоїть питання про стимулювання рослин в період розвитку за допомо-

гою енергії ЕМП. Практично не дослідженими залишаються питання магнітної поведінки елементарних частинок структури клітин під дією зовнішнього магнітного поля.

Дихання рослин є однією з найголовніших функцій рослинних об'єктів. Газообмін рослинних об'єктів відіграє істотну роль у їх розвитку. З метою визначення ефективності застосування ЕМП отримали впровадження методи вимірювання функцій газообміну біологічних об'єктів: манометричний, амперметричний, маспектрометричний, оптикоакустичний, комбінований та ін. Основним недоліком цих методів є низька точність, досить велика громіздкість і крихкість обладнання та неможливість автоматизації процесу вимірювання.

Вимірювання газообміну пов'язане з визначенням кількості вуглекислого газу рослин та насіння, заснованим на поглинанні CO_2 лугом. З аналізу досліджень випливає, що вимірювання функцій дихання біологічних речовин можна виконувати за зміною діелектричної проникності газу, що оточує об'єкт.

З проведеного теоретичного аналізу витікає, що з використанням методу вимірювань функцій дихання біологічних об'єктів за величиною діелектричної проникності газу відпадає необхідність у визначенні кількості O_2 та CO_2 . Будь-які кількісні зміни цих газів будуть пропорційні зміні діелектричної проникності газу, який оточує об'єкт.

Застосування енергії ЕМП, як показує аналіз, призводить до активації метаболічних процесів у рослинних тканинах і підвищення врожайності с.-г. культур.

У зв'язку з цим необхідні дослідження зі створення науково-технічних передумов для підвищення ефективності виробництва овочевих тепличних культур з використанням електротехнічних і магнітних систем в спорудах захищеного ґрунту для активації гетерогенних структур (ґрунт, насіння овочевих культур, кореневі системи).

У другому розділі «Моделювання взаємодії стаціонарних електричних полів з насінням сільськогосподарських культур» для проведення теоретичних досліджень розглянуто модель розподілу стаціонарного електричного поля в ґрунті для одиночного штиря (рис.1).

Для визначення стимулюючого впливу на біологічні об'єкти визначено напруженість електричного поля в полярній системі координат, що створюється штирем. Враховуючи відоме співвідношення $\vec{E} = -\text{grad}\psi$, після низки перетворень отримано скалярне рівняння Лапласа для електричного потенціалу $\Delta\psi = 0$. Було вирішено частковий розв'язок задачі Діріхле для рівняння Лапласа методом розділення змінних, який забезпечить визначення розподілу напруженості електричного поля.

З цією метою розглянуто полярну систему координат (r, φ) з початком у центрі круга, котра співпадає з віссю циліндричного штиря. В цій системі координат рівняння має вид:

$$\Delta\psi = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} = 0 \quad (1)$$

Рішенням задачі Діріхле для скалярного рівняння Лапласа є сума всіх його рішень:

$$\psi(r, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{r^n} (A_n \cos n\varphi + B_n \sin n\varphi) \quad (2)$$

Для вирішення задач (1), (2) необхідно врахувати граничні умови для часткового розв'язку задачі, що розглядалася:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{r_0^n} (A_n \cos n\varphi + B_n \sin n\varphi) = 0, \quad (3)$$

де r_0 – радіус кругового перетину металевго штиря, м; U – напруга, що подається на штир, В.

Розкладаючи напругу у ряд Фур'є на відріжку $[0...2\pi]$:

$$U(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi \quad (4)$$

отримано часткове рішення для розподілу електричного потенціалу у ґрунті навколо зарядженого електричного штиря із заданими граничними умовами:

$$\psi(r, \varphi) = U + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \frac{U}{n\pi} (1 - (-1)^n) \sin n\varphi \quad (5)$$

В результаті перетворень отримано залежність величини напруженості електричного поля в полярній системі координат, що створюється штирем:

$$\vec{E} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U r_0^n}{\pi r^{n+1}} (1 - (-1)^n) \sin n\varphi \vec{e}_r^0 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U r_0^n}{\pi r^{n+1}} (1 - (-1)^n) \cos n\varphi \vec{e}_\varphi^0, \quad (6)$$

де n – непарне.

На підставі проведених чисельних розрахунків отримано залежність розподілу напруженості електричного поля в ґрунті (рис. 2). При цьому напруга, що подається на штир, приймалась 100 В, радіус штиря – 0,01 м; розглядалась зона навколо штиря з радіусом до 1 м.

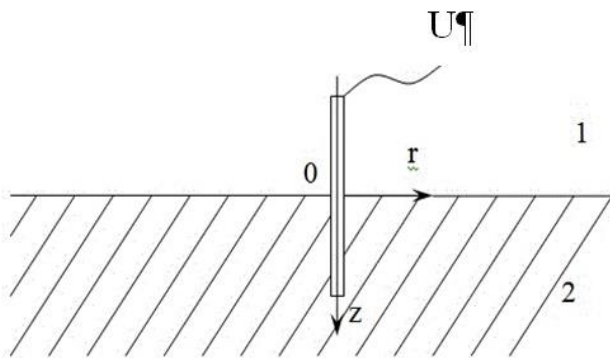


Рис. 1. Одиночний металевий штир в ґрунті з підведеною напругою U

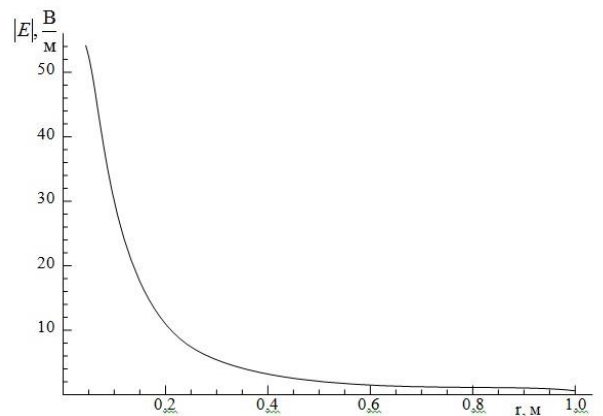


Рис. 2. Залежність напруженості електричного поля в ґрунті від відстані до одиночного металевго штиря

Оскільки розподілення електричного поля інваріантне відносно вибраної системи координат, то при переході до системи координат, у якій центр знаходиться в будь-якій точці, характер залежностей не змінюється. Величина потенціалу має вираз:

$$\psi(r, \varphi) = U + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{|\vec{r}_0 - \vec{r}'|}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right)^n \frac{U}{n\pi} (1 - (-1)^n) \sin n\varphi, \quad (7)$$

де $\vec{r}_0$ – радіус-вектор точки, що знаходиться на поверхні штиря, м; $\vec{r}$ – радіус-вектор довільної точки М, в якій досліджується створене штирем електричне поле, м; $\vec{r}'$ – радіус-вектор точки, що співпадає з віссю штиря в перпендикулярній площині, м.

При цьому модуль напруженості стаціонарного електричного поля має вираз:

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_r^2 + E_\phi^2} = \frac{2U}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\vec{r}_0 - \vec{r}'|^n}{|\vec{r} - \vec{r}'|^{n+1}} \quad (8)$$

Отримані залежності (7), (8) дозволяють визначити величину стаціонарного електричного поля в ґрунті, що створюється за рахунок системи електричних штирів.

У роботі проведено теоретичні дослідження щодо визначення ліній, рівних напруженості електричного поля, створюваного в ґрунті чотирма зарядженими штирями (рис. 3).

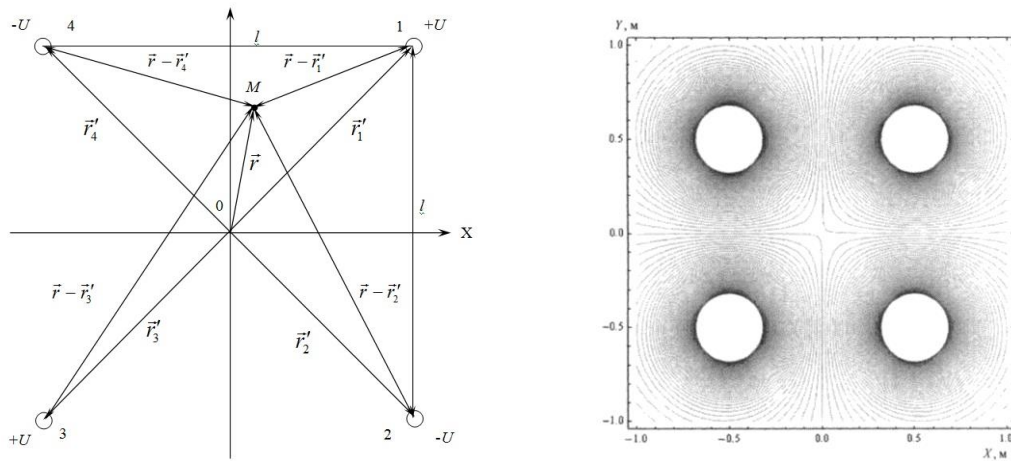


Рис. 3. Ділянка ґрунту у формі квадрата, що містить чотири заряджених штирі в його вершини та лінії рівних напруженостей електричного поля

Модуль напруженості електричного поля визначено для будь-якої точки розташування М:

$$|\vec{E}| = \frac{2U}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{|\vec{r}_{01} - \vec{r}'_1|^n}{|\vec{r} - \vec{r}'_1|^{n+1}} - \frac{|\vec{r}_{02} - \vec{r}'_2|^n}{|\vec{r} - \vec{r}'_2|^{n+1}} + \frac{|\vec{r}_{03} - \vec{r}'_3|^n}{|\vec{r} - \vec{r}'_3|^{n+1}} - \frac{|\vec{r}_{04} - \vec{r}'_4|^n}{|\vec{r} - \vec{r}'_4|^{n+1}} \right) \quad (9)$$

В роботі були проведені чисельні розрахунки та отримані залежності розподілу напруженості електричного поля по лінії, що з'єднує осі штирів (рис. 4), а також при її зсуві (рис. 5).

З аналізу (рис. 5) витікає, що залежно від поставленої мети насіння або коренева система рослин повинні знаходитися в області максимальної амплітуди електричного поля (при більш високоенергетичному впливі) або можуть бути розподілені рівномірно (коли енергія поля має помірну величину).

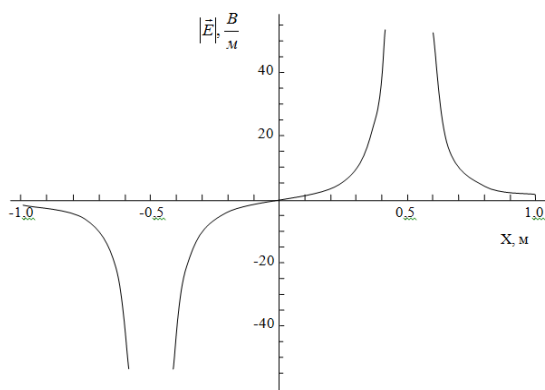


Рис. 4. Розподіл напруженості електричного поля по лінії, що з'єднує осі протилежно заряджених штирів

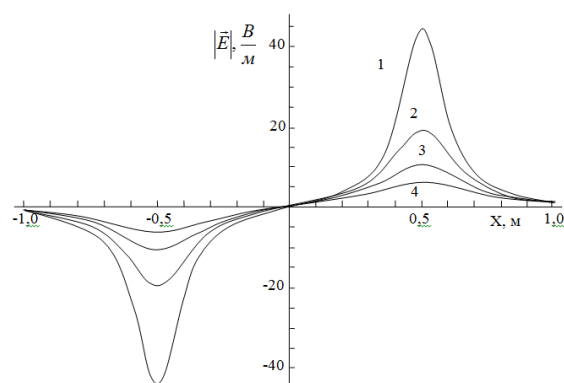


Рис. 5. Розподіл напруженості електростатичного поля по лінії, зміщеній вниз від осей штирів: 1 – зсув на 0,1 м; 2 – зсув на 0,15 м; 3 – зсув на 0,2 м; 4 – зсув на 0,25 м.

Таким чином, залежно від посадкового матеріалу і сформованої мети можна вибирати різне розташування заряджених металевих штирів.

Аналітичні розрахунки свідчать, що найбільш сприятливим є знаходження насіння рослин і кореневої системи на лінії, яка з'єднує осі заряджених штирів, причому оптимальним є діаметр 2 см.

Залежність амплітуди модуля напруженості електричного поля від координат точок ґрунту між зарядженими штирями показана на рис. 6.

Аналіз інформаційних джерел вказує, що зовнішнє електричне поле впливає на електричні властивості рослинних клітин і таким чином може регулювати інтенсивність процесів розвитку рослин.

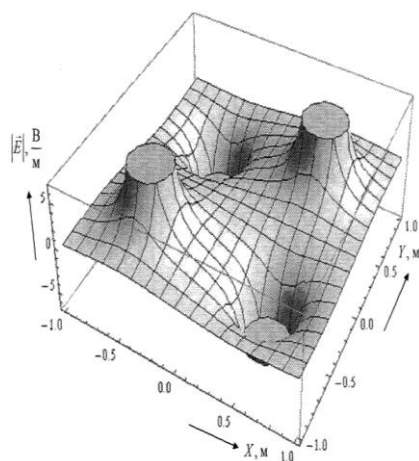


Рис. 6. Залежність амплітуди модуля напруженості електричного поля

Були визначені діапазони потенціалу спокою мембрани, створювані основними типами іонів всередині клітини і поза нею:

$$U_m = \psi_i - \psi_e = \frac{RT}{Z_p F} \ln \frac{C_{pe}}{C_{pi}}, \quad (10)$$

де U_m – потенціал на мембрані в початковий момент часу, В; R – газова стала; T – абсолютна температура, К.

Побудована математична модель дозволяє дослідити перебіг обмінних процесів на рівні мембрани клітини в сталому режимі. Отримані результати лежать в діапазоні від 70 до 105 мВ.

Використовуючи поняття еквівалентного заряду, отримана залежність потенціалу на мембрані клітини, що дає можливість оцінити процеси, які відбуваються на клітинному рівні в клітинах насіння або кореневій системі рослин, що знаходяться під впливом електричного поля.

Потенціал на мембрані клітини під впливом зовнішнього електричного поля:

$$\psi = \sqrt{U_{0m}^2 + \frac{P \cdot C_e \cdot q \cdot d^2}{2\pi \cdot \epsilon_3 \cdot \epsilon_0 \cdot a^2} \left(\frac{q \cdot C_0 \cdot V_0}{4\pi \cdot \epsilon_3 \cdot \epsilon_0 \cdot a^2} e^{-\frac{q \cdot F \cdot U_{0m}}{R \cdot T}} + |\vec{E}| \right) t} \quad (11)$$

З метою визначення позитивного впливу на кореневу систему проведено аналітичні розрахунки і отримані результати відповідають змінюванню ефективного радіусу клітини в діапазоні $3,12 \cdot 10^{-4} \dots 3,23 \cdot 10^{-4}$ см. Залежності мембранного потенціалу біологічної клітини від часу впливу електричного поля при однаковому потенціалі спокою представлені на рис. 7,8: 1 – зсув на 0,25 м; 2 – зсув на 0,2 м; 3 – зсув на 0,15 м. Отримані результати підтверджують можливість штучного впливу за допомогою електричного поля на перебіг обмінних процесів в тканинах рослин.

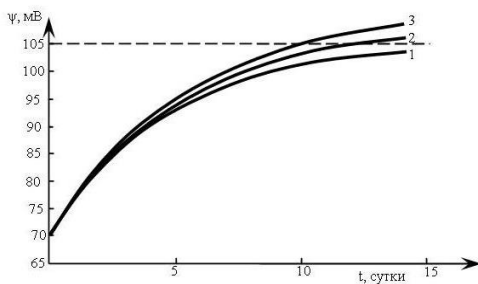


Рис. 7. Залежність мембранного потенціалу біологічної клітини від часу впливу електричного поля (сухий ґрунт)

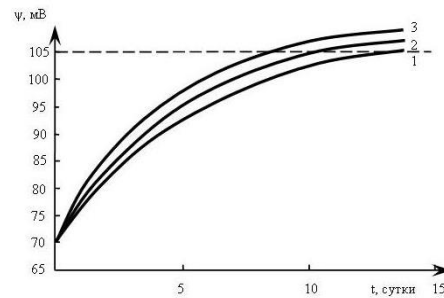


Рис. 8. Залежність мембранного потенціалу біологічної клітини від часу впливу електричного поля (вологий ґрунт)

При цьому напруга між металевими штирями в ґрунті має становити 70 В, штирі повинні розташовуватися у вершинах квадрата зі стороною 1 м, зсув рослин від осі між штирями – не менше 0,2 м.

В третьому розділі «Моделювання впливу магнітостатичних полів на кореневу систему сільськогосподарських рослин» розглянуто вплив магнітостатичних полів на кореневу систему рослин. Вплив поля досягається за допомогою занурення у верхній шар ґрунту намагнічених частинок. Для дослідження цього явища було виконано моделювання розподілу в ґрунті статичних магнітних полів, створених такими частинками. Якщо намагнічений об'єкт характеризує проникність ϵ і μ , то в його внутрішніх точках електромагнітне поле буде описуватися рівняннями:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{E} + i\omega\mu_0 \cdot \vec{H} = \vec{g}^M \\ \text{rot} \vec{H} - i\omega\epsilon_c \cdot \vec{E} = \vec{g}^{\text{э}} \end{cases}, \quad (12)$$

де
$$\vec{g}^M = i\omega(\mu_0 - \mu) \cdot \vec{H}$$
$$\vec{g}^{\text{э}} = i\omega(\epsilon - \epsilon_c) \cdot \vec{E}$$

Діелектрична проникність ϵ і магнітна μ розглядаються як функції координат і змінюються стрибкоподібно при переході від тіла до навколишнього середовища.

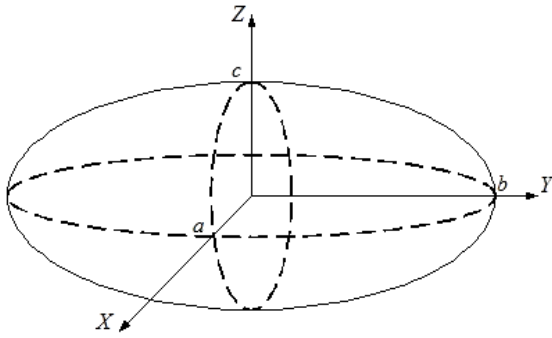


Рис. 9. Еліпсоїдальна намагнічена частинка

Матриця має вираз:

$$\tilde{A}_M = \begin{pmatrix} a_{M11} & a_{M12} & a_{M13} \\ a_{M21} & a_{M22} & a_{M23} \\ a_{M31} & a_{M32} & a_{M33} \end{pmatrix} \quad (14)$$

У випадку, якщо розсіювач має форму витягнутого або сплюсненого еліпсоїда, то вдається знайти більш прості вирази для еліптичних інтегралів.

Так, для витягнутого еліпсоїда $a = c > b$ маємо:

$$I_1 = I_3 = \frac{1}{(a^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}} \left(\arccos \frac{b}{a} - \frac{b}{a^2} \sqrt{a^2 - b^2} \right);$$

$$I_2 = \frac{2}{(a^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{1}{b} \sqrt{a^2 - b^2} - \arccos \frac{b}{a} \right). \quad (15)$$

Якщо ж еліпсоїд сплюснений, то $b = c < a$ і:

$$I_1 = \frac{2}{(a^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}} \left(\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - b^2}}{b} - \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \right);$$

$$I_2 = I_3 = \frac{1}{(a^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{a}{b^2} \sqrt{a^2 - b^2} - \ln \frac{a + \sqrt{a^2 - b^2}}{b} \right). \quad (16)$$

Для випадку, коли розсіювачі мають форму кулі, тобто в еліпсоїді всі півосі рівні між собою: $a = b = c = R$.

При цьому отримуємо:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \int_0^\infty \frac{ds}{(R^2 + s)^{\frac{5}{2}}} = \frac{2}{3R^3}. \quad (17)$$

Вираз (17) дозволяє значно спростити формули для визначника Δ_M та матриці $\tilde{A}_M$:

$$\Delta_m = 4 \frac{3\mu + 2\mu_0}{27\mu_0}; \quad (18)$$

$$\tilde{A}_m = \begin{pmatrix} \frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} & -\frac{2\mu}{9\mu_0} & -\frac{2\mu}{9\mu_0} \\ -\frac{2\mu}{9\mu_0} & \frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} & -\frac{2\mu}{9\mu_0} \\ -\frac{2\mu}{9\mu_0} & -\frac{2\mu}{9\mu_0} & \frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Отримані результати теоретичних досліджень дозволяють визначити величину внутрішнього магнітного поля еліпсоїда залежно від розмірів півосей еліпсоїда a, b, c . Для визначення електричної та магнітної складових статичного поля використана декартова система координат у площині XY .

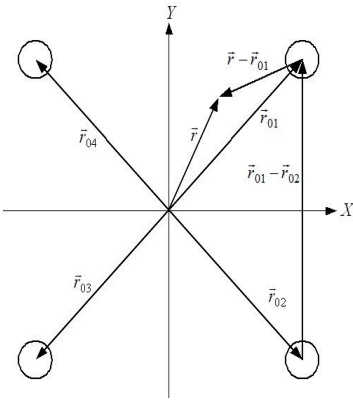


Рис. 10. Розташування намагнічених частинок і координати їх центрів

У випадку впливу намагнічених частинок, внесених в ґрунт, на кореневу систему рослин, слід врахувати те, що ці частинки створюють статичні магнітні поля. Враховуючи припущення, напруженість магнітного поля визначається за формулою:

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \vec{H}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{V}{4\pi|\vec{r}| \Delta_m} \left(\frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_m \vec{H}_0^{(0)} \quad (20)$$

Результуюче поле, що створюється системою намагнічених частинок, визначається:

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \sum_{n=1}^4 \tilde{P} \frac{V}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_{0n}| \Delta_m} \left(\frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_m \sum_{m=1}^4 \vec{H}_{0n}^{(0)}(\vec{r}_{0n} - \vec{r}_{0m}) \quad (21)$$

На підставі запропонованої моделі виконано розрахунки статичних магнітних полів як суми полів, що створюються всередині кожної намагніченої частинки сусідніми елементами.

На основі розробленої моделі був виконаний розрахунок статичних магнітних полів, які створюються системою намагнічених частинок. Для спрощення розрахунків припустимо, що намагнічені частинки орієнтовані так, що вектор магнітного поля $\vec{H}_{0n}^{(0)}$, створюваного ними, направлений по осі OX , тобто має тільки одну складову $H_{0nx}^{(0)}$. Дане припущення не применшує точності розрахунків, так як дозволяє отримати повну картину розподілу магнітних полів в ґрунті між намагніченими частками і прорахувати амплітуди цих полів у різних точках. Якщо при цьому нехтувати можливою анізотропією частинок, то для розрахунків можна скористатися наступним виразом:

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \frac{9R^3(\mu - \mu_0)}{12\mu + 8\mu_0} \sum_{n=1}^4 \vec{G}(\vec{r} - \vec{r}_{0n}), \quad (22)$$

де вектор $\vec{G}(\vec{r} - \vec{r}_{0n})$ містить наступні компоненти:

$$G_x(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = - \left(\frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} \cdot \frac{-2(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} + \frac{2\mu}{3\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})(y - y_{0n})}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} \right) H_{0nx}; \quad (23)$$

$$G_y(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = - \left(\frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})(y - y_{0n})}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} + \frac{2\mu}{3\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})^2 - 2(y - y_{0n})^2}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} \right) H_{0ny}; \quad (24)$$

$$G_z(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = 0. \quad (25)$$

Таким чином, маємо вираз, який відображає створене в ґрунті магнітостатичне поле з компонентами $H_x^{(0)}(\vec{r})$ та $H_y^{(0)}(\vec{r})$.

Отримані вище вирази дозволяють провести розрахунок розподілу магнітостатичних полів з різними параметрами намагнічених частинок в горизонтальній площині, яка паралельна поверхні ґрунту. Були розглянуті одиничні сферичні намагнічені сфери, розташовані у вершині квадрата зі стороною 60 см: радіус сфер – 0,3 см, відносна магнітна проникність сфер $\mu = 5000$, напруженість магнітного поля, що утворюється ними, $H = 5 \cdot 10^4$ А/м. Отримано розподіл векторного статичного поля всередині квадрата і векторні лінії з урахуванням зовнішніх областей ґрунту.

Отримані залежності дозволяють оцінити однорідність і стабільність в орієнтації магнітного поля. Для однорідності впливу на кореневу систему рослин необхідно розташовувати об'єкти, що створюють магнітне поле, на відстані близько 10 см.

Залежності амплітуди статичного магнітного поля від координат точок між джерелами, які представлені на рис. 11, наочно підтверджують обґрунтованість висловлених припущень про однорідність впливу магнітного поля на кореневу систему. У роботі розрахована залежність модуля амплітуди магнітного поля від координат лінії, що з'єднує центри намагнічених сфер (рис. 12).

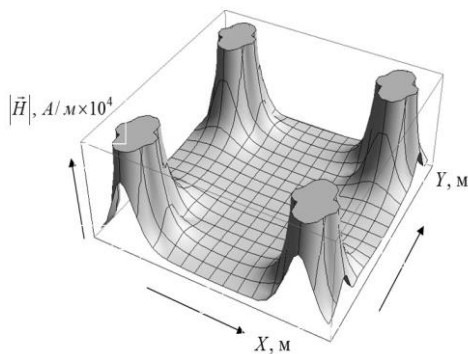


Рис. 11. Тривимірний графік залежності амплітуди статичного магнітного поля

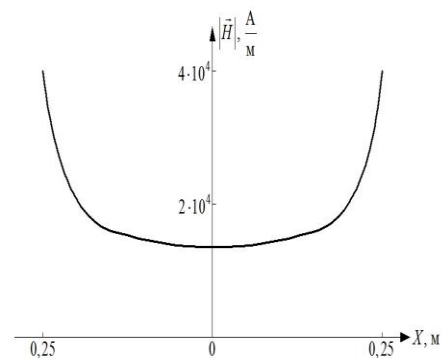


Рис. 12. Залежність амплітуди статичного магнітного поля від координат точок, розташованих на прямій лінії між джерелами цього поля

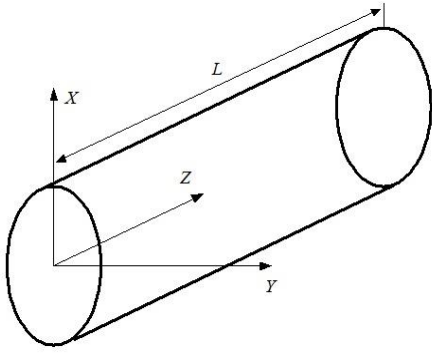


Рис.13. Модель каналу руху живильних речовин

Отримані результати мають аналогічний характер, але зі збільшенням відстані між сферами більше 60 см, напруженість магнітного поля в ґрунті значно зменшується, що знижує ефективність впливу на кореневу систему розташованих поряд з ними рослин.

Для дослідження та впливу визначення зовнішніх статичних магнітних полів на рух поживних речовин в кореневій системі рослин розглянута структура, що має вигляд циліндра кінцевої довжини з жорсткими стінками.

Для вирішення ефективності впливу МП на живлення рослин було використано рівняння гідродинаміки Нав'є-Стокса:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{1}{\rho} \vec{f} + \frac{\eta}{\rho} \Delta \vec{v} + \frac{1}{\rho} \left(\xi + \frac{\eta}{3} \right) \nabla \operatorname{div} \vec{v} \quad (26)$$

Виконавши ряд перетворень, була вирішена система рівнянь впливу на поживні речовини:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial t} - \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] = \frac{eN\mu_0}{\rho} \left[\vec{e}_z^0 v_{0z} \times \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) \right]_r, \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} - \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] = \frac{eN\mu_0}{\rho} \left[\vec{e}_z^0 v_{0z} \times \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) \right]_z + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L} \end{cases} \quad (27)$$

і визначена радіальна складова швидкості поживних речовин:

$$v_r = \frac{e \cdot N \cdot \mu_0 \cdot v_{0z} \cdot H_\phi^{(0)}(\vec{r}) \cdot r^2}{4 \cdot \nu \cdot \rho} \quad (28)$$

Радіальна швидкість має параболічний характер. Вона прямо пропорційно залежить від величини модуля вектора магнітного поля, концентрації поживних речовин і осьової швидкості їх руху. Залежність від в'язкості і щільності поживних речовин – обернено пропорційна (рис. 14).

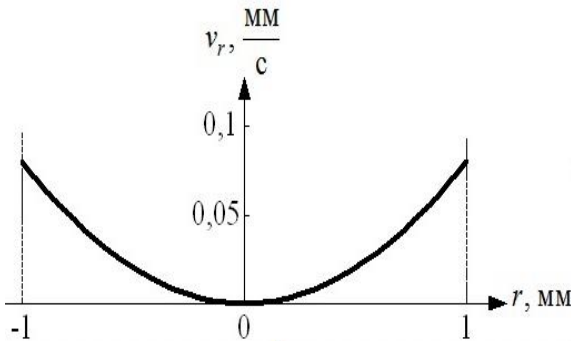


Рис. 14. Залежність амплітуди радіальної швидкості потоку поживних речовин від радіуса каналу

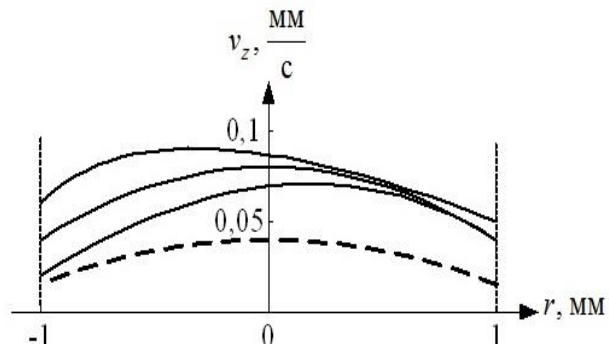


Рис. 15. Залежність амплітуди осьової швидкості потоку поживних речовин від радіуса каналу

Поздовжня складова швидкості руху визначалась за формулою:

$$v_{z\Sigma} = v_{0z} + v_z = -\frac{\Delta P \cdot r^2}{4 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L} + \frac{3 \cdot e \cdot N \cdot \mu_0 \cdot v_{0z} \cdot H_{\phi}^{(0)}(\vec{r}) \cdot z}{4 \cdot \nu \cdot \rho} \quad (29)$$

Характер зміни осьової швидкості руху поживних речовин по поперечному перерізу кореневого каналу також носить параболічний характер, але у даної параболи гілки спрямовані вниз, а її вершина може бути зміщена від осі каналу залежно від напрямку та величини вектора (рис. 15). Для визначення числових значень в роботі проведено розрахунки радіальної і поздовжньої (осьової) складової швидкості руху поживних речовин і побудовані залежності.

Результат теоретичних досліджень показує, що для збільшення поздовжньої швидкості поживних речовин у кореневій системі тепличних культур на 0,02... 0,03 мм/с, в порівнянні зі швидкістю поживних речовин без магнітного поля, необхідно створити величину напруженості магнітного поля в межах $1,5 \cdot 10^4$ А/м... $4 \cdot 10^4$ А/м.

В четвертому розділі «Дослідження відкритого циліндричного резонатора для контролю зміни діелектричних параметрів зовнішнього середовища» виконані дослідження електричних властивостей газоподібних середовищ за допомогою відкритих циліндричних діелектричних резонаторів. Проблема електромагнітного аналізу циліндричних резонаторів зводиться до розробки математичної моделі, що належить до класу крайових задач теорії ЕМП.

Резонатор розглядався у вигляді круглого циліндра кінцевої довжини, виготовленого з одноосного кристала, що характеризується тензором діелектричної проникності з відмінними від нуля компонентами в напрямках паралельному і перпендикулярному до його оптичної осі. Оптична вісь резонатора збігається з віссю геометричної симетрії резонатора (рис. 16).

З математичної точки зору резонатор моделюється деякою обмеженою областю, межа якої Q - поверхня.

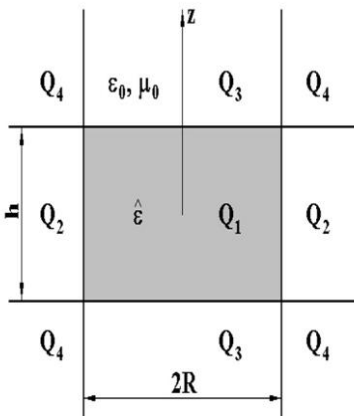


Рис.16. Модель резонатора

Ця область заповнена середовищем, що характеризується тензором діелектричної проникності і магнітною проникністю.

Для аналізу роботи відкритих циліндричних діелектричних резонаторів необхідно знайти значення частоти, при яких існують векторні функції, що задовольняють всюди, за винятком граничної поверхні резонатора, однорідні рівняння Максвелла:

$$\text{rot } \vec{H} = -i \frac{\omega}{c} \begin{cases} \hat{\epsilon} \vec{E}, \text{ в } Q \\ \epsilon_0 \vec{E}, \text{ вне } Q \end{cases} \quad (30)$$

$$\text{rot } \vec{E} = i \frac{\omega}{c} \begin{cases} \mu \vec{H}, \text{ в } Q \\ \mu_0 \vec{H}, \text{ вне } Q \end{cases} \quad (31)$$

$$\text{div}(\hat{\epsilon} \vec{E}) = 0, \quad \text{div}(\mu \vec{H}) = 0, \text{ в } Q. \quad (32)$$

Область простору Q , зайнята резонатором, збігається з множиною

$$Q = \left\{ (r, \varphi, z) : 0 \leq r \leq R, \quad |r| < \frac{h}{r}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi \right\}, \quad (33)$$

де R – радіус резонатора, м; h – висота резонатора, м.

Записавши рівняння (30,31) в циліндричній системі координат і виконавши перетворення, були отримані рівняння для повздовжньої і поперечної складових напруженості магнітного поля:

$$\frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial z^2} + k^2 H_\varphi = i k_0 \varepsilon_\perp \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 H_z}{\partial z \partial \varphi} \quad (34)$$

$$\frac{\partial^2 H_r}{\partial z^2} + k^2 H_r = - \frac{i k_0 \varepsilon_\perp}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} + \frac{\partial H_z}{\partial z \partial r} \quad (35)$$

$$\frac{\partial^2 E_r}{\partial z^2} + k^2 E_r = \frac{\partial^2 E_r}{\partial z \partial r} + \frac{i k_0 \mu}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi}, \quad (36)$$

які виражають поперечні компоненти власних коливань через поздовжні компоненти, паралельні оптичній осі резонатора.

Використовуючи метод часткових областей, нами отримані подання для поздовжніх компонент E_z і H_z для областей, як показано на рис. 16:

$$Q_1 = \left\{ (r, \varphi, z) : 0 \leq r \leq R, \quad |r| \leq \frac{h}{2}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi \right\} \quad (37)$$

Розглянемо випадок для області Q_1 . Після перетворення отримані розподілення поля, характерні для коливань типу «шепочучої галереї»:

$$E_z^1 = A \cdot I_m(k_E r) \cos m\varphi \sin \beta z \quad (38)$$

$$H_z^1 = B \cdot I_m(k_H r) \cos m\varphi \sin \beta z \quad (39)$$

де $\bar{k}^2 = \beta^2 - K_0^2 \varepsilon_0 \mu_0$, $\bar{\bar{k}}^2 = K_0^2 \varepsilon_0 \mu_0 + \alpha^2$, α – постійна загасання уздовж осі z .

Виконавши перетворення, отримані подання $E_\varphi, E_r, H_\varphi, H_r$ для поперечних компонент електромагнітного поля в областях Q_1, Q_2, Q_3 . Для області Q_1 подання для поперечних компонент:

$$k_H^2 H_\varphi^1 = \left[i k_0 \varepsilon_\perp k_E A \cdot I'_m(k_E r) - \frac{m\beta}{r} B I_m(k_H r) \right] \cos m\varphi \sin \beta z \quad (40)$$

$$k_H^2 H_r^1 = \left[\frac{i k_0 \varepsilon_\perp m}{r} A \cdot I_m(k_E r) - k_H \beta B I'_m(k_H r) \right] \sin m\varphi \sin \beta z \quad (41)$$

Таким чином, отримано явне представлення для поля власних коливань відкритого циліндричного діелектричного резонатора, який було використано при побудові характеристичного рівняння для визначення власних частот резонатора.

Для визначення невідомих амплітуд поля власних коливань констант A, B, C, D, E, F було розглянуто умову безперервності тангенціальних компонент поля власних коливань на бічній поверхні резонатора – $r = R$, $|z| \leq h/r$:

$$E_z^1 = E_z^2, \quad H_z^1 = H_z^2, \quad \text{при} \quad r = R, \quad |z| \leq \frac{h}{r} \quad (42)$$

$$E_\varphi^1 = E_\varphi^2, \quad H_\varphi^1 = H_\varphi^2, \quad \text{при} \quad r = R, \quad |z| \leq \frac{h}{r} \quad (43)$$

Після перетворення було отримано лінійну алгебраїчну однорідну систему рівнянь щодо амплітуд A і B :

$$A \frac{m\beta}{R} \left(\frac{1}{\bar{k}^2} + \frac{1}{K_H^2} \right) I_m'(k_E R) + B i k_0 \mu \left(\frac{I_m'(k_H R)}{k_H} + \frac{K_m'(\bar{k}R)}{\bar{k} K_m(\bar{k}R)} \right) I_m(k_H R) = 0 \quad (44)$$

$$A i k_0 \left(\frac{\sqrt{\varepsilon_{\parallel} \varepsilon_{\perp}}}{k_H} I_m'(k_E R) + \frac{\varepsilon_0 K_m'(\bar{k}R)}{\bar{k} K_m(\bar{k}R)} I_m(k_E R) \right) - B \frac{m\beta}{R} \left(\frac{1}{\bar{k}^2} + \frac{1}{k_H^2} \right) I_m(k_H R) = 0 \quad (45)$$

Рівняння (44,45) утворюють лінійну алгебраїчну однорідну систему рівнянь для амплітуд A і B . Після ряду перетворень отримуємо рівняння нормованої постійної поширення уздовж оптичної осі резонатора:

$$\left[\frac{y \sqrt{\varepsilon_{\parallel} \varepsilon_{\perp}}}{\varepsilon_0} I_m' \left(x \sqrt{\frac{\varepsilon_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}}} \right) + F_m(x, y) \right] \cdot \left[\frac{\mu y}{\mu_0} I_m' \left(x \sqrt{\frac{\varepsilon_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}}} \right) + F_m(x, y) \right] - m^2 I_m^2(x) \left(1 + \frac{y^2}{x^2} \right) \left(\frac{\varepsilon_{\perp} \mu}{\varepsilon_0 \mu_0} + \frac{x^2}{y^2} \right) = 0 \quad (46)$$

Визначивши нормовані постійні поширення, були отримані нормовані власні хвильові числа i , відповідно, власні частоти резонатора:

$$\omega = \frac{c}{R} \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{\varepsilon_{\perp} \mu - \varepsilon_0 \mu_0}}, \quad (47)$$

Виконавши ряд перетворень, було отримано характеристичне рівняння для визначення власних частот коливань «шепучої галереї» відкритого резонатора циліндричної форми:

$$\left| \frac{\frac{y I_m'(x)}{I_m(x)} + \frac{x K_m'(y)}{K_m(y)}}{\frac{y \sqrt{\varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel}} I_m' \left(x \sqrt{\frac{\varepsilon_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}}} \right)}{I_m \left(x \sqrt{\frac{\varepsilon_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}}} \right)} + \frac{x K_m'(y)}{K_m(y)}} \right|^{1/2} \gg 1 \quad (48)$$

Для визначення впливу діелектричної і магнітної проникності зовнішнього середовища на спектр власних частот резонатора в роботі визначено алгоритм визначення електрофізичних параметрів середовища. Було зроблено низку припущень:

1. Середовище навколо діелектричного резонатора є ізотропним, однорідним і характеризується діелектричною проникністю, близькою до одиниці, тобто $|\varepsilon_{0-1}| \ll 1$.
2. Втрати малі настільки, що ними можна знехтувати.
3. Середовище є немагнітним, тобто магнітна проникність $\mu_0 = 1$.
4. Матеріал, з якого виготовлений циліндричний резонатор, моделюється анізотропним діелектричним середовищем з тензором діелектричної проникності.

Досліджені коливання EH_{mnp} типу. Постійна загасання поля поза резонатором і постійна поширення всередині резонатора задовольняють рівняння:

$$\alpha = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{\perp}} \beta \operatorname{tg} \frac{\beta h}{2} \quad (49)$$

$$\alpha = -\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{\perp}} \beta \operatorname{ctg} \frac{\beta h}{2} \quad (50)$$

Співвідношення між резонансним хвильовим числом і постійної поширення відповідає випадку, коли E_z є парною функцією змінної z , яке в безрозмірній формі має вигляд:

$$\hat{k}_0 = u \sqrt{\frac{1 + \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_{\perp}^2} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{uh}{2R} \right)}{\varepsilon_{\perp} - \varepsilon_0}}, \quad (51)$$

де $\hat{k}_0 = k_0 R$, $u = \beta R$, h – висота, м; R – радіус резонатора, м.

Враховуючи, що діелектрична проникність зовнішнього середовища близька до одиниці, представимо рівняння нормованої постійної розповсюдження вздовж оптичної осі резонатора в наступній формі:

$$F_1(x, y) + \delta F_2(x, y) = 0, \quad (52)$$

де $\delta = \varepsilon_0 - 1$,

Провівши ряд перетворень, було отримано резонансне хвильове число:

$$\Delta \hat{k}_0 = (\varepsilon_0 - 1) \left[\frac{u_0^2}{2 \hat{k}_0(0)(\varepsilon_{\perp} - 1)} + \dot{u}_0 \frac{\hat{k}_0(0)}{u_0} \right], \quad (53)$$

$$\text{де } \dot{u}_0 = - \frac{F_2(x, y) + \frac{\partial F_1}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \delta} + \frac{\partial F_1}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \delta}}{\frac{\partial F_1}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial u} + \frac{\partial F_1}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial u}} \text{ в безрозмірній формі.}$$

Таким чином, отримано зв'язок між зміною резонансної характеристики резонатора і діелектричною проникністю середовища, оточуючого резонатор. Тим самим вирішена задача про визначення діелектричної проникності зовнішнього середовища по відношенню до резонатора за зміною резонансної частоти коливання «шепочучої галереї».

У процесі досліджень розглядався відкритий циліндричний діелектричний резонатор фіксованого радіуса. В якості матеріалу резонатора був обраний лейкосапфір з діелектричною проникністю $\varepsilon_{\parallel} = 11,51$; $\varepsilon_{\perp} = 9,4$. Досліджувалися коливання «шепочучої галереї» EH_{mnp} типу з азимутним індексом $m = 40$, аксіальним індексом $p = 1$ і радіальним індексом $n = 1, 2$. На рис. 17 представлені залежності резонансних частот і добротності коливань «шепочучої галереї». Як видно з рис.17, зміна добротності коливань при варіації висоти резонатора має яскраво виражений резонансний характер.

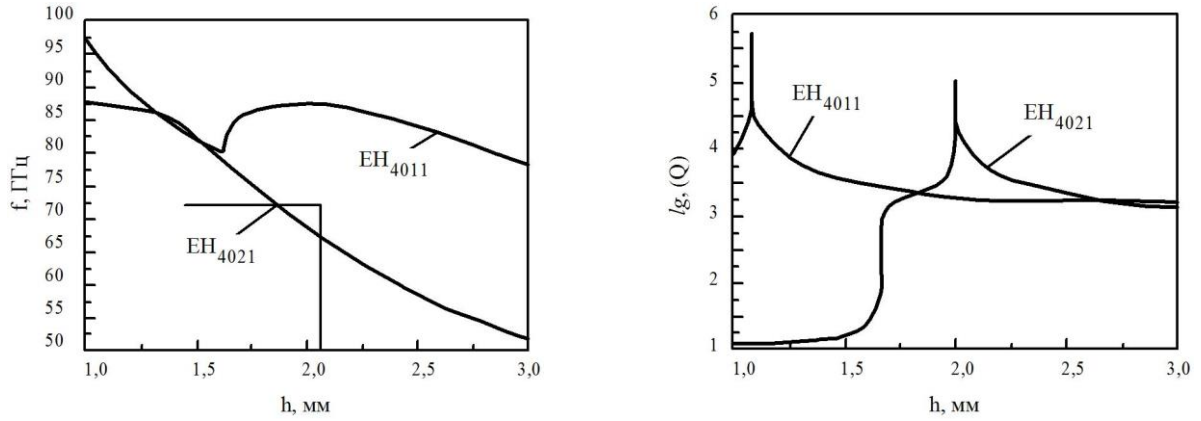


Рис. 17. Графіки залежності резонансних частот і добротності коливань «шепочучої галереї» типу $E H_{mnp}$ від висоти резонатора

Вибираючи геометричні параметри резонатора таким чином, щоб виконувалася умова резонансу добротності коливань, можливо отримати інформацію про зміну діелектричної проникності зовнішнього середовища за зміною резонансної частоти. У результаті теоретичних досліджень отримано вираз для резонансних частот коливань «шепочучої галереї»:

$$f = \frac{c V_{mp}}{2 \pi R \sqrt{\epsilon_{\parallel}}} \sqrt{1 + \frac{2(\epsilon_{\perp} - \epsilon_0)}{\epsilon_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{(\epsilon_{\perp} - \epsilon_0)}{\epsilon_{\parallel}} \left(\frac{h V_{mp}}{R} \right)^2} \right)}}} \quad (54)$$

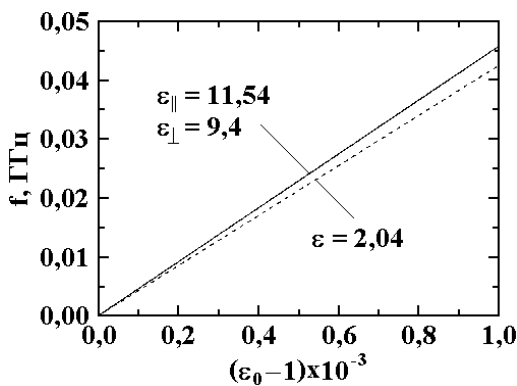


Рис. 18. Графіки залежності зміщення резонансних частот $\Delta f = f(1) - f(\epsilon_0)$ від діелектричної проникності зовнішнього середовища

На рис.18 показана залежність резонансної частоти $f(h)$ коливання $EH_{40,1,1}$ від діелектричної проникності для резонатора з параметрами: $\epsilon_{\parallel} = 9,4$; $\epsilon_{\perp} = 11,54$; $R = 19$ мм; $h = 2$ мм; тип хвилі – EH_{4021} . На підставі аналізу, збільшення діелектричної проникності зовнішнього середовища призводить до зменшення резонансної частоти. Аналіз числових результатів для анізотропного та ізотропно-

го діелектричних резонаторів дозволяє стверджувати, що анізотропний діелектричний резонатор має більшу перевагу, ніж ізотропний, оскільки спостерігається більш суттєве змінювання резонансної частоти.

Таким чином, для виконання вимог щодо чутливості вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин в межах $\epsilon - 1 \approx 10^{-6}$ необхідно застосовувати відкриті циліндричні анізотропні діелектричні резонатори, які збуджуються на коливаннях «шепочучої галереї» з добротністю в межах $10^4 \dots 10^5$.

У п'ятому розділі «Розробка електронної системи для контролю газообміну рослин за зміною діелектричної проникності» була розроблена електронна система.

Узагальнена структурна схема технічного пристрою представлена на рис. 19.

У таких системах перетворення частоти здійснюється на основі частотного автопідстроювання стабілізованого за частотою генератора до частоти вимірювального резонатора.

Модуляція сигналу здійснюється на виході генератора (3) міліметрового діапазону:

$$U(t) = U_m \sin(\omega_0 \cdot t + x_0 \cdot \sin \Omega \cdot t), \quad (55)$$

де U_m – амплітуда сигналу на вході резонатора, В; ω_0 – частота генератора, Гц; x_0 – узагальнена амплітуда девіації частоти, Гц; Ω – частота модуляції, Гц

За допомогою коефіцієнтів розкладу в ряд Фур'є були визначені амплітуди гармонійних складових частотного спектра коливань. Визначено інтеграл для першої гармоніки, побудована залежність нормованого значення амплітуди першої гармоніки від амплітуди девіації частоти:

$$U_n = 4\alpha P_0 \left(-\frac{1}{x_0^2} + \frac{2 + x_0^2}{2x_0^2 \sqrt{1 + x_0^2}} \right), \quad (56)$$

де α – коефіцієнт, що характеризує чутливість, і коефіцієнт передачі детектора.

За принципом роботи, після посилення і фазового детектування на виході радіотехнічної частини схеми виробляється керуюча напруга:

$$U_{\text{упр}} = 4U_0 K \left(-\frac{1}{x_0^2} + \frac{2 + x_0^2}{2x_0^2 \sqrt{1 + x_0^2}} \right) \quad (57)$$

де K – коефіцієнт передачі підсилювача і перетворювача.



Рис. 20. Залежність нормованого значення амплітуди першої гармоніки від параметра x_0

Числові розрахунки свідчать, що для резонатора з добротністю 10^5 амплітуда частотного відхилення становитиме $f_0 \approx 900 \dots 950$ кГц, напруга управління $U_{упр.} \approx 2$ В, для параметрів: чутливості детектора $\alpha = 1$ В/Вт; потужності, що підводиться до детектора $P_0 = 65$ мВт; коефіцієнта передачі підсилювача $K = 10^2$. Для крутизни електронного перестроювання $S=10^8$ Гц/В величина змінювання частоти генератора буде в межах, $\Delta f = 0,03 \dots 0,04$ ГГц, що відповідає теоретичному розрахунку.

У дисертаційній роботі розроблено пристрій для вимірювання діелектричної проникності газового середовища речовин, функціональна схема представлена на рис. 21. Для аналізу структурно-динамічних систем частотно-амплітудного перетворення була використана імітаційна модель на основі математичного опису досліджуваної системи. Аналіз виконаний за припущення, що відхилення частоти, викликані газом, що досліджується, лежать в межах лінійної області характеристик керуючого елемента і дискримінатора. Для дослідження перехідного процесу частотно-амплітудного перетворювача розроблена структурно-динамічна схема лінійної системи. Програмний опис системи, виконаний за допомогою засобів мови пакета моделювання безперервних процесів, є адекватним відображенням структурно-динамічної схеми.

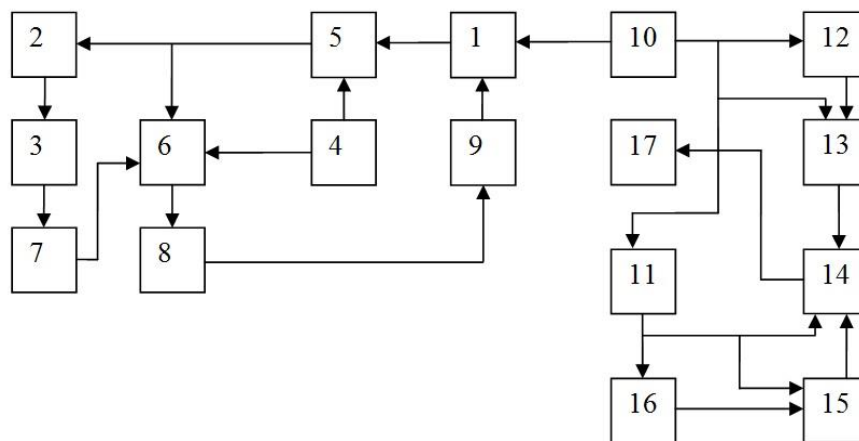


Рис. 21. Функціональна схема вимірювань діелектричної проникності дихання рослин: 1 – ГЛПД; 2 – високودобротний вимірювальний резонатор; 3 – КВЧ-детектор; 4 – генератор модуляційних частот; 5 – модулятор; 6 – амплітудно-фазовий детектор; 7 – вибірковий підсилювач; 8 – селективний підсилювач; 9 – орган управління; 10 – формувач імпульсів; 11 – генератор опорної частоти; 12 – дільник частоти; 13 – тригер; 14 – ключ; 15 – тригер; 16 – формувач імпульсів; 17 – реєстратор.

Був досліджений перехідний процес системи частотно-амплітудного перетворювача. Параметри системи частотно-амплітудного перетворювача визначали за показниками якості перехідного процесу: коливальність $n=1 \dots 2$; величина перерегулювання – $10 \dots 20$ %, час встановлення перехідного процесу $t_y = (0,5 \dots 0,9) \cdot 10^{-5}$ с.

Для забезпечення точності вимірювання діелектричної проникності речовин були проаналізовані параметри системи частотно-амплітудного перетворювача. Дисперсія помилки системи перетворювача визначалася виразом:

$$\sigma^2 = \frac{C_1^2 d_0 + C_0^2 d_2}{2d_0(d_1 \cdot d_2 - d_0 \cdot d_3)} S_{\xi}(0) \quad (58)$$

Після диференціювання виразу 58, на підставі числових розрахунків, визначено оптимальний коефіцієнт передачі лінійної системи перетворювача $k_o = 5 \cdot 10^5$. Помилка від дії внутрішніх шумів знаходиться в межах $\sigma_o = 0,018 \text{ рад}^2$.

Одним з основних вузлів електронної системи вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин є високостабільне найвисокочастотніше джерело. В якості джерела 4 мм діапазону хвиль в дослідженнях був використаний генератор на лавинно-пролітному діоді з варакторною перебудовою частоти, керований напругою.

На рис. 22 представлена конструкція генератора і його еквівалентна схема заміщення. Для аналізу частотної характеристики генератора була використана еквівалентна схема (рис. 22 а) генератора з електронною перебудовою частоти.

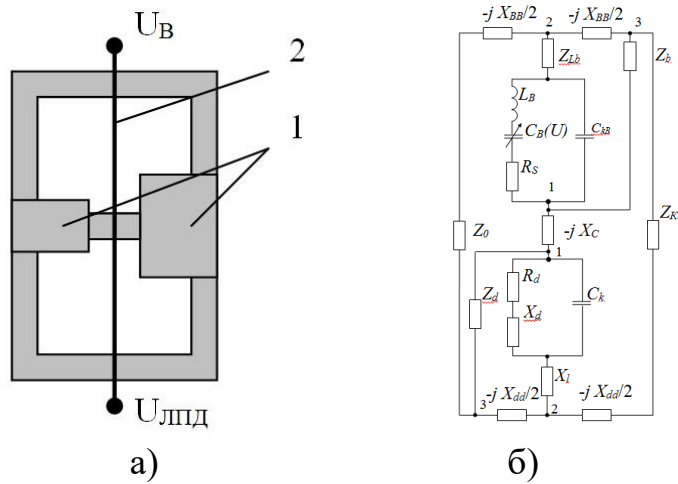


Рис. 22. Конструкція генератора на лавинно-пролітному діоді і еквівалентна схема заміщення

Виконано числові розрахунки і отримані залежності спектральної щільності частотних флуктуацій генератора від частоти аналізу (рис. 23) і нестабільності частоти генератора від часу вимірювання (рис. 24).

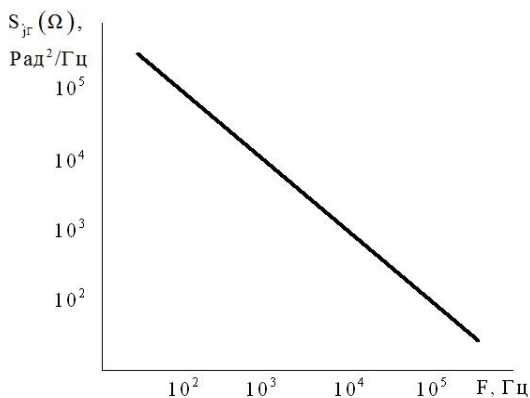


Рис.23. Залежність спектральної щільності частотних флуктуацій генератора від частоти аналізу

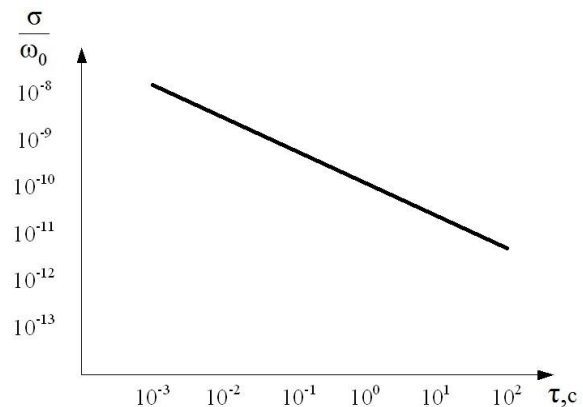


Рис.24. Нестабільність частоти генератора від часу вимірювання

Для розрахунків дисперсії і нестабільності частоти генератора на лавинно-пролітному діоді були використані наступні параметри: $f_0 = 70 \cdot 10^9$ Гц; $P_0 = 0,1$ Вт; $Q_n = 10^3$; $R_d = 3$ Ом; $R_s = 0,5$ Ом; $L_p = 0,1 \cdot 10^{-9}$ Гн; $C_1 = 0,2 \cdot 10^{-12}$ Ф; $U_0 = 15$ В; $I_0 = 0,1$ А; $K_1 = 10^{-7}$ В/Гц; $K_2 = 10^2$; $K_3 = 1$; $K_4 = 10^2$; $K_5 = 10^8$ Гц/В; $T_1 = 10^{-7}$ с; $T_2 = 10^{-6}$ с; $T_3 = 0,1$ с.

Наведені результати теоретичних досліджень показують, що збільшення добротності зовнішнього контуру і вибір оптимальних режимів роботи генератора на лавинно-пролітному діоді дозволяють істотно знизити рівень частотних шумів і ефективно зменшити швидкі флуктуації частоти, що забезпечує малі значення короткочасної нестабільності частоти в межах $10^{-8} \dots 10^{-9}$ ступеня. Застосування в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин перетворювачів частоти з параметрами $K_1 = 10^{-7}$ В/Гц; $K_2 = 10^2$; $K_3 = 1$; $K_4 = 10^2$; $K_5 = 10^8$ Гц/В; $T_1 = 10^{-7}$ с; $T_2 = 10^{-6}$ с; $T_3 = 0,1$ с дозволить забезпечити величину перерегулювання менше 10%, час встановлення перехідного процесу $0,8 \cdot 10^{-5}$ с і дисперсію похибки в межах 10^{-2} . У генераторі міліметрового діапазону з відносною нестабільністю частоти $10^{-7} \dots 10^{-8}$, в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин, для електронної перебудови частоти в межах 1,5-2% слід використовувати варакторний діод з крутизною перебудови 10^8 Гц/В.

У шостому розділі «Дослідження елементів структури для створення статичного магнітного поля та його вплив на мікроелементи в ґрунті» були розроблені двадцять шість модельних систем. Представлені моделі мають різну кількість α -фази, різні форми частинок і щільність упаковки. Характерною особливістю моделей є дуже мала намагніченість і значне зменшення магнітної сприйнятливості та проникності (рис. 25).

Кожна модель має свою характерну особливість, наприклад, модель 9 відрізняється кількістю α -фази (9...2,3 %) і геометричним розташуванням частинок, армованих у немагнітну матрицю, магнітострикція цієї моделі досягає насиченості в полях 3,2 А/м.

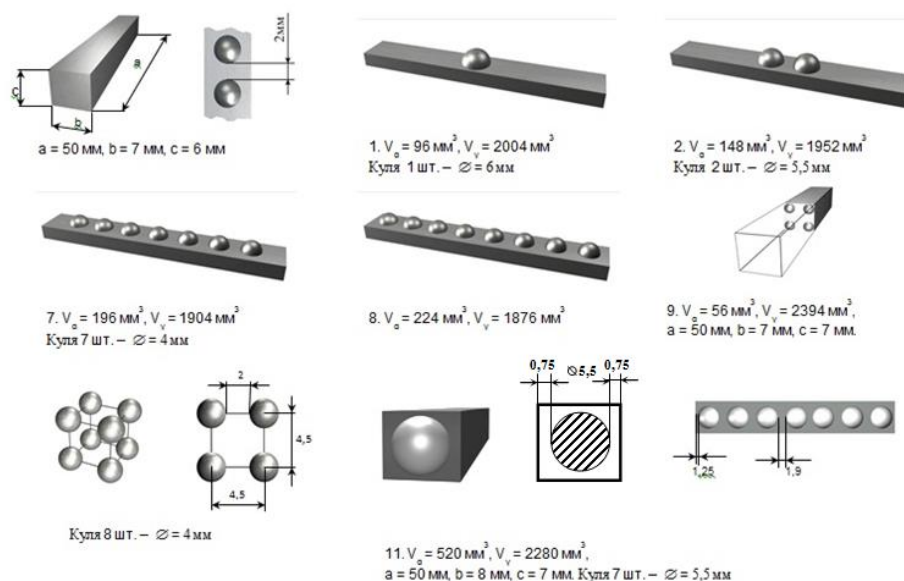


Рис. 25. Моделі зразків 1...11

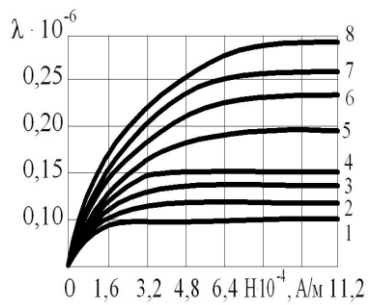


Рис. 26. Залежність $\lambda=f(H)$
зразків 1...8

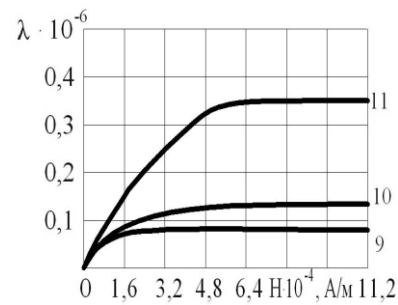


Рис. 27. Залежність $\lambda=f(H)$
зразків 9...11

Враховуючи, що магнітні матеріали структурно надзвичайно чутливі, у дослідженнях впливу магнітного поля на рослинні об'єкти були визначені електрофізичні властивості штирів-електродів. Після проведення фізико-механічних і хімічних досліджень зі зразків сталей були виготовлені робочі штирі-електроди з наступними геометричними розмірами: сталь Ст. 45 – 12×1500 мм; Ст.14Х17Н2 – 18×1000 мм.

У результаті теоретичних і експериментальних досліджень було виготовлено зразок магнітометра, загальний вигляд пристрою представлений на рис. 28.

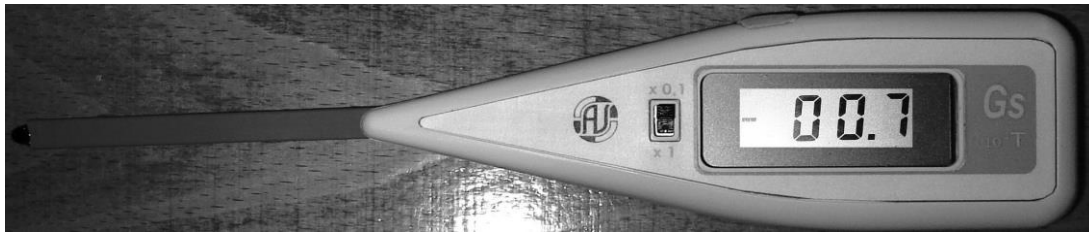


Рис. 28. Загальний вигляд магнітометра

Режим роботи магнітометра – спостерігальний автоматичний.

Діапазон вимірювання:

- $(0 \dots 2000) \cdot 10^{-4}$ Тл з основною похибкою $\Delta B = \pm(3+0,03 B_x)$;
- $(0 \dots 20000) \cdot 10^{-4}$ Тл з основною похибкою $\Delta B = \pm(30+0,03 B_x)$.

На рис. 29 наведена структурна схема пристрою.

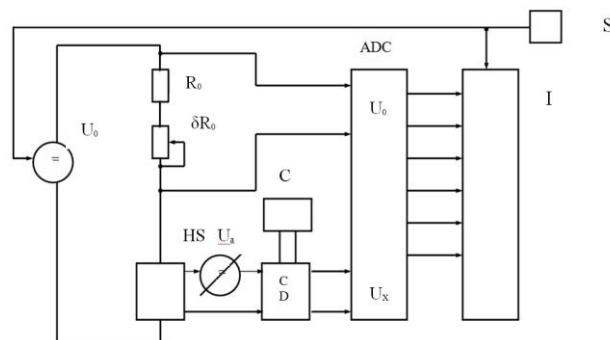


Рис. 29. Структурна схема магнітометра: U_0 – джерело опорної напруги; R_0 – еталонний резистор; HS – датчик Холла; ADS – аналогово-цифровий перетворювач; CD – керуючий лічильник напруги.

Експериментальні виміри повного вектора магнітного поля системи «магнітне поле – гетерогенна структура» виконувались з використанням модифікованого високоточного магнітометра-градієнтометра КМ-8. На рис. 30 наведено загальний вигляд експериментальної установки, а на рис. 31 – результати дослідження індукції магнітного поля ґрунту.

Аналіз результатів свідчить про досить високу варіацію повного вектора магнітного поля гетерогенної структури під час впливу зовнішнього магнітного поля.

Для побудови магнітної моделі гетерогенної системи була використана пряма задача магніторозвідки. Розрахунок значень магнітного поля $\Delta T(\Delta Z)$ виконувався від заданого значення тіла з визначеною формою, розмірами і розташуванням в просторі.



Рис. 30. Зовнішній вигляд апаратної частини магнітометра-градієнтометра КМ-8

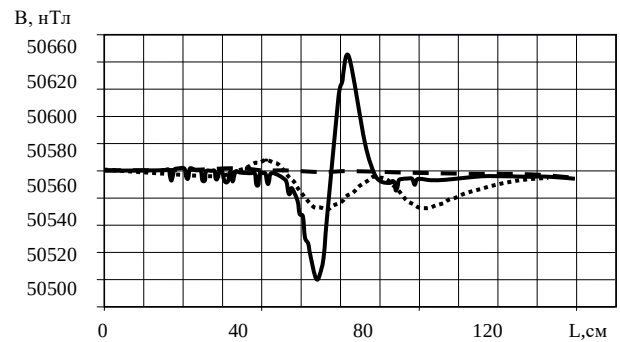


Рис. 31. Результати експериментальних досліджень визначення індукції МП

В якості магнітозбурювальних об'єктів були використані штирі-електроди, які представлені у вигляді циліндрів, наповнених сферами. Аналітичне визначення результуючого значення векторів намагніченості виконувалось за формулами (59-61):

$$X_a = \left(\frac{M}{r^5} \right) \cdot \left[(2x^2 - y^2 - h^2) \cdot \cos i \cdot \cos A + 3x \cdot (y \cos i \cdot \sin A - h \cdot \sin i) \right] \quad (59)$$

$$Y_a = \left(\frac{M}{r^5} \right) \cdot \left[(2y^2 - x^2 - h^2) \cdot \cos i \cdot \sin A + 3y \cdot (x \cos i \cdot \cos A - h \cdot \sin i) \right] \quad (60)$$

$$Z_a = \left(\frac{M}{r^5} \right) \cdot \left[(2h^2 - x^2 - y^2) \cdot \sin i - 3h \cdot \cos i (x \cdot \cos A + y \cdot \sin A) \right] \quad (61)$$

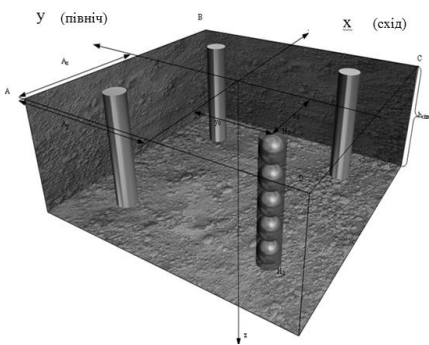


Рис. 32. Модель гетерогенної структури

На підставі аналізу теоретичних положень була розроблена модель гетерогенної структури (рис. 32).

$x_0, y_0, x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ – розташування електродів;

$A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y, D_x, D_y$ – координати точок площини, що досліджується;

D – delta, крок сканування по горизонталі та по вертикалі;

H_1, H_2 – верхня і нижня кромки відповідно;

$d_{\text{цил}}$ – діаметр електрода;

$h_{\text{сет}}$ – максимальна висота розташування датчика від поверхні землі.

Експериментальні дослідження впливу енергії електричного і магнітного полів на ґрунт проводились з метою визначення зміни кількісного вмісту азоту, фосфору і калію в ґрунті.

На рис. 33 наведено розташування штирів-електродів і мікроелементів в ґрунті. В процесі досліджень сталі штирі-електроди розміщувались за напрямом силових ліній магнітного поля Землі у вершинах квадрата зі стороною 600 мм. В таблиці 1 наведені результати виробничих досліджень.

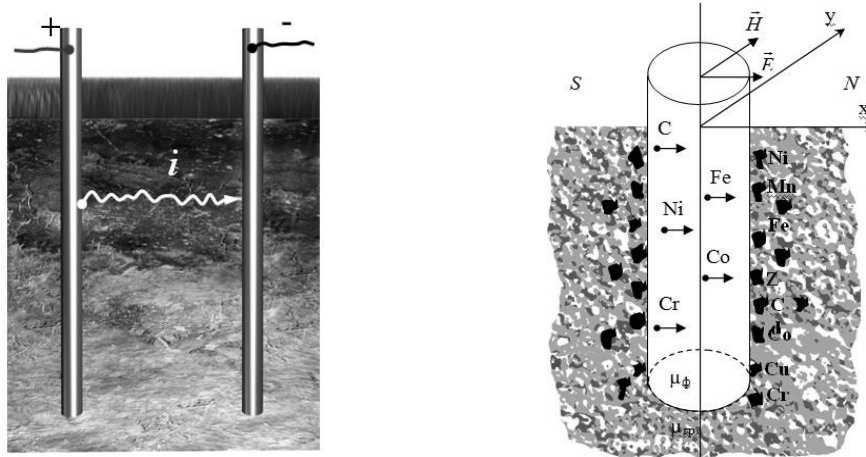


Рис. 33. Загальний вигляд розташування штирів-електродів і мікроелементів в ґрунті

Аналіз табл. 1 свідчить, що в експерименті збільшується кількість азоту від 9,4 до 50 %; фосфору – від 3 до 20 %; калію – від 17 до 50 %. Результати досліджень свідчать про зміну доступної форми фосфору і калію в більшу сторону в порівнянні з контрольними ділянками.

Таблиця 1

Вплив електричного і магнітного полів на агрохімічні показники ґрунту

Вид зразка	Місце експерименту	Індекс рН	Гумус, %	N-NO ₃ , мг/кг ґрунту	P ₂ O ₅ , мг/100 г ґрунту	K ₂ O, мг/100 г ґрунту
Базовий	Теплиця	7,15	3,02	6,40	11,9	30,90
Контрольний	Теплиця	7,17	3,05	10,5	12,5	50,50
Експериментальний	Теплиця	7,20	3,00	25,5	15,7	100,0
Контрольний	Лабораторія	7,55	3,45	23,1	17,3	154,5
Експериментальний	Лабораторія	7,40	3,56	54,2	17,9	187,8

На рис. 34-38 наведені гістограми результатів досліджень впливу полів на агрохімічні показники ґрунту.

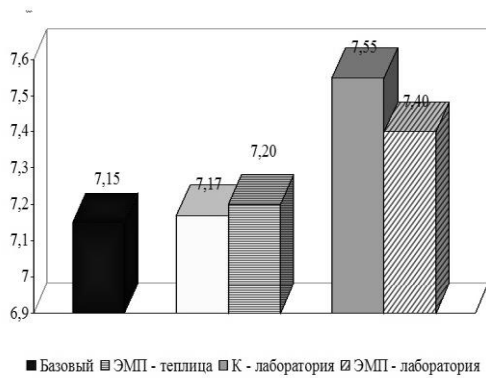


Рис. 34. Величина індексу рН

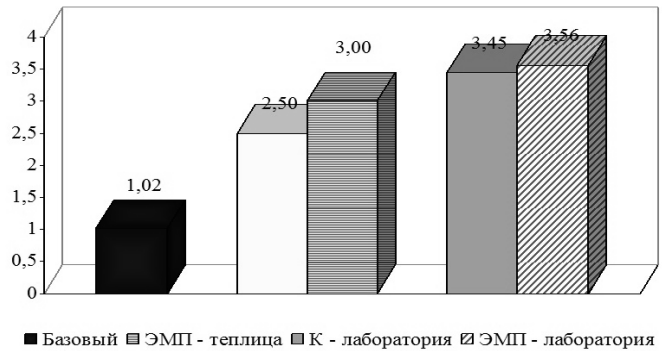


Рис. 35. Вміст гумусу

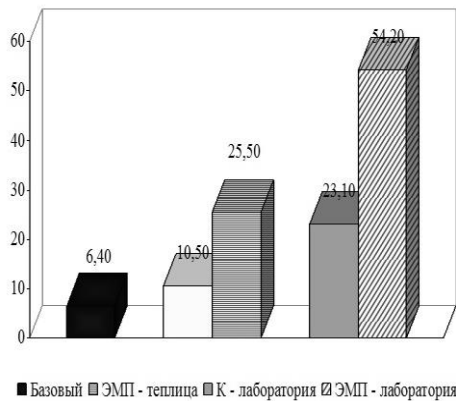


Рис. 36. Вміст азоту

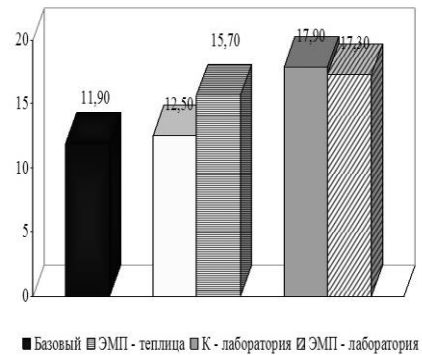


Рис. 37. Вміст доступного фосфору

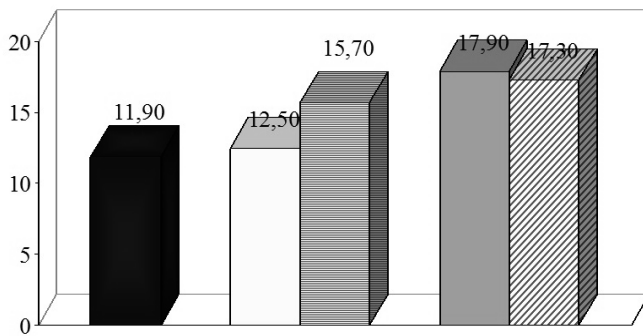


Рис. 38. Вміст калію

метою яких було:

- уточнення оптимальних характеристик відкритого анізотропного діелектричного резонатора для виміру діелектричної проникності газового середовища рослин в мм діапазоні хвиль;
- визначення параметрів стаціонарного електричного і статичного магнітного полів, що викликають підвищення врожайності тепличних культур.

Дослідження проводились на півдисковому діелектричному резонаторі з лейкоапіфіра з параметрами: радіус $R = 19$ мм, товщина $h = 2$ мм; діелектричні проникності і тангенс кута втрат склали: $\varepsilon_I = 9,4$; $\varepsilon_{II} = 11,54$; $\operatorname{tg} \delta = 5 \cdot 10^{-5}$; відхилення геометричної осі від оптичної складало п'ять кутових мінут.

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що вплив електричних і магнітних полів на ґрунт приводить до збільшення доступних форм мікроелементів для живлення рослин.

У цьому розділі «Експериментальні дослідження впливу стаціонарних електричних та статичних магнітних полів на розвиток тепличних культур» були проведені дослідження,

Конструкція резонатора наведена на рис. 39.

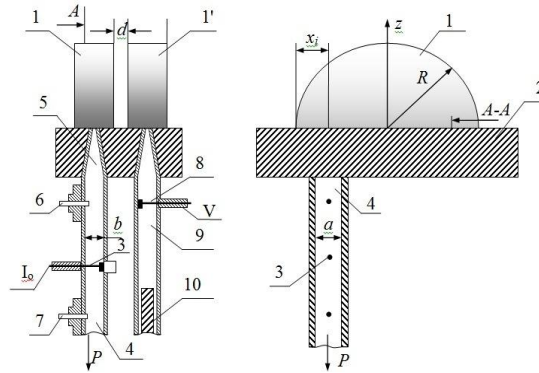


Рис. 39. Конструкція півдискового лейкосапфірового резонатора: 1 – півдисковий резонатор; 2 – металічне дзеркало; 3,11 – носії зарядів; 4,9 – хвилеводи; 5,10 – звужена щілина зв'язку; 8 – варакторний діод; 6,7,12 – узгоджувальні пристрої; 13 – індуктивний штир

Залежності, одержані в ході експерименту, представлені на рис. 40–41. Аналіз результатів свідчить про яскраво виражену залежність резонансної частоти від координат щілини зв'язку.

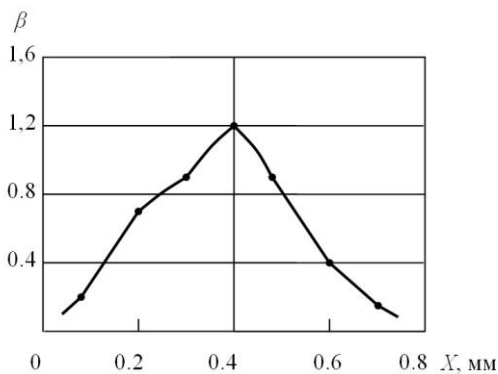


Рис. 40. Залежність резонансної частоти від координати щілини зв'язку

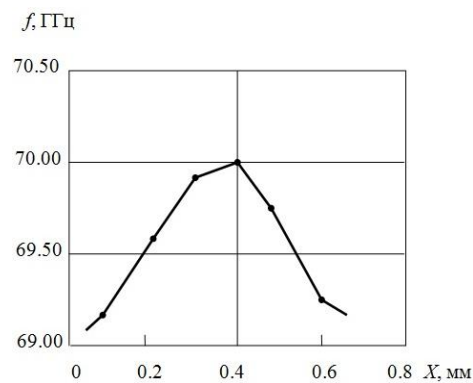


Рис. 41. Залежність коефіцієнта від координати щілини зв'язку

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень було виготовлено дослідний зразок генератора, загальний вигляд пристрою показаний на рис. 42. Функціональна схема установки для визначення добротності генератора – на рис. 43.

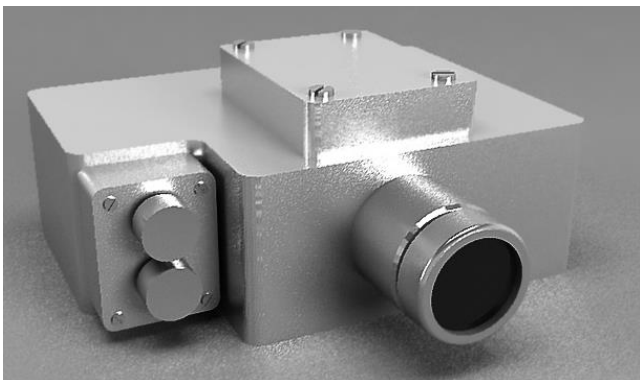


Рис. 42. Макетний зразок генератора на лавинно-пролітному діоді на частоту 70 ГГц

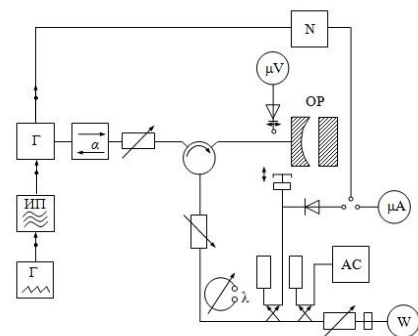


Рис. 43. Функціональна схема установки для визначення добротності і коефіцієнта зв'язку генератора з ВР

В процесі експерименту одержані залежності добротності (рис. 44) і коефіцієнта стабільності (рис. 45) генератора.

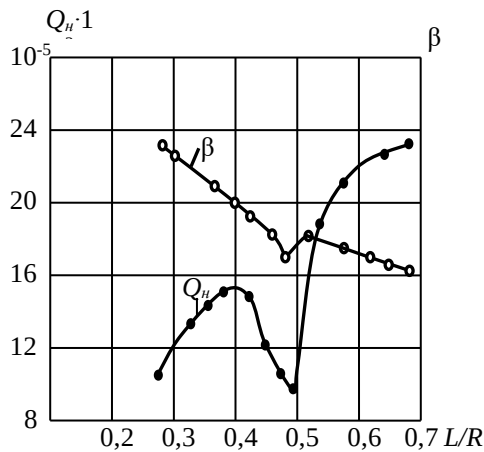


Рис. 44. Залежність добротності і коефіцієнта зв'язку від відстані між дзеркалами

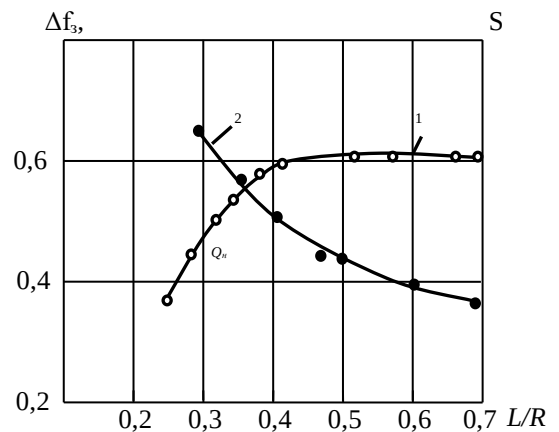


Рис. 45. Залежність коефіцієнта стабілізації та відносної смуги затягування (крива 2) від відстані між дзеркалами

Аналіз залежностей свідчить, що із збільшенням відстані між дзеркалами зменшується зв'язок між резонаторами, а отже, збільшується коефіцієнт стабілізації, граничний коефіцієнт стабілізації становить $S=200$.

Для дослідження характеристик генератора на лавинно-пролітному діоді в роботі була розроблена структурна схема стенда, наведена на рис. 46, результати досліджень представлені на рис. 47, 48.

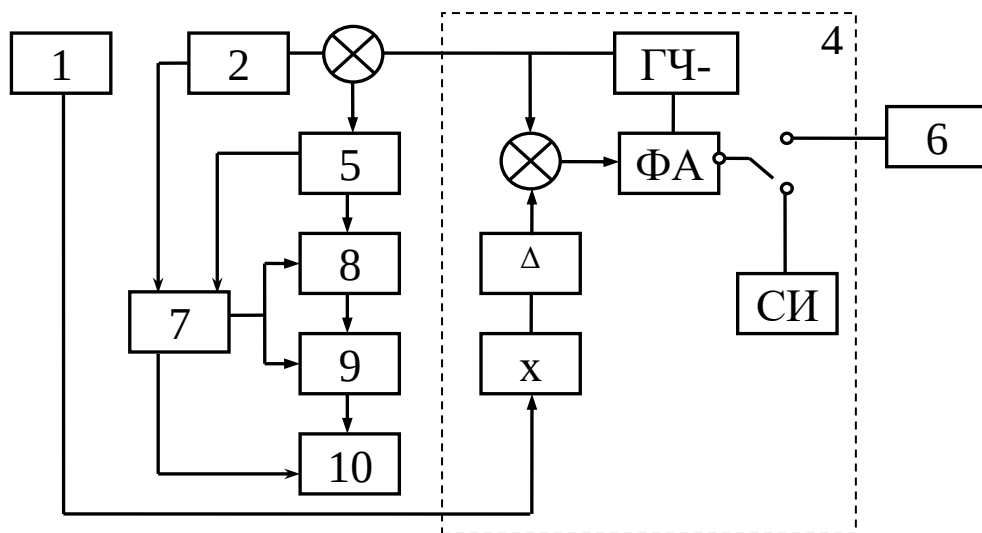


Рис. 46. Структурна схема стенда для дослідження генератора на лавинно-пролітному діоді з синтезатором на основі ОБР: 1 – високостабільний генератор 10 МГц (еталон); 2 – досліджуваний генератор; 3 – змішувач-помножувач; 4 – опорний генератор; 5 – УПЧ; 6 – синтезатор 46-31; 7 – компаратор фазовий Ч7-42; 8, 9 – аналізатори спектра СЧ-48 і СЧ-29; 10 – ЕСЧ з ПЕВМ.

Стійка область генерації знаходиться між точками А і В і складає 200 МГц, а вихідна потужність вимірюється від 23 до 15 мВт.

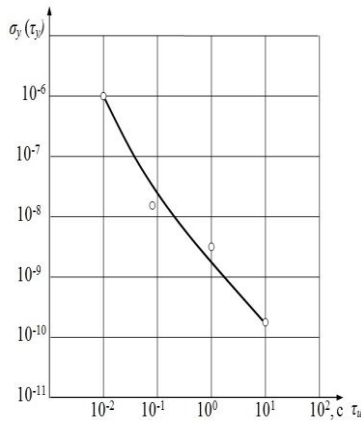


Рис. 47. Нестабільність частоти генератора на лавинно-протітному діоді

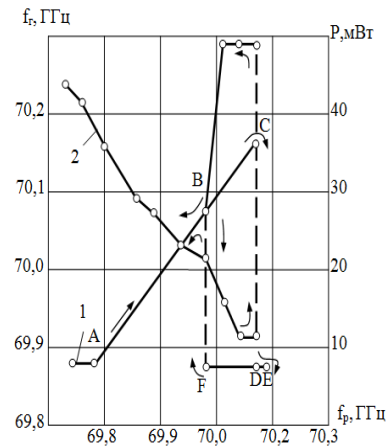


Рис. 48. Зміни частоти (крива 1) і вихідної потужності (крива 2) від частоти ОР

Для виміру газообміну за величиною діелектричної проникності в роботі на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена установка, структурна схема якої представлена на рис. 49: 1 – листова камера; 2 – камера для конденсації водяної пари; 3 – камера для поглинання залишків водяної пари; 4 – вимірювальний лейкосапфіровий резонатор; 5 – мікрокомпресор для прокачування повітря; 6 – вакуумований лейкосапфіровий резонатор; 7 – пристрій, що реєструє. Загальний вигляд вимірювальної установки представлений на рис. 50.

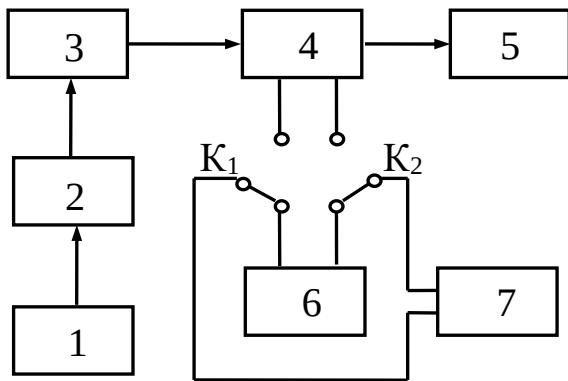


Рис. 49. Структурна схема установки для вимірювання газообміну рослин



Рис. 50. Загальний вигляд вимірювальної установки

Для впливу на електричне та магнітне поля на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена електротехнічна установка, функціональна схема якої представлена на рис. 51, зовнішній вигляд – на рис. 52. Основні параметри установки: напруга живлення, В – 0...100; номінальна потужність, кВА – 1,2; кількість електродів, шт. – 4; кількість постійних магнітів, шт. – 4; експозиція впливу, год. – до 720; характеристики постійних магнітів: магнітна індукція, B/B_r – 380 мТл; коерцитивна сила за індукцією, H_{cb} – 285 кА/м; коерцитивна сила за намагніченістю, H_{cj} – 380 кА/м; максимальна потужність, B_{Hmax} – 27 кДж/м³; максимальна робоча температура, T_{max} – до 200 °С.

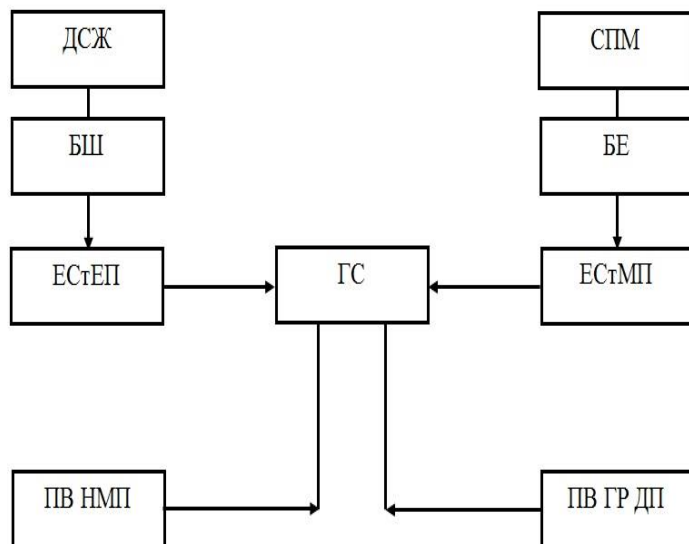


Рис. 51. Функціональна схема електротехнічної установки: ДСЖ – джерело стабілізованого живлення; БШ – блок штирів; ЕСтЕП – енергія стаціонарного електричного поля; ГС – гетерогенна структура; ПВ НМП – пристрій для вимірювання напруженості магнітного поля; СПМ – система постійних магнітів; БЕ – блок електродів; ЕСтМП – енергія статичного магнітного поля; ПВ ГР ДП – пристрій для вимірювання газообміну рослин за діелектричною проникністю.

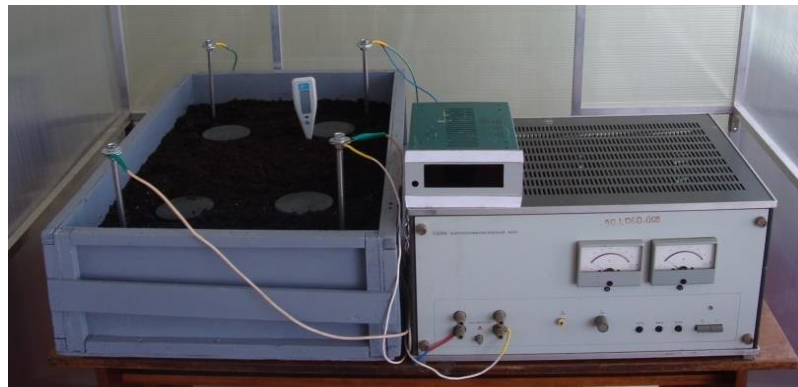


Рис. 52. Зовнішній вигляд електротехнічної установки

Для отримання залежностей, що пов'язують нормовані значення діелектричної проникності газового середовища рослин з параметрами магнітного і електричного полів було застосовано повнофакторне планування другого порядку. Після проведення вимірювань і розрахунків було одержано рівняння регресії, пов'язане з параметрами магнітного і електричного полів формулою (62):

$$Y = 0,74 + 0,04X_1 + 0,05X_2 + 0,08X_1X_2 + 0,02X_1^2 + 0,065X_2^2, \quad (62)$$

де Y – нормоване значення діелектричної проникності газового середовища рослин; X_1 – величина статичного магнітного поля; X_2 – величина стаціонарного електричного поля.

Значення факторів в оптимальній точці ($x_1 = 1$; $x_2 = -1$) відповідає значенням натуральних параметрів величини статичного магнітного поля $4 \cdot 10^4 \pm 0,05$ А/м і величини стаціонарного електричного поля $60 \pm 0,1$ В/м.

З метою визначення біометричних характеристик рослин фіксувались вологість і температура ґрунту, діаметр стебла, вага плодів, кореневої системи, польова схожість насіння. Аналіз експериментальних досліджень свідчить, що схожість насінин томату в досліді склала 97 %, а в контрольній групі – всього 65 %.

Різниця за схожістю між дослідом і контролем склала 32 %; схожість насінин огірків склала 92 %, а в контрольній групі – 67 %, відповідно різниця склала 25 %; у

досліджуваних рослин діаметр стебла і плодів був більше на 15 % порівняно з контролем; водопоглинаюча здатність за однакових параметрів ґрунту виявилася вище на 19 %, а вага кореневої системи була більше на 30 %; збільшення маточних квіток відносно контролю зростає на 300...400 %; збільшення врожайності томатів відносно контролю зростає в середньому на 180...190 %. Вплив статичного магнітного поля величиною $4 \cdot 10^4$ А/м і стаціонарного електричного поля величиною 60 В/м на кореневу систему огірків підвищує їх врожайність на 175...185 % і скорочує строки дозрівання на 4 дні порівняно з контролем.

У додатках представлені матеріали розрахунків багатофакторного експерименту «Результати статистичної обробки експерименту з параметрами статичного магнітного і стаціонарного електричного полів». Представлено документи, що підтверджують виконання експериментальних досліджень та виробничої перевірки за результатами дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема створення науково-технічних передумов підвищення ефективності виробництва овочевих тепличних культур, яка полягає в теоретичному обґрунтуванні та експериментальних дослідженнях зі створення електротехнічних і магнітних систем в спорудах захищеного ґрунту. Це дозволило сформулювати наступні висновки:

1. Аналіз інформаційних джерел свідчить, що урожайність огірків та томатів захищеного ґрунту має низькі показники і в середньому складає 12...15 кг/м². Більша частина продукції не відповідає вимогам якості державних стандартів, що потребує впровадження новітніх технічних рішень та технологій. У зв'язку з цим, необхідно забезпечити оптимальні умови для розвитку рослин, зокрема газообмін як один із основних показників життєдіяльності рослинних об'єктів.

Одним із перспективних шляхів суттєвого підвищення врожайності овочевих культур та отримання екологічно чистої продукції є впровадження електротехнічних і магнітних систем з контролем розвитку рослин за величиною діелектричної проникності газового середовища. Такі системи побудовані на основі впливу енергії електричного і магнітного полів на насіння та кореневу систему тепличних культур, що активізує внутрішньоклітинні процеси в рослинних системах і призводить до підвищення якості продукції та врожайності.

2. Для активації розвитку рослинних систем в гетерогенних структурах аналітично обґрунтовано доцільність використання електротехнічної і магнітної систем, які характеризуються наступними параметрами: штирі розташовуються у вершинах квадрата зі стороною 1 м, оптимальне розташування електродів постійних магнітів, що виготовлені з намагнічених частинок діаметром 3 мм, у вершинах квадрата зі стороною 0,6 м., при якому напруга між металевими штирями в ґрунті має становити не більше 70 В, а зсув рослин від осі між електродами – не менше 0,2 м.

3. Встановлено, що створення однорідного статичного магнітного поля з напруженістю $4 \cdot 10^4$ А/м в ґрунті забезпечить збільшення поздовжньої швидкості поживних речовин у кореневій системі тепличних культур на 0,02... 0,03 мм/с, що додатково

забезпечує збільшення маси кореневої системи огірків та томатів до 30%, збільшення кількості пептичних квітів огірків – до 349%, томатів – до 332% відносно контрольної групи.

4. Дослідженнями умов роботи відкритих циліндричних діелектричних резонаторів доведено, що для контролю процесів розвитку рослин за величиною діелектричної проникності газового середовища необхідно застосовувати резонатори, які збуджуються на коливаннях «шепочучої галереї» з добротністю в межах $10^4 \dots 10^5$, що забезпечує точність вимірювання в межах $\varepsilon = 1 \approx 10^{-6}$, допустимих для даного класу рослинних систем.

5. Доведено, що застосування перетворювачів частоти в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища з коефіцієнтами підсилення: $K_1 = 10^{-7}$ В/Гц; $K_2 = 10^2$; $K_3 = 1$; $K_4 = 10^2$; $K_5 = 10^8$ Гц / В; сталими часу підсилювачів $T_1 = 10^{-7}$ с; $T_2 = 10^{-6}$ с; $T_3 = 0,1$ с дозволить забезпечити величину перерегулювання менше 10 %, час встановлення перехідного процесу $0,8 \cdot 10^{-5}$ с і дисперсію похибки в межах 10^{-2} , що дає можливість автоматизувати процеси вимірювання.

6. Запропоновано використовувати діелектричну проникність газового середовища рослин у міліметровому діапазоні хвиль як один із основних комплексних параметрів оцінки процесів розвитку, встановлено, що для вимірювання з чутливістю 10^{-6} необхідно застосовувати діелектричні резонатори добротністю 10^5 , що дозволили розробити електронну систему для вимірювання газообміну рослин.

7. Встановлено що, в системі вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин для електронної перебудови частоти в межах 1,5...2 % слід використовувати варакторний діод з крутизною перебудови 10^8 Гц / В, що забезпечує малі значення короткочасної нестабільності частоти генератора на лавинно-пролітному діоді в межах $10^{-7} \dots 10^{-8}$ і дозволяє обирати оптимальні режими його роботи.

8. Обґрунтовано, що для виміру газового обміну рослин тепличних культур за зміною діелектричної проникності слід використовувати резонаторну електронну систему з параметрами: частота генератора – 70 ГГц, відносна нестабільність частоти – 10^{-7} , радіус і товщина резонатора $R=19$ мм; $h=2$ мм; діелектрична проникність $\varepsilon_{\perp}=9,4$; $\varepsilon_{\parallel}=11,54$; і тангенс кута втрат $\operatorname{tg} \delta = 5 \cdot 10^{-5}$, що дає можливість контролювати процеси розвитку рослин в період вегетації.

9. Доведено, що вплив стаціонарного електричного і статичного магнітного полів з раціональними параметрами призводить до збільшення доступної форми мікро-елементів живлення для рослин в ґрунті теплиць: азоту N – на 15 мг/кг ґрунту (9,4...50 %); фосфору P_2O_5 – на 3,2 мг/100 г ґрунту (3...20 %); калію K_2O – на 50 мг/100 г ґрунту (17... 50 %), і підвищує вихід продукції для огірків – до 40,9 кг/м², томатів – до 42,9 кг/м².

10. Встановлено оптимальні параметри статичного магнітного поля величиною $4 \cdot 10^4$ А/м і стаціонарного електричного поля величиною 60 В/м, вплив яких на кореневу систему рослин збільшує врожайність томатів і огірків у тепличних умовах у порівнянні з існуючою, при цьому забезпечуються нормовані значення газообміну рослин як одного із комплексних критеріїв підвищення урожайності овочів.

11. Обґрунтовано, що за рахунок використання електротехнічної і магнітної систем значно підвищуються показники економічної ефективності виробництва продукції, зокрема прибуток від вирощування томатів з розрахунку на 1 м² становить 34,4 грн, огірків – 31,4 грн. Рівень рентабельності виробництва продукції складе відповідно 110,3% і 107,0%, термін окупності додаткових інвестицій – 1,53 року і 1,55 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових наукових виданнях

1. Куценко Ю. Н. Распределение потенциалов в корнеобитаемой среде / Ю. Н. Куценко // Питання електрифікації сільського господарства / ХДТУСГ. – Харків, 1998. – С. 131–136.
2. Куценко Ю. М. Магнітодипольна взаємодія феромагнітних частинок у магнітодіелектрику / Ю. Н. Куценко, В. Г. Каніболоцький // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2003. – №1. – С. 24 – 27.
3. Куценко Ю. М. Дослідження електротехнологічних параметрів намагнічування робочої моделі електродів для боротьби з бур'янистою рослинністю / Ю. М. Куценко, В. Г. Каніболоцький, Н. А. Саріджа // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2003. – Вип. 15. – С. 50 – 54.
4. Куценко Ю. М. Модель взаємодії феромагнітних частинок в магнітному полі / Ю. М. Куценко // Технічна електродинаміка: темат випуск. - К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2004. – Ч. 3. – С. 8 – 11.
5. Куценко Ю. М. Застосування енергії електромагнітного поля для знешкодження бур'янів / Ю. М. Куценко, Н. А. Саріджа // Механізація та електрифікація сільського господарства – 2004. – Вип. 88. – С. 115 – 119.
6. Куценко Ю. М. Залежність магнітострикції від направленості намагнічування гетерогенної системи / Ю. М. Куценко, В. Г. Каніболоцький, Г. П. Селезньов // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: вісник ХДТУСГ. – Харків, 2004. – Вип. 27, т. 2. – С. 25 – 34.
7. Куценко Ю. Н. Явления намагничивания в гетерогенных структурах / Ю. Н. Куценко, В. Г. Каниболоцкий // Праці Луганського відділення міжнародної академії інформатизації. - Луганськ: СНУ, – 2005. – Вип. №1(10). – С. 126 – 130.
8. Куценко Ю. М. Дослідження процесів намагнічування модельованих систем / Ю. М. Куценко // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005. – Вип. 31. – С. 142 – 150.
9. Куценко Ю. М. Дослідження електрофізичних властивостей моделей / Ю. М. Куценко, В. Г. Каніболоцький // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – Одеса, 2005. – Вип. 28. – С. 159 – 164.
10. Куценко Ю. М. Дослідження дії енергії геомагнітного поля на гетерогенні структури / Ю. М. Куценко // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: вісник ХНТУСГ. – Харків, 2005. – Вип. 37, т. 1. – С. 289 – 293.
11. Куценко Ю. М. Деякі особливості при намагнічуванні неоднорідних систем / Ю. М. Куценко // Електротехніка і електроенергетика. – 2005. – № 1. – С. 9 – 12.
12. Куценко Ю. М. Магнітні властивості гетерогенних структур / Ю. М. Куценко, В. Г. Каніболоцький // Проблеми сучасної електротехніки: Технічна електроди-

наміка: темат. випуск. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2006. – Ч 3. – С. 109 – 113.

13. Куценко Ю. М. Пристрій для вимірювання магнітних властивостей гетерогенних структур / Ю. М. Куценко // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 36. – С. 187 – 193.

14. Куценко Ю. М. Визначення опору намагніченості в гетерогенних структурах / Ю. М. Куценко, В. Г. Каніболоцький, Г. П. Селезньов // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 40. – С. 157–162.

15. Куценко Ю. М. Аналіз існуючих методів визначення фосфору і калію у ґрунтах / Ю. М. Куценко, Д. В. Ільїн, Д. М. Коваль // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 42. – С. 20 – 26.

16. Куценко Ю. М. Дослідження електрофізичних властивостей робочих органів експериментальної електротехнологічної установки / Ю. М. Куценко, Г. П. Селезньов // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПУ України: вісник ХНТУСГ. – Харків, 2006. – Вип. 43, т. 2. – С. 218 – 223.

17. Куценко Ю. М. Експериментальні вимірювання повного вектору магнітного поля на ділянці досліджень впливу ЕМ поля на гетерогенні структури / Ю. М. Куценко // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПУ України: вісник ХНТУСГ. – Харків, 2007. – Вип. 57, т. 2. – С. 241 – 246.

18. Куценко Ю. М. Моделювання повного вектору магнітного поля гетерогенної системи / Ю. М. Куценко // Технічна електродинаміка – 2008. – Ч.3. – С. 101 – 105.

19. Куценко Ю. М. Теоретичне обґрунтування взаємодії електромагнітного поля з макроелементами в ґрунті / Ю. М. Куценко, В. Ф. Яковлев, Д. В. Ільїн [та інш.] // Технічна електродинаміка. – К.: Інститут електродинаміки НАН України. – 2008. – Ч.4. – С. 7 – 11.

20. Куценко Ю. М. Обґрунтування параметрів функціональної схеми пристрою для вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин / Ю. М. Куценко // Вісник ДДАУ. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. №1 (2010). – С. 92 – 95.

21. Куценко Ю. М. Аналіз методів і пристроїв для вимірювання функції газообміну біологічних об'єктів / Ю. М. Куценко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т.4. – С. 143 – 147.

22. Куценко Ю. Н. Исследование открытого цилиндрического резонатора для контроля изменения диэлектрических параметров внешней среды / Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко [та інш.] // Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. – Харків, 2010. – Вип. 101. – С. 63 – 66.

23. Куценко Ю. М. Условия определения диэлектрической проницаемости газовой среды растений / Ю. М. Куценко // Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. – Харків, 2010. – Вип. 102. – С. 112 – 116.

24. Куценко Ю. М. Моделювання роботи генератора ЛПД / Ю. М. Куценко // Моделирование технологических процессов в АПК // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, т.8. – С. 239 – 250.

25. Куценко Ю. М. Аналіз якості роботи електронної системи контролю дихання рослин / Ю. М. Куценко // Техніка в сільськогосподарському виробництві,

галузеви машинобудування, автоматизація / КНТУ. – Кіровоград, 2010. – Вип. 23. – С. 194 – 199.

26. Куценко Ю. Н. Моделирование стационарного электрического поля, взаимодействующего с семенами и корневой системой сельскохозяйственных культур в грунте / Ю. Н. Куценко, А. Е. Пиротти, Е. Л. Пиротти // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит: общегосударственный научно-производственный журнал. – 2011. – №5. – С. 66 – 69.

27. Куценко Ю. Н. Расчет экономической эффективности при внедрении электромагнитных технологий в сооружениях защищенного грунта / Ю. Н. Куценко // Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. – Харків, 2012. – Вип. 129. – С. 79 – 81.

28. Воздействие стационарных электрических полей на семена и корневую систему сельскохозяйственных растений / Ю. Н. Куценко, В. Ф. Яковлев, Г. В. Степанчук, Е. П. Ключка // Вісник СНАУ. – 2012. – № 6(24). – С. 112–116.

Монографії

29. Куценко Ю. Н. Магнитострикция гетерогенных структур: монография / Ю. Н. Куценко, В. Г. Каниболоцкий, И. В. Золотаревский. – Днепропетровск: Ліра ЛТД, 2006. – 200 с.

30. Куценко Ю. Н. Прикладные аспекты влияния ЭМП на гетерогенные системы [Электронный ресурс]: монография / Ю. Н. Куценко, В. Г. Каниболоцкий, И. В. Золотаревский. – Heinrich-Bocking-Str., Deutschland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 293 с. Режим доступа: www.lap-publishing.com.

Електронні наукові фахові видання

31. Куценко Ю. М. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах переробки сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс] / Ю. М. Куценко, М. І. Лукашенко // Наукові доповіді НАУ. – К., 2006. – Вип. 1. – С. 1 – 15. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/nd/2006-1/06kumpap.html>.

32. Куценко Ю. М. Магнітогідродинамічне сортування сільськогосподарської продукції з використанням енергії ЕМП [Електронний ресурс] / Ю. М. Куценко, М. І. Лукашенко // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 1, т. 2. – С. 132 – 141. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/nvtdau/index.html>.

Матеріали конференцій

33. Куценко Ю. М. Особливості впливу ЕМП на життєдіяльність гетерогенних структур / Ю. М. Куценко, А. В. Сухорада // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI Міжнародної наукової конференції; 6-8 жовтня 2005р. / КНУ. – К., 2005. – С. 179 – 181.

34. Куценко Ю. М. Дослідження впливу геомагнітного поля на життєдіяльність рослинних об'єктів гетерогенних структур / Ю. М. Куценко, Г. П. Селезньов // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали Всеукраїнської наукової конференції, 21-24 вересня 2006р. / КНУ. – К., 2006. – С. 213 – 214.

35. Куценко Ю. М. Моделювання процесів магнітодипольної взаємодії елементів у гетерогенних структурах / Ю. М. Куценко, А. О. Кашкарьов // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VIII Всеукраїнської наукової конференції, 5-7 жовтня 2007р. / КНУ. – К., 2007. – С. 170 – 172.

36. Куценко Ю. М. Аналіз впливу зовнішніх статичних магнітних полів на рух поживних речовин в кореневій системі рослин / Ю. М. Куценко // Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали X Міжнародної наукової конференції, 17-20 жовтня 2012р. / КНУ. – К., 2012. – С. 94 – 96.

Матеріали конференцій міжнародні

37. Куценко Ю. Н. Определение параметров магнитного и электрического полей для повышения урожайности и качества тепличных культур/ Ю. Н. Куценко, В. Ф. Яковлев // Современные проблемы инновационного развития агроинженерии: материалы международной научно-производственной конференции, 20-21 ноября 2012г., п. Майский / Белгородская ГСХА.- Майский, 2012. – С. 176-179.

Міжнародні публікації

38. Куценко Ю. Н. Вопросы математического моделирования образования и движения макро- и микроэлементов в системе «почва-растение» / Ю. Н. Куценко, В. Ф. Яковлев, Д. В. Ильин [и др.] // Сборник научных трудов десятой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. – СПб: ВИТУ, 2008. – С.704 – 709.

39. Яковлев В. Ф. Исследование воздействия электромагнитного поля на систему «растение–почва» / В. Ф. Яковлев, Ю. Н. Куценко // Известия международной академии аграрного образования. – СПб, 2009. – С. 11 – 16.

40. Исследование биоэлектрических явлений в растительных организмах / С.И. Павленко, Г.П. Селезнёв, Ю.Н. Куценко [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. – Минск: НАН Беларуси «Научно-практический центр», 2010. – Т.1. – С. 62 – 66.

41. Куценко Ю. Н. Анализ методов и устройств для измерения функций газообмена биологических объектов / Ю. Н. Куценко, О. Н. Речина // Вестник Нижегородского инженерно-экономического института. Сер. Технические науки. – Княгинино, 2012. – С. 116 – 122.

42. Куценко Ю. Н. Моделирование электрического поля в грунте, созданного системой заряженных металлических штырей /Ю. Н. Куценко // Вестник аграрной науки Дона. - 2013. – № 1(21). – С.54–62.

АНОТАЦІЯ

Куценко Ю.М. Електротехнічні і магнітні системи активації гетерогенних структур в спорудах захищеного ґрунту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Таврійський державний агротехнологічний університет Міністерства аграрної політики та продовольства України, Мелітополь, 2013 рік.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми підвищення ефективності виробництва овочевих тепличних культур, яка полягає в теоретичному обґрунтуванні створення електротехнічних і магнітних систем в спорудах захищеного ґрунту та їх експериментальних дослідженнях.

На основі виконаних теоретичних досліджень, аналітичних розрахунків та

експериментальних досліджень обґрунтовано використання електротехнічної і магнітної систем з метою стимуляції розвитку насіння рослин та кореневої системи тепличних овочевих культур, що приводить до підвищення їх врожайності. Для активації обмінних процесів в рослинах, на підставі теоретичних досліджень, визначено параметри стаціонарного електричного та статичного магнітного полів.

Підтверджено вплив енергії електричного і магнітного полів на збільшення кількості доступних для живлення рослин мікроелементів у ґрунті (натрій, фосфор, калій). На основі проведених досліджень була розроблена резонаторна електронна система вимірювання діелектричної проникності газового середовища рослин, що дозволила визначити залежності, які пов'язують нормовані значення діелектричної проникності газообміну рослин з параметрами електричного і магнітного полів, що забезпечує ефективний розвиток овочевих культур.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблений електротехнологічний комплекс, який забезпечує безпосередній вплив на розвиток насіння та кореневої системи тепличних культур в ґрунті, що забезпечує стимуляцію біологічних процесів у рослинах та підвищення врожайності тепличних культур.

Проведені експериментальні дослідження та техніко-економічні розрахунки підтвердили економічну ефективність впровадження електротехнічних і магнітних систем для вирощування овочевої продукції та достовірність теоретичних положень.

Ключові слова: електротехнічні і магнітні системи, електротехнологічний комплекс, резонаторна електронна система, діелектрична проникність, газове середовище рослин, тепличні овочеві культури.

АННОТАЦИЯ

Куценко Ю.Н. Электротехнические и магнитные системы активации гетерогенных структур в сооружениях защищенного грунта. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 - электротехнические комплексы и системы. - Таврический государственный агротехнологический университет Министерства аграрной политики и продовольствия Украины, Мелитополь, 2013 год.

Огурцы и томаты – существенная составляющая рациона питания человека. По статистическим данным потребление овощей населением не соответствует рациональным нормам потребления пищевых продуктов. Более половины продукции не удовлетворяет требования государственных стандартов к ее качеству. Производство овощей в теплицах представляет собой достаточно сложный технологический процесс с использованием большого количества микродобавок и химических препаратов. Поэтому производство качественной и экологически чистой продукции с использованием современных электротехнологических комплексов, рациональное и эффективное использование энергии электрического и магнитного полей дает возможность значительно повысить эффективность производства овощей.

Решение данной проблемы лежит в плоскости максимального увеличения урожайности огурцов и томатов, выращенных на существующих площадях за счет интенсификации процессов развития растений.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований обоснованы параметры стационарного электрического и магнитного полей в почве, обеспечивающие стимуляцию развития семян и корневой системы растений овощных культур в теплицах.

Обосновано воздействие энергии магнитного поля заданной напряженности на процессы развития корневой системы растений. Данное воздействие позволяет увеличить продольную скорость питательных веществ корневой системы тепличных культур на 0,02...0,03 мм/с, что приводит к увеличению массы корневой системы, повышению всхожести и урожайности овощных культур.

Теоретически обоснованы механизмы взаимодействия ферромагнитных частиц в гетерогенных структурах, состоящих из немагнитной или слабомагнитной матрицы с дискретно распределенными в ней ферромагнитными частицами, что дало возможность применить электротехнические и магнитные материалы с заданными свойствами.

Подтверждено влияние стационарного электрического и статического магнитного полей на агрохимические показатели почвы, что в совокупности обеспечивает увеличение количества микроэлементов, доступных для питания растений (натрий, фосфор, калий). В результате экспериментальных исследований установлено повышение количества доступной для растений формы: натрия N – на 15 мг/кг почвы; фосфора P_2O_5 – на 3,2 мг/100 г почвы; калия K_2O – на 50 мг/100 г почвы.

На основании теоретического анализа разработана резонаторная электронная система измерения диэлектрической проницаемости газовой среды растений на основе генератора на лавинно-пролетном диоде.

Применение измерительной системы позволило определить оптимальные параметры электрического и магнитного полей, связанные с нормированными значениями диэлектрической проницаемости газовой среды растений, что дает возможность эффективно развиваться растениям и повышать урожайность овощных культур.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана электротехническая установка, в состав которой входят: источник стабилизированного питания, блок электродов, блок постоянных магнитов, устройство для измерения напряженности магнитного поля, установка для измерения диэлектрической проницаемости газовой среды растений. Разработанная установка выгодно отличается от существующих электротехнических установок тем, что требует незначительных технических средств и финансовых ресурсов для изготовления; имеет малые габариты и материалоемкость; режимы обработки, которые обеспечивает установка, потребляют незначительное количество электрической энергии; выращенная продукция с использованием установки продукция является экологически чистой; установка не требует высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Применение электротехнологического комплекса позволяет активизировать процессы развития растений, что дает возможность повысить эффективность производства овощей закрытого грунта. Таким образом, суммарный эффект от обработки выражается в улучшении посевных качеств семян в почве, их всхожести, энергии роста, а обработанные растения томатов и огурцов характеризуются улучшением количественных показателей их урожайности. Сокращение сроков созревания за

счет максимальной мобилизации потенциальной продуктивности растений подтверждает эффективность применения новых электротехнических и магнитных систем активации процессов развития тепличных культур.

Проведенные экспериментальные и производственные исследования, технико-экономические расчеты подтвердили экономическую эффективность внедрения электротехнических и магнитных систем для выращивания продукции овощеводства закрытого грунта и достоверность теоретических положений.

Ключевые слова: электротехнические и магнитные системы, электротехнологический комплекс, резонаторная электронная система, диэлектрическая проницаемость, газовая среда растений, тепличные овощные культуры.

ABSTRACT

Kutsenko Yu.M. Electrotechnical and magnetic systems of heterogeneous structures activation in the protected ground constructions. – Manuscript.

The dissertation for scientific degree of Doctor of Technical Sciences in speciality 05.09.03. – Electrotechnical complexes and systems. – Tavria State Agrotechnological University of Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Melitopol, 2013.

The dissertation is devoted to the solution of scientific and applied problem of improving of vegetables production efficiency. It includes theoretical substantiation and experimental research of electrotechnical and magnetic systems making in the protected ground constructions.

The electrotechnical and magnetic system application has been justified on the basis of performed theoretical investigation, analytical calculations and experimental research. The purpose is to stimulate the development of seeds and roots of greenhouse vegetables that results to their yield increase. Under the theoretical researches the parameters of stationary electric and static magnetic fields have been determined for the metabolic processes activation.

It was conformed that the energy of electrical and magnetic fields impacts on the increase of the number of microelements in the soil (sodium, phosphorus, potassium) available for plants nutrition. Carried out researches allowed to design the resonator electronic system for measuring of dielectric permittivity of the plants' gas medium, which enabled to determine the dependences linking the normalized values of dielectric permittivity of gas exchange with the parameters of electric and magnetic fields, this provides efficient development of vegetables.

Electrotechnic complex has been designed on the ground of theoretical and experimental researches. It provides direct impact on the development of seeds and roots of greenhouse crops in the soil ensuring stimulation of biologic processes in plants and yield increase.

Experimental researches and feasibility study have proved economic efficiency of application of electrotechnic and magnetic systems for vegetables growing and reliability of theoretical propositions.

Key words: electrotechnic and magnetic systems, electrotechnic complex, resonator electronic system, dielectric permittivity, plants' gas medium, greenhouse vegetable crops.

Підписано до друку «4» «листопада» 2013 р. зам. №330
Формат 60/90/16. Друк офсетний. Обсяг 2,2 ум. друк. арк. Тираж 100 прим.

Надруковано в типографії Таврійського державного
агротехнологічного університету
Адреса: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, просп. Б.Хмельницького, 18