

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка

Бородай Ірина Іванівна

УДК 631.371

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД ТА СИСТЕМА
КОНТРОЛЮ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПЛОДІВ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор Кунденко Микола Петрович, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри інтегрованих електротехнологій та процесів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Піротті Євген Леонідович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерної математики та аналіз даних;

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

Захист відбудеться «__» _____ 2018 р. о ____ годині на засідання спеціалізованої вченої ради Д64.832.01 у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

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

Автореферат розісланий «__» _____ 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

О.Д.Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. В повноцінному харчовому раціоні людини фрукти відносяться до продуктів, які повинні споживатися впродовж усього року. У зв'язку з цим виникає проблема у збереженні плодів впродовж 6-7 місяців. При існуючих способах збереження: звичайна, регульована, модифікована атмосфери не забезпечують захист плодів яблуні від фізіологічних та грибкових захворювань, не гарантують їх збереження у початковій якості на стадії зберігання та реалізації. Основною причиною розвитку захворювань і зниження якості плодів є надмірне накопичення етилену всередині плодів і навколишньому середовищу. Ефективна, недорога і доступна технологія зберігання плодів може бути здійснена за допомогою використання інформаційного електромагнітного випромінювання для пригнічення синтезу етилену.

Актуальність теми. З аналізу літературних джерел виходить, що значна частка втрат плодів (до 40%) в період зберігання припадає на поразку їх фізіологічними розладами і хворобами з усієї кількості отриманої продукції. Вимогам вищого і першого сортів задовольняють не більше 60% плодів. Рішення даного завдання, пов'язаного з тривалим збереженням якості плодів, є інгібування синтезу етилену за допомогою хімічних засобів (препарат «Фітомаг» і ін.), які гальмують процеси старіння. Основний недолік від застосування хімічних засобів полягає в тому, що вони накопичуються в плодах. Сучасна технологія зберігання плодів в газовому середовищі є не завжди ефективною і дорогою, що викликає необхідність в розробці нових, більш доступних і менш витратних технологій зберігання. Ефективна, недорога і доступна технологія зберігання плодів може бути здійснена за допомогою використання інформаційного електромагнітного випромінювання для знищення фізіологічних і грибкових хвороб і пригнічення синтезу етилену.

Аналіз взаємодії інформаційного ЕМП на клітинному рівні показує, що електромагнітне інформаційне випромінювання слід сприймати як найтонший інструмент майже безмежного впливу на біологічні процеси в живому організмі. Однак, бажані зміни властивостей біологічних об'єктів можуть бути отримані тільки при оптимальному поєднанні біотропного параметру впливу ЕМП (частота випромінювання, щільність потоку потужності, експозиція та ін.) У той же час, проведений аналіз великої кількості робіт вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що в них відсутня методологія визначення чисельних значень біотропних параметрів ЕМП для пригнічення синтезу етилену, недостатньо проведені дослідження по створенню електронних систем виміру концентрації етилену, вуглекислого газу і кисню для тривалого зберігання плодів яблунь. Таким чином, дослідження і розробка інформаційних електромагнітних методів і електронних систем контролю газового середовища для тривалого зберігання плодів є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана з загальними Українськими науковими програмами: постановою Кабінету Міністрів України від 23.08.2016 р. № 556 «Перелік пріоритетних напрямів наукових досліджень и науково-технічних розробок на період до 2020 року»; постановою Кабінету Міністрів України від 08.09.2015р. № 684 «Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року». За планами НДР ХНТУСГ були виконані наступні роботи: номер ДР0110U002505 «Електромагнітні технології и технічні системи підвищення продуктивності біологічних об'єктів рослинництва»; номер ДР0109U003721 «Результати експериментальних досліджень впливу ЕМП НВЧ діапазону на біологічні об'єкти».

Ціль та задачі дослідження. Ціллю дисертаційної роботи є розробка інформаційного електромагнітного методу та

електронних систем контролю газового середовища для тривалого зберігання плодів яблунь.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати біофізичну дію інформаційних випромінювань НВЧ діапазону для пригнічення синтезу етилену при їх тривалому зберіганні.

- обґрунтувати модель взаємодії інформаційного ЕМП НВЧ діапазону з плодами яблунь для пригнічення синтезу етилену;

- на основі теоретичного аналізу даної моделі визначити діапазон змін біотропних параметрів інформаційного ЕМП (частота випромінювання, щільність потоку потужності, експозиція та ін.) для пригнічення синтезу етилену;

- теоретично обґрунтувати принципи побудови автоматизованої системи для вимірювання діелектричної проникності газового середовища при тривалому зберіганні плодів;

- провести теоретичні дослідження резонансної системи для вимірювання діелектричної проникності газового середовища, що складається з вуглекислого газу, кисню і етилену;

- розробити установку для обробки яблук в контейнері електромагнітним випромінюванням з параметрами для блокування дихання яблук в процесі їх тривалого зберігання;

- провести виробничі дослідження збереження плодів яблунь оброблених перед закладкою на зберігання ЕМВ НВЧ діапазону.

Об'єкт дослідження. Процес впливу інформаційних електромагнітних випромінювань на інгібування синтезу етилену плодами яблунь в процесі їх тривалого зберігання.

Предмет дослідження. Інформаційний електромагнітний метод і електронна система контролю діелектричної проникності газового середовища для тривалого зберігання плодів яблунь.

Методи дослідження ґрунтуються на способах вирішення диференціальних, інтегральних і алгебраїчних рівнянь різного типу; теоретичних положеннях електродинаміки, біофізики; основи електроніки і схемотехніки.

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

- на основі розробленої моделі вперше досліджено процес взаємодії інформаційних ЕМП КВЧ діапазону з плодами яблунь;

- вперше, на основі теоретичних досліджень, визначені біотропні параметри інформаційного електромагнітного випромінювання для пригнічення синтезу етилену;

- вперше, на основі теоретичних досліджень для виміру діелектричної проникності газового середовища при зберіганні плодів яблунь, були визначені основні параметри диференційної резонансної системи;

- вперше обґрунтована відкрита напівсферична резонансна система для виміру діелектричної проникності газового середовища з яблуками;

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, розроблено інформаційний електромагнітний метод і електронна система контролю діелектричних параметрів газового середовища для тривалого зберігання плодів яблунь. Застосування даної технології дозволяє: зберегти врожай плодів яблунь до 100%; повністю зберегти якість і товарний вигляд плодів, знизити витрати на зберігання до 60% в порівнянні з існуючою технологією зберігання плодів, збільшити тривалість зберігання до 6-7 місяців в умовах зовнішнього середовища. Результати досліджень апробовані в 2017...2018 роках. Прибуток від застосування інформаційного електромагнітного методу складе 12000грн. на тонну.

Особистий внесок здобувача в наукових роботах, написаних у співавторстві, полягає в наступному:

- в роботі [2] проаналізувала методи і пристрої контролю дихання плодів в процесі їх тривалого зберігання.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися на: міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (Україна), (Київ, НУБіП 2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2016 р.); міжнародній науковій конференції (Росія), (Белгород, БГСХА, 2016 р.); науково-практичній студентській конференції (Харків, ХНТУСГ 2017 р.); науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів і вчених (м Кам'янець-Подільський, ПДАТУ 2017 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2017 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 6 статтях науково-технічних збірників, 1 статті в науково-технічному журналі і тезах на міжнародних науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Вона містить 156 сторінок, 44 рисунки, 5 таблиць, 2 додатка на 3 сторінках, список використаних джерел нараховує 121 найменування на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, формулюється наукове завдання, що розв'язується, розкривається сутність і стан цього завдання, висвітлюється зв'язок роботи з програмами, планами та темами НДР, формулюються напрямки та наукові задачі дослідження, розв'язання яких забезпечує значущість одержаних результатів,

визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуті особливості хвороб фруктів і овочів при їх тривалому зберіганні. Одна з основних причин зниження якості та розвитку багатьох захворювань плодів і овочів при зберіганні - надмірне накопичення етилену. Етилен синтезується плодами, активізує їх дозрівання. Накопичення етилену в камерах з регульованою атмосферою впливає на окремі процеси обміну речовин, підвищуючи активність деяких ферментів вуглеводного, жирового і білкового обмінів, збільшує інтенсивність дихання, викликає розвиток різного роду хвороб фруктів. Значна частка втрат плодів (до 40%) в період зберігання припадає на поразку їх фізіологічними розладами та хворобами. З аналізу літературних джерел виходить, що з усієї кількості отриманої продукції вимогам вищого і першого сортів задовольняють не більше 60% плодів. Тривале зберігання плодоовочевої продукції можливе в результаті ефективного інгібування синтезу етилену і його біологічної дії. Рішення даного завдання, пов'язаного з тривалим збереженням якості плодів, є інгібування синтезу етилену за допомогою хімічних засобів (препарат «Фітомаг» і ін.), які гальмують процеси старіння. Основний недолік від застосування хімічних засобів полягає в тому, що вони накопичуються в плодах і не завжди ефективні. Аналіз експериментальних і теоретичних досліджень, щодо впливу електромагнітних полів на фізико-хімічні процеси в біологічних об'єктах, що проводяться: в Харківському НТУСГ ім. П. Василенка під керівництвом О. Черенкова, Ю. Мегеля, М. Лисиченко, Н. Косуліної; в ІРЕ РАН під керівництвом Н. Д. Девяткова; у Новосибірську під керівництвом А. П. Казначеева; в ТулГУ під керівництвом Нефедова Е. І. показують, що для знищення фізіологічних і грибкових хвороб і пригнічення синтезу етилену слід очікувати від інформаційних ЕМП міліметрового діапазону. Рішення даної задачі можливе тільки при оптимальному поєднанні

біотропних параметрів впливаючого ЕМП (частота випромінювання, потужність, експозиція і ін.). З літературних джерел виходить, що з використанням методу вимірювання функції дихання біологічних об'єктів за величиною ДП газу відпадає необхідність у визначенні кількостей O_2 , CO_2 і етилену, так як будь-які кількісні зміни CO_2 і O_2 та етилену будуть пропорційні зміні ДП повітряного середовища, що оточує об'єкт. В той же час, проведений аналіз великого числа робіт вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що в них відсутня методологія визначення чисельних значень біотропних параметрів ЕМП для пригнічення синтезу етилену (блокування дихання), недостатньо проведені дослідження по створенню електронних систем виміру концентрації етилену, вуглекислого газу і кисню для тривалого зберігання плодів яблунь.

У другому розділі проведені теоретичні дослідження по визначенню біотропних параметрів інформаційного ЕМП КВЧ діапазону довжин хвиль для блокування дихання (виділення етилену) яблук в процесі їх тривалого зберігання в умовах зовнішнього середовища.

З аналізу літературних джерел виходить, що інтенсивність дихання і, отже, тривалість збереження фруктів залежить від того, наскільки активно відбувається перенесення іонів і протонів через мембрану мітохондрій. Можливість регуляції цього перенесення, а саме його гальмування, має привести до збільшення термінів зберігання фруктів без істотної втрати їх властивостей.

Для отримання вихідних виразів, що дозволяють вирішити поставлене завдання, будемо припускати, що клітина, яка має сферичну форму, характеризується діелектричною та магнітною проникністю ε і μ , які при наявності неоднорідності, можуть бути функціями радіуса сфери. Далі будемо вважати, що в загальному випадку для падаючих електромагнітних полів застосовані позначення мають наступний зміст:

$\vec{E}_0(t)$, $\vec{H}_0(t)$ – їх амплітуди; $\omega(t)$ – їх частоти;
 \vec{k} – хвильовий вектор; \vec{r} - радіус-вектор даної точки.

Нехай центр сфери збігається з центром декартової системи координат. Плоска хвиля поширюється в додатному напрямку осі OZ , та її електричний вектор спрямований паралельно осі OY (рис.1).

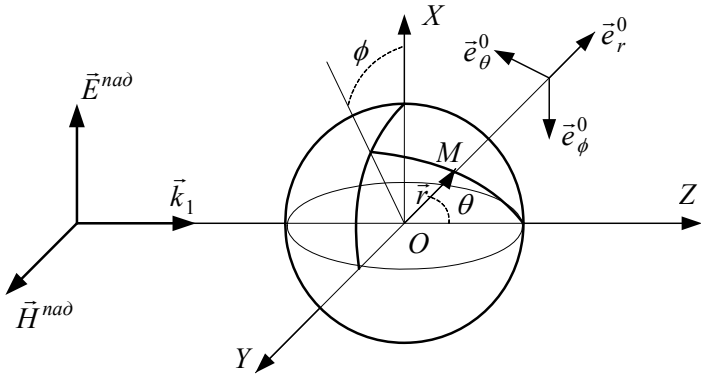


Рис.1 - Розсіювання плоскої хвилі на сфері

Розкладаючи падаюче поле по векторним сферичним хвильовим функціям, були отримані вирази для внутрішнього електричного поля клітини в сферичній системі координат:

$$E_r = 3 \sqrt{\frac{\pi}{2}} E_0 b_1 \frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{(kr)^{\frac{3}{2}}} \sin \theta \cos \phi, \quad (1)$$

$$E_{\phi} = -j \frac{3}{2} E_0 \sqrt{\frac{\pi}{2kr}} \left(a_1 J_{\frac{3}{2}}(kr) \cos \theta \sin \phi - \right. \\ \left. - j \frac{b_1}{2} \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{kr} + \left(J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{5}{2}}(kr) \right) \right] \sin \phi \right), \quad (2)$$

$$E_{\theta} = j \frac{3}{2} E_0 \sqrt{\frac{\pi}{kr}} \left(a_1 J_{\frac{3}{2}}(kr) \cos \phi - \right. \\ \left. - j \frac{b_1}{2} \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(kr)}{kr} + \left(J_{\frac{1}{2}}(kr) - J_{\frac{5}{2}}(kr) \right) \right] \cos \theta \cos \phi \right), \quad (3)$$

$$\text{де } a_1 = \sqrt{\frac{k_1}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 a) + a_1^{p03c} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a)}{J_{\frac{3}{2}}(ka)}, \quad (4)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{k_1}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 a) + b_1^{p03c} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a)}{J_{\frac{3}{2}}(ka)} \quad (5)$$

$$a_1^{p03c} = \left\{ -\sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(ka) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 a)}{2\sqrt{k_1 a}} + \sqrt{k_1 a} \frac{J_1(k_1 a) - J_5(k_1 a)}{2} \right] + \right. \\ \left. + J_{\frac{3}{2}}(k_1 a) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(ka)}{2\sqrt{ka}} + \sqrt{ka} \frac{J_1(ka) - J_5(ka)}{2} \right] \right\} \left\{ \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(ka) \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a)}{2\sqrt{k_1 a}} + \sqrt{k_1 a} \frac{H_1^{(2)}(k_1 a) - H_3^{(2)}(k_1 a)}{2} \right] - \right.$$

$$-H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(ka)}{2\sqrt{ka}} + \sqrt{ka} \frac{J_{\frac{1}{2}}(ka) - J_{\frac{5}{2}}(ka)}{2} \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$b_1^{pозч} = \left\{ -J_{\frac{3}{2}}(k_1 a) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(ka)}{2\sqrt{ka}} + \sqrt{ka} \frac{J_{\frac{1}{2}}(ka) - J_{\frac{5}{2}}(ka)}{2} \right] + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(ka) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(k_1 a) - J_{\frac{5}{2}}(k_1 a)}{2} \right] \right\} \left\{ H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a) \left[\frac{J_{\frac{3}{2}}(ka)}{2\sqrt{ka}} + \sqrt{ka} \frac{J_{\frac{1}{2}}(ka) - J_{\frac{5}{2}}(ka)}{2} \right] - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \sqrt{\frac{k_1}{k}} J_{\frac{3}{2}}(ka) \left[\frac{H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_1 a)}{2\sqrt{k_1 a}} + \frac{H_1^{(2)}(k_1 a) - H_5^{(2)}(k_1 a)}{2} \right] \right\}^{-1}, \quad (7)$$

де:

$k_1 = \omega \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1}$; $k = \omega \sqrt{\varepsilon \mu}$; $J_{n+\frac{1}{2}}(k_1 r)$ – функції Бесселя першого роду напівцілого порядку;

$H_{n+\frac{1}{2}}^{(2)}(k_1 r)$ – функція Ханкеля другого роду напівцілого порядку.

З огляду на вирази (1) - (3) отримуємо амплітуду електричного поля, що впливає на швидкість і інтенсивність руху іонів через мембрану мітохондрій:

$$|\vec{E}| = \sqrt{|E_r|^2 + |E_\phi|^2 + |E_\theta|^2}. \quad (8)$$

Розглядаючи транспорт іонів як серію перескоків через енергетичні бар'єри в каналі мембрани було отримано вираз для сумарної інтенсивності потоків іонів через мембрану

$$J = \frac{z F \varphi P c_0 - c_i e^{\frac{z F}{R T} (E_m + |\bar{E}(r_0)|) h}}{R T \left(1 - e^{\frac{z F}{R T} (E_m + |\bar{E}(r_0)|) h} \right)} \quad (9)$$

де P - проникність мембрани; u - рухливість іонів; z - валентність іона; T - абсолютна температура; R - газова постійна; F - число Фарадея; c - концентрація іонів; φ - електричний потенціал на мембрані; c_i - концентрація іонів в навколишньому розчині; c_0 - концентрація іонів всередині мембрани; J - інтенсивність потоку іонів всередину і назовні мембрани; $E_m = \frac{\varphi}{h}$ - напруженість електричного поля, створюваного на мембрані внутрішньоклітинними процесами; h - мембрани.

Аналіз отриманих виразів показав, що надвисокочастотне електромагнітне поле підвищує концентрацію струмоперенесених іонів в мембрані, призводить відповідно до підвищення їх взаємодії та можливого замикання каналу, з ймовірністю 0,75. В результаті розрахунків було встановлено, що максимальне блокування руху іонів через канали в мембрані клітини можливе електромагнітним випромінюванням з частотою 33,5...36 ГГц, експозицією 20 с, потужністю 1,2 Вт, а штучно створений потенціал на мембрані не повинен бути більшим за 120 мВ.

У третьому розділі розглянуті принципи побудови систем для вимірювання діелектричної проникності газового середовища з етиленом і проведені оптимізаційні дослідження характеристик по точності і чутливості вимірювань.

Для вимірювання ДП газового середовища (кількості етилену) при зберіганні плодоовочевої продукції, використано

диференційний метод на порівнянні частот двох резонаторних систем, виміральної та еталонної. Застосування резонаторного методу для вимірювання змін ДП газового середовища передбачає використання резонаторного пристрою в якості частотного дискримінатора, який визначає принцип побудови системи перетворення частоти. Аналіз роботи частотних дискримінаторів показує, що на практиці широке застосування при частотній модуляції джерела збудження знаходять відкриті резонатори, підключені по прохідній схемі з параметрами: апертура дзеркал 38мм; радіус кривизни сферичного дзеркала 38мм; резонансна частота 75ГГц; смуга пропускання резонатора 15МГц. У розглянутих системах частоти кварцових генераторів за допомогою помножувачів перетворюються до частот резонаторів, еталонного і вимірального. Різниця частот кварцових генераторів, яка забезпечується системою ЧАП, дає інформацію про дихання плодів. Для визначення навантаженої добротності резонатора, відстані між дзеркалами, величини потужності, що підводиться до резонатора і параметрів елемента зв'язку резонатора з хвилеводним трактом, був проведений аналіз втрат потужності в резонаторі частотного дискримінатора. Аналіз втрат потужності в відкритих резонаторах дозволив визначити: навантажену добротність $Q_n = 4870$; потужність на вході частотного дискримінатора не менше 23-25мВт; для порушення коливань використовувати апертурний пристрій з розмірами 13,2х 9,1мм².

Для аналізу структурно-динамічних систем ЧАП використовуємо імітаційну модель на основі математичного опису дослідної системи ЧАП (рис.2).

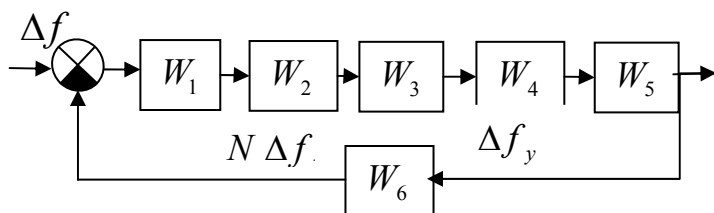


Рис.2. - Структурно-динамічна схема лінійної системи ЧАП

На рис.2 резонатор представлений суматором, на вхід якого надходять сигнали $N\Delta f_y$ та Δf . Сигнал Δf визначає зміни резонансної частоти резонатора при змінах дійсної складової ДП газового середовища, а $N\Delta f_y$ - зміна частоти кварцового генератора з виходу помножувача частоти (ПЧ). Решта ланцюга регулювання представлена рядом

аперіодичних і безінерційних ланок: $W_1(P) = \frac{k_{ВП}}{1 + T_{ВП}P}$ -

передаточна функція дискримінатора; $k_{ВП}$ - крутизна характеристики вимірювального перетворювача (ВП); $T_{ВП}$ -

постійна часу ВП; $W_2(P) = \frac{k_{П}}{1 + T_{П}P}$ - передаточна функція

вибірною підсилювача; $W_3(P) = \frac{k_{Фд}}{1 + T_{Фд}P}$ - передаточна функція

фазового детектора; $W_4(P) = k_{пнс}$ - передаточна функція підсилювача постійного струму; $W_5(P) = k_{yя}$ - передаточна функція кварцового генератора;

$W_6(P) = N_{пч}$ - функція помножувача частоти.

Аналіз перехідних процесів розглянутої системи показав, що система з параметрами: $k_{ВП} = 10^{-7}$ В/Гц; $k_{П} = 10^4$; $k_{Фд} = 1$; $k_{пнс} = 10^2$; $k_{yя} = 2 \cdot 10^3$ В/Гц; $N_{пч} = 750$; $T_{ВП} = 10^{-7}$ с; $T_{П} = 10^{-6}$ с; $T_{Фд} = 0,1$ с забезпечує мінімальний час встановлення

$t_n = 0,810^{-5}$ с, а величина переналаштування не перевищує 10%. Виходячи зі зворотнього коефіцієнта множення частоти (УЧ) $N_{уч} = 750$, обираємо частоту кварцового генератора 100 МГц з відносною нестабільністю 10^{-7} - 10^{-6} .

Метою оптимізації параметрів досліджень системи перетворення частоти був вибір таких параметрів системи ЧАП, при яких мінімізувалася б результуюча похибка стеження частоти кварцового генератора за зміною частоти резонатора. Як видно із структурно-динамічної схеми (рис.2) дисперсія похибки, що діє на вході підсилювача, визначатиметься виразом:

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{(T_{ип} j\Omega + 1)k_y k_{фд} k_{уп} k_{уз}}{(T_{ип} j\Omega + 1)(T_y j\Omega + 1)(T_{фд} j\Omega + 1) + k_0} \right|^2 S_{\xi}(0) d\Omega, \quad (10)$$

де $S_{\xi}(0) = 4 k T R_{\gamma}$, k – постійна Больцмана;

T – температура в градусах Кельвіна; R_{γ} – еквівалентний шумовий опір; $k_0 = k_{вп} k_{п} k_{фд} k_{ппс} k_{уз} N_{пч}$.

Використовуючи перетворення Парсеваля було встановлено, що дисперсія помилки становить $0,0002 \text{ рад}^2$, що менше допустимого значення дисперсії майже в 100 разів. Для створення помножувачів частоти з коефіцієнтом множення 750, були розглянуті методи формування помножувачів. В результаті проведених досліджень було встановлено, що помножувальна-підсилювальна схема повинна складатися з транзисторної частини до 3ГГц і діодного помножувача з коефіцієнтом множення 25.

У четвертому розділі наведені експериментальні результати перебудованого кварцового генератора, помножувачів і підсилювачів на транзисторах, діодного помножувача частоти. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень було створено пристрій для вимірювання ДП газового середовища з етиленом з

наступними параметрами: частота кварцового генератора 100МГц; відносне значення середньої нестабільності частоти кварцового генератора в нормальних умовах при сталій температурі не перевищує 10^{-7} за 10^3 с; верхня межа перебудови частоти вимірювального кварцового генератора не менше 200кГц; номінальна частота резонаторів 75ГГц; добротність резонаторів не менше 4870; чутливість вимірів 10^{-6} по $\Delta\varepsilon'$; коефіцієнт множення частоти 750.

Для частотних дискримінаторів був використаний відкритий резонатор (ОР) з параметрами: апертура дзеркал 38мм; радіус кривизни сферичного дзеркала 38мм; відстань між дзеркалами $L/R = 0,768$. Збудження резонатора здійснюється рупорною антеною з розмірами $13,2 \times 9,1$ мм², яка розташована в центрі плаского дзеркала. Для зменшення коефіцієнта відбиття в розкритті рупорної антени розташовані E -поляризовані дротові ґрати з періодом, намотані вольфрамовим дротом діаметром 0,02мм. В результаті досліджень було встановлено, що для блокування дихання плодів яблук (виділення етилену) їх необхідно обробляти електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 35 ГГц; потужність випромінювання $P_0 = 1,2$ Вт; експозиція $t = 20$ с.

Для виробничих досліджень з обробки ЕМ випромінюванням яблук сорту «Голден» була розроблена пересувна установка в яку входять: генератор дифракційного випромінювання, що працює в діапазоні частот 33-37ГГц; дві антени з розміром 397×600 мм в розкритті яких вставлені E -поляризовані дифракційні ґрати з періодом 2,5 мм; контейнер для обробки яблук ЕМВ.

Для тривалого зберігання в 2017-2018 рр. були обрані яблука сорту «Голден» в господарстві Харківської області. При проведенні виробничого експерименту яблука на початку оброблялися електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 75,8ГГц; потужність 650мВт; експозиція 60с. Потім ці ж яблука оброблялись електромагнітним

випромінюванням з параметрами: частота 35ГГц; потужність 1,2Вт; експозиція 20с. Застосування комбінованого випромінювання дозволило повністю знищити мікроорганізми на поверхні яблук і блокувати їх дихання перед закладкою на зберігання.

Контроль за диханням яблук в процесі їх зберігання здійснювався на розробленій установці для вимірювання етилену. Температура навколишнього середовища при зберіганні яблук не перевищувала 18-20⁰С.

Проведений дослід показує, що комбінований вплив ЕМ випромінювання на яблука забезпечує їх збереження протягом 6 місяців в умовах зовнішнього середовища, температура 20⁰С при тиску $1,01 \times 10^5$ н/м². В процесі зберігання яблук було встановлено, що діелектрична проникненість повітряної суміші, при диханні яблук за час їх зберігання (6 місяців), змінюється майже в 10 разів від 0,02% до 0,2%. Вихід стандартної продукції склав майже 100%. На підставі досліді можна зробити певний висновок: обробка яблук перед закладанням на зберігання електромагнітним випромінюванням не змінює якості плодів і не впливає на їх хімічний склад.

Економічна ефективність від застосування електромагнітної технології для тривалого зберігання яблук склала приблизно 12000 грн на 1т.продукції.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі для тривалого зберігання яблук в умовах зовнішнього середовища, на основі теоретичних і експериментальних досліджень, створено інформаційний електромагнітний метод для блокування дихання яблук і диференційна резонаторна установка для контролю діелектричної проникності повітряної суміші з етиленом, що виділяється яблуками.

1. На підставі узагальнення фактичного матеріалу вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій виходить, що для тривалого зберігання яблук в умовах зовнішнього середовища необхідно використовувати інформаційні електромагнітні випромінювання для блокування дихання плодів і знищення мікроорганізмів на їх поверхні.

2. Для блокування дихання яблук (виділення етилену) при зберіганні, їх необхідно обробляти електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 33,5-36ГГц; потужність випромінювання $P_0 = 1,2\text{Вт}$; експозиція $t = 20\text{с}$.

3. Для контролю дихання яблук (виділення етилену) необхідно використовувати установку з диференційним резонаторним методом вимірювання діелектричної проникності повітряної суміші.

4. Вимірювання мінімальної кількості етилену $\Delta\varepsilon'_{\min} = 0,02\%$ і максимальної $\Delta\varepsilon'_{\max} = 0,2\%$ можливо із застосуванням коефіцієнта множення частоти $N_{\text{уч}} = 750$, частотою кварцового генератора 100мГц та його відносною нестабільністю частоти $10^{-6} \dots 10^{-7}$.

5. Для зменшення коефіцієнта відображення на вході резонатора на плоску поверхню дзеркала слід поміщати дрові E -поляризовані ґрати з періодом 2мм, намотані вольфрамовим проводом діаметром 0,02 мм.

6. Для збудження коливань в ОР, в режимі максимальної величини навантаженої добротності $Q_n = 5000$, необхідно використовувати апертурний пристрій з розмірами $13,2 \times 9,1 \text{мм}^2$.

7. Для нормальної роботи вибіркового підсилювача з коефіцієнтом підсилення 10^4 та фазового детектора з напругою 1,4 В на його вході, потужність на вході частотного дискримінатора повинна бути не менше 23-25мВт.

8. Для виконання заданих вимог до системи перетворення частоти, рекомендовані наступні параметри: $k_1 = 10^{-7} \text{В/Гц}$; $k_2 = 10^4$; $k_3 = 1$; $k_4 = 10^2$; $k_5 = 2 \cdot 10^3 \text{Гц/В}$; $k_6 = 750$; $T_1 = 10^{-7} \text{с}$; $T_2 = 10^{-6} \text{с}$; $T_3 = 0,1 \text{с}$, для яких час встановлення

перехідного процесу $t_y = 1 \cdot 10^{-5}$ с, величина переналаштування 18%, а дисперсія похибки не перевищує величини $2 \cdot 10^{-4}$.

9. Для блокування дихання яблук електромагнітним випромінюванням необхідно використовувати установку в яку входять: генератор дифракційного випромінювання, що працює в діапазоні частот 33-37 ГГц; дві антени з розміром 397x600 мм, в розкрив яких вставлені *E*-поляризовані дифракційні ґрати з періодом 2,5 мм.

10. Економічна ефективність від застосування електромагнітної технології для тривалого зберігання яблук складала приблизно 12000 грн на 1т.продукції.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1]. Бородай И. И. «Биохимические и биофизические основы хранения плодов» / И. И. Бородай // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. - Вип. 176. - Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 84–87.

[2]. Бородай И. И, Кунденко Н. П. «Анализ методов и устройств контроля дыхания плодов при воздействии на них электромагнитного излучения» / И. И. Бородай, Н П. Кунденко // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»* - Вип. 175. - Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 166–169.

[3]. Бородай И. И. «Влияние внешнего электромагнитного поля на обменные процессы в плодах фруктов» / И. И. Бородай // *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХП" : зб. наук. пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. – Харків: НТУ "ХП"-2017. – № 16 (1238). – С. 131-136.

[4]. Бородай И. И. «Моделирование процесса переноса ионов через мембраны клеток под воздействием внешнего электромагнитного поля» / И. И. Бородай // *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Сер.: Системний аналіз, керування та інформаційні технології*. – Харків: НТУ "ХПІ" - 2016. – № 45 (1217). – С. 18-21.

[5]. Бородай И. И. «Исследование технических параметров системы для обработки яблок электромагнитным излучением» /И. И. Бородай // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. - Вип. 186. - Харків: ХНТУСГ, 2017. – С. 139–142.

[6]. Бородай И. И. «Принципы построения дифференциальных резонаторных систем для измерения диэлектрической проницаемости газовой среды с этиленом» /И. И. Бородай // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»* - Вип. 187. - Харків: ХНТУСГ, 2017. – С. 97–100.

[7]. Бородай И. И. «Экспериментальные исследования с яблоками, обработанных перед хранением электромагнитным излучением» /И. И. Бородай // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, № 1(6)*. – С.70 – 73, 2018.

Опубліковані праці апробаційного характеру

1. Бородай И.И. «Обоснование требований к электронным системам для измерения количества этилена в фруктохранилищах»: тези за матеріалами III Всеукраїнської науково-технічної конференції [«Актуальні проблеми автоматики та приладобудування»] (Харків, 08-09 грудня 2016

р.) / И. И. Бородай. // М-во освіти і науки України, Національний технічний університет «ХПІ» – Харків: НТУХПІ, 2016. – С.76-77.

2. Бородай И. И. «Застосування електромагнітного випромінювання для інгібування синтезу етилену який виділяється фруктами при зберіганні»: тези за матеріалами ІV міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених [«Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК»] (Київ, 21-22 грудня 2016 р.) /Бородай И. И. // М-во освіти і науки України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБП, 2016.– С.54.

3. Бородай И. И. «Застосування електромагнітного випромінювання для тривалого зберігання фруктів»: тези за матеріалами науково-практичної студентської конференції [«Проблеми енергозабезпечення енергозбереження в АПК України»] (Харків, 6-7 квітня 2017р.) / Бородай И. И. // М-во освіти і науки України, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2017. - С.49.

АНОТАЦІЯ

Бородай І.І. Електромагнітний метод та система контролю газового середовища для підвищення збереження плодів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи. - Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. - Харків, 2018.

При існуючих способах зберігання яблук: звичайна, регульована, модифікована атмосфери не забезпечують захист плодів яблунь від різних хвороб. З аналізу літературних

джерел виходить, що значна частка втрат плодів (до 40%) в період зберігання походить від фізіологічних і грибкових хвороб. Основною причиною розвитку захворювань і зниження якості плодів є (дихання плодів) надмірне накопичення етилену всередині плодів і навколишньому середовищі. У дисертаційній роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень створено інформаційну електромагнітну технологію і електронну систему контролю газового середовища для тривалого зберігання яблук. В результаті теоретичних досліджень було встановлено, що для блокування дихання яблука необхідно обробляти електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 33,5-36ГГц; потужність випромінювання $P_0 = 1,2 \text{ Вт}$; експозиція $t = 20 \text{ с}$. Для блокування дихання яблук електромагнітним випромінюванням була розроблена установка в яку входять: генератор дифракційного випромінювання, що працює в діапазоні частот 33-37ГГц; дві антени з розміром 397x600мм, в розкрив яких вставлені E -поляризовані дифракційні ґрати з періодом 2,5 мм. Для контролю дихання яблук, в процесі їх тривалого зберігання, була розроблена резонаторна диференційна система з наступними технічними даними: номінальна частота кварцового генератора 100 МГц; відносне значення середньої нестабільності частоти кварцового генератора в нормальних умовах при встановленій температурі не більше 10^{-7} за 10^{-3} с; верхня межа переналаштування частоти вимірювального кварцового генератора не менше 200 кГц; номінальна частота резонаторів 75ГГц; добротність резонаторів не менше 4870; чутливість вимірювань 10^{-6} по $\Delta \varepsilon'$. Для частотних дискримінаторів був використаний відкритий резонатор (ВР) з параметрами: апертура дзеркал 38мм; радіус кривизни сферичного дзеркала 38 мм; відстань між дзеркалом $L/R = 0,768$. Виробничий досвід показує, що вплив ЕМ випромінюванням на яблука забезпечує їх збереження протягом 6 місяців в умовах зовнішнього середовища, температура 20°C при тиску $1,01 \times 10^5 \text{ н/м}^2$.

Біохімічний аналіз показав, що обробка яблук перед закладанням на зберігання електромагнітним випромінюванням з встановленими параметрами не змінює якості плодів і не впливає на їх хімічний склад. Економічна ефективність від застосування електромагнітної технології для тривалого зберігання яблук склала приблизно 12000 грн на 1т.

Ключові слова: електромагнітне поле; грибкові мікроорганізми; етилен; тривале зберігання яблук.

АННОТАЦІЯ

Бородай И. И. Электромагнитный метод и система контроля газовой среды для повышения сохранности плодов. - Рукопис.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 - биологические и медицинские приборы и системы. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко. - Харьков, 2018.

При существующих способах хранения яблок: обычная, регулируемая, модифицированная атмосферы не обеспечивают защиту плодов яблони от различных болезней. Из анализа литературных источников следует, что значительная доля потерь плодов (до 40%) в период хранения происходит от физиологических и грибковых болезней. Основной причиной развития заболеваний и снижения качества плодов является (дыхание плодов) избыточное накопление этилена внутри плодов и окружающей среде. В диссертационной работе на основе теоретических и экспериментальных исследований создана информационная электромагнитная технология и электронная система контроля газовой среды для длительного хранения яблок. В результате теоретических исследований было установлено, что блокировку дыхания яблок необходимо обрабатывать электромагнитным излучением с параметрами:

частота 33,5-36ГГц; мощность излучения $P_0=1.2\text{Вт}$; экспозиция $t=20\text{с}$. Для блокировки дыхания яблок электромагнитным излучением была разработана установка в которую входят: генератор дифракционного излучения, работающий в диапазоне частот 33-37 ГГц; две антенны с размером 397 x 600 мм, в раскрыв которых вставлены Е-поляризованные дифракционные решётки с периодом 2,5мм. Для контроля дыхания яблок, в процессе их длительного хранения, была разработана резонансная дифференциальная система со следующими техническими данными: номинальная частота кварцевых генераторов 100 МГц; относительное значение средней нестабильности частоты кварцевых генераторов в нормальных условиях при установившейся температуре не более 10^{-7} за 10^{-3} с.; верхний предел перестройки частоты измерительного кварцевого генератора не менее 200кГц; номинальная частота резонаторов 75ГГц; добротность резонаторов не менее 4870; чувствительность измерений 10^{-6} по $\Delta\varepsilon'$. Для частотных дискриминаторов был использован открытый резонатор (ОР) с параметрами: апертура зеркал 38мм; радиус кривизны сферического зеркала 38мм; расстояние между зеркалами - $L/R = 0,768$. Производственный опыт показывает, что воздействие ЭМ излучения на яблоки обеспечивает их сохранность в течение 6 месяцев в условиях внешней среды, температура 20°C при давлении $1,01 \times 10^5 \text{н/м}^2$. Биохимический анализ показал, что обработка яблок перед закладкой на хранение электромагнитным излучением с установленными параметрами не изменяет качества плодов и не влияет на их химический состав. Экономическая эффективность от применения электромагнитной технологии для длительного хранения яблок составит около 12000грн на 1т.

Ключевые слова: электромагнитное поле; грибковые микроорганизмы; этилен; длительное сбережение яблок.

Summary

Boroday I. Electromagnetic method and gas environment control system for improvement of the preservation of fruits. - Manuscript. Dissertation for a candidate degree in specialty 05.11.17 - biological and medical devices and systems.

Dissertation was completed at the Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. Defence of the dissertation will be held at the Kharkiv National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. - Kharkov, 2018.

Existing methods of storing apples are based on normal, regulated, modified atmospheres. These methods do not provide protection for apple fruits from various diseases. From the analysis of literature sources it was concluded that a significant proportion of fruit losses (up to 40%) during storage are from physiological and fungal diseases. The main reason for the development of diseases and the decrease in the quality of the fruit is the excessive accumulation of ethylene inside the fruit and the environment (due to respiration of the fruit). In this dissertation an information electromagnetic technology and electronic control system for the gas environment for long-term storage of apples were developed based on theoretical and experimental research. As a result of theoretical studies it was calculated that the blocking of respiration of apples must be treated with electromagnetic radiation with the parameters: frequency of 33.5-36 GHz; radiation power $P_0 = 1.2W$; exposure $t = 20$ s.

To block the breathing of apples by electromagnetic radiation a device was developed which included: a diffraction radiation generator which was operating in the frequency range 33-37 GHz;

two antennas with a size of 397x600 mm, in the opening of which E-polarized diffraction gratings with a period of 2.5 mm were inserted. To control the breathing of apples, during their long-term storage, a resonator differential system was developed with following parameters: the nominal frequency of the quartz oscillators is 100 MHz; the relative value of the average instability of the frequency of quartz generators under normal conditions at a steady temperature not more than 10^{-7} for 10^{-3} s; the upper limit of frequency tuning of the measuring quartz generator is not less than 200 kHz; the nominal frequency of resonators 75 ГГц; quality of resonators not less than 4870; measurement sensitivity 10^{-6} by $\Delta\epsilon'$. An open resonator (OR) was used for frequency discriminators with the following parameters: aperture of mirrors 38mm; radius of curvature of the spherical mirror 38mm; distance between mirrors $L/R = 0,768$. Production experiment showed that effect of EM radiation on apples ensures their safety for 6 months in an environment with the temperature 20°C under pressure $1,01 \times 10^5$ N/m². Biochemical analysis showed that the processing of apples prior to laying for storage with electromagnetic radiation with established parameters does not change the quality of the fruit and does not affect their chemical composition. Economic efficiency from the application of electromagnetic technology for long-term storage of apples was around 12000 UAH per ton.

Key words: electromagnetic field; fungal microorganisms; ethylene; prolonged storage of apples.

Підписано до друку - 06.02. 2018 р.
Комп'ютерний набір та верстка Полянова Н. В.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.
Ум. друк.0,765
Замовлення № 44/032017. Наклад 100 прим.

Друкарня ФОП Олейникова Ю.В.

м. Харків, вул. Різдяна (Енгельса) 29А,
Тел.: +38(057) 7-529-729.

Свідоцтво про реєстрацію:
Серія ХК, №163 від 20.12.2005 р.