

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ С ЭТИЛЕНОМ

Бородай И. И.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Рассмотрены принципы построения дифференциальных резонаторных систем для контроля газовой среды с этиленом при хранении яблок обработанных электромагнитным излучением.

Постановка проблемы. Фрукты относятся к продуктам, которые должны потребляться в течение всего года. В связи с этим возникает проблема сохранения плодов в течение 6...7 месяцев. При существующих способах хранения: обычная, регулируемая, модифицированная атмосферы не обеспечивают защиту плодов яблони от физиологических и грибковых болезней, не гарантируют сохранение их исходного качества на стадиях хранения и реализации. Из анализа литературных источников следует, что значительная доля потерь плодов (до 40%) в период хранения приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями. Из всего количества полученной продукции требованиям высшего и первого сортов удовлетворяют не более 60% плодов.

Основной причиной развития заболеваний и снижения качества плодов является избыточное накопление этилена внутри плодов и окружающей среде. Решение данной задачи, связанной с длительным сохранением качества плодов, является ингибирование синтеза этилена с помощью химических средств (препарат "Фитомаг" и др.), которые тормозят процессы старения [1]. Основной недостаток от применения химических средств состоит в том, что они накапливаются в плодах. Эффективная, недорогая и доступная технология хранения плодов может быть осуществлена с помощью использования информационного ЭМИ для уничтожения физиологических и грибковых болезней и ингибирования синтеза этилена. В тоже время, проведенный анализ большого числа работ отечественных и зарубежных исследований показывает, что в них отсутствует методология определения численных значений биотропных параметров ЭМП для ингибирования синтеза этилена, недостаточно проведены исследования по созданию электронных систем измерения концентрации этилена, углекислого газа и кислорода для длительного хранения плодов яблок [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Из анализа литературных данных [2, 3] следует, что измерение функции дыхания биологических веществ можно проводить по изменению диэлектрической проницаемости газа, окружающего биологический объект. Поляризация $P(\omega)$ газа атмосферы, возникающая под влиянием поля СВЧ, определяется выражением:

$$P(\omega) = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \left[\alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \cdot \frac{1}{1 + i\omega\tau} \right], \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость;
 M – молекулярный вес;
 ρ – плотность газа;
 N – число Авогадро;
 α_0 – средняя поляризуемость молекулярного газа;
 μ – постоянный дипольный момент;
 K – постоянная Больцмана;
 T – абсолютная температура;
 τ – время релаксации.

Предполагая выполнимость закона о парциальных давлениях (закон Дальтона), диэлектрическая проницаемость смеси полярных и неполярных газов можно записать как сумму вида:

$$\varepsilon - 1 = \sum_i K_{li} \frac{P_i}{T} + \sum_q K_{2q} \frac{Pq}{T} \left[A_q + \frac{B_q}{T} \right]. \quad (2)$$

С учетом наличия при газообмене углекислого газа (CO_2), сухого воздуха и водяного пара, выражение для ε запишется в виде:

$$\varepsilon - 1 = K_{11} \frac{P_d}{T} + K_{21} \frac{l}{T} \left[A + \frac{B}{T} \right] + K_{12} \frac{P_l}{T}. \quad (3)$$

где P_d – давление сухого воздуха;
 l – парциальное давление водяного пара;
 P_l – парциальное давление CO_2 .

Из анализа уравнения (3) следует, что с использованием метода измерений функции дыхания биологических объектов по величине ДП газа отпадает необходимость в определении количеств O_2 , CO_2 и этилена, так как любые количественные изменения CO_2 , O_2 и этилена будут пропорциональны изменению ДП газа, окружающего биологический объект. Диэлектрические методы измерения дыхания биологических веществ обеспечивают высокие требования по чувствительности измерений: до 10^{-8} для $\Delta\varepsilon'$. Из анализа измерений ДП газов следует, что дифференциальные резонаторные методы измерения ДП газов могут быть использованы для измерения функции дыхания биологических объектов. Однако, данный вопрос требует, как теоретических, так и экспериментальных исследований.

Цель статьи. Для контроля дыхания плодов разработать систему на основе дифференциального резонаторного метода измерения диэлектрической проницаемости газовой среды с этиленом.

Основные материалы исследования. Для того, чтобы избежать больших потерь урожая яблок при их длительном хранении, необходимо постоянно контролировать содержание этилена в газовой среде с яблоками. Поскольку ДП воздуха $\varepsilon'_6 = 1,00059$, то мы должны при измерении диэлектрической проницаемости газовой среды обеспечить правильное значение пятого знака после запятой. Это соответствует точности порядка $10^{-3}\%$ для величины ε' или $(1\div 2)\%$ для величины $(\varepsilon'-1)$. Приведенные соображения показывают, что величина $(\varepsilon'-1)$ измеряется с экспериментально реализуемой точностью, а методика измерения должна быть методикой сравнения двух измеряемых величин. Для измерения количества этилена, выделяемого при хранении плодовоовощной продукции, используем дифференциальный метод на сравнении частот двух резонаторных систем, измерительной и эталонной. Применение резонаторного метода для измерения изменений ДП газовой среды предусматривает использование резонаторного устройства в качестве частотного дискриминатора, который определяет принцип построения системы преобразования частоты. Анализ работы частотных дискриминаторов показывает, что на практике широкое применение при частотной модуляции источника возбуждения находят резонаторы, включённые по проходной схеме. В таких системах преобразование частоты осуществляется на основе частотной автоподстройки (ЧАП) [3]. В рассматриваемых системах частота кварцевого генератора с помощью умножителя преобразуется к частоте резонатора. Выбор частотного диапазона и метода измерения ДП воздушной среды связано с определением сдвига резонансной частоты Δf измерительного резонатора при заполнении его этиленом, выделяемого яблоками:

$$\Delta\varepsilon' = \frac{\Delta f}{f_0}, \quad (4)$$

где $\Delta\varepsilon'$ - изменение диэлектрической проницаемости воздушной среды с яблоками в измерительном резонаторе;

f_0 - резонансная частота эталонного резонатора;

Δf - уход частоты измерительного резонатора.

Если рассматривать воздушную среду, то на частоте $f_0 = 37$ ГГц, при наполнении объема воздухом, составит 10,92 МГц. С переходом в коротковолновую часть этого диапазона ($f_0 = 75$ ГГц) наличие воздуха в измерительном резонансном объеме приведет к сдвигу частоты $\Delta f = 22,13$ МГц.

Таким образом, все измерения по определению содержания этилена в воздухе целесообразно проводить в коротковолновой части миллиметрового диапазона. Хорошо известно, что нагруженная добротность резонатора определяется как $Q_H = f_0/\Delta f$ [4]. В рассматриваемом случае Δf - это ширина резонансной кривой по уровню -3 дБ. При $f_0 = 75$ ГГц и $Q_H = 5000$ $\Delta f = 15$ МГц. Для этого, чтобы создать эффективный частотный дискриминатор, сигнал, подаваемый на вход резонатора, модулируется по фазе сигналом низкой частоты. В работе [3] показано, что при прохож-

дении СВЧ сигнала, модулированного по фазе, через высокочастотную резонансную систему амплитуда огибающей СВЧ сигнала пропорциональна добротности резонатора, а частота огибающей равна удвоенной частоте модуляции при совпадении частоты генератора с резонансной частотой резонатора. Модуляция для снижения требования к величине индекса фазовой модуляции на выходе модулятора осуществляется в первых каскадах умножителя. Выходной сигнал умножителя имеет вид:

$$U(t) = U_{умн} \sin\left(N_{умн} \omega_{кз} t + \varphi_{фм} N_{умн} \Omega_m t\right), \quad (5)$$

где $U_{умн}$ - амплитуда СВЧ сигнала;

$\varphi_{фм}$ - индекс фазовой модуляции на выходе модулятора;

$\Omega_m = 2\pi F_m$ - круговая частота модуляции.

При изменении дыхания плодовоовощной продукции в измерительном резонаторе изменяется ДП газовой среды на величину выделенного этилена, в результате чего на выходе детектора резонатора появляется сигнал с частотой модуляции Ω_f искаженной формы. С помощью узкополосного избирательного усилителя, настроенного на частоту Ω_m , усиливается первая гармоника модуляционного сигнала и поступает на один вход фазового детектора, на второй вход подается опорный сигнал модуляции этой же частоты Ω_m от генератора, осуществляющего частотную модуляцию сигнала возбуждения колебаний в резонаторе. С выхода фазового детектора снимается напряжение, величина которого пропорциональна количеству этилена в измерительном резонаторе. Для регистрации ДП воздушной смеси, пропорциональной количеству этилена, используется схема [3], состоящая из формирователя, который служит для получения узких импульсов, формируемых из напряжения, периодически изменяющегося с частотой f_x кварцевого генератора 1; делителя частоты 1 и триггера 1, которые служат для получения импульсов с длительностью T_1 ; делителя частоты 2 и триггера 2 - для получения импульсов с длительностью T_2 ; ключа атисовпадений, который пропускает импульсы от формирователя 2 эталонного генератора (КГ2) на время, равное разности

$$T_2 - T_1 = \Delta f_x, \quad (6)$$

где Δf_x - изменение частоты кварцевого генератора (КГ1), пропорциональное изменению ε' воздушной среды измерительного резонатора, при воздействии ЭМП на яблоки для ингибирования синтеза этилена.

Учитывая, что число импульсов M , поступивших на счётчик, пропорционально разности $T_2 - T_1$, можно записать:

$$M = k \frac{\Delta f_x}{f_{КГ2}}. \quad (7)$$

где $k = k_1 = k_2$ – коэффициенты пересчета первого и второго делителей частоты, соответственно.

На рис. 1 приведена структурная схема измерения диэлектрической проницаемости воздушной смеси пропорциональной выделяемому этилену плодами яблук. Для частотных дискриминаторов был использован открытый резонатор (ОР) с параметрами:

апертура зеркал 38 мм; радиус кривизны сферического зеркала 38 мм. Для уменьшения коэффициента отражения на входе резонатора на плоской поверхности зеркала была помещена проволочная Е-поляризованная решётка с периодом 0,2 мм, намотанная вольфрамовым проводом диаметром 0,02 мм.



Рисунок 1 – Структурная схема диэлектрической проницаемости воздушной среды с этиленом при хранении яблок

Выводы. С приведенного материала следует:

1. Для измерения ДП газовой смеси с этиленом следует использовать дифференциальный метод на сравнении частот двух резонаторных систем, измеряемой и эталонной.

2. Использование дифференциального метода для измерения газовой смеси с этиленом возможно с применением частотных дискриминаторов на основе открытых резонаторов, включённых по проходной схеме, с параметрами: апертура зеркал 38 мм; радиус кривизны сферического зеркала 38 мм; резонансная частота 5 ГГц; полоса пропускания 15 м Гц.

Список использованных источников

1. Бородай И. И. Биохимические и биофизические основы хранения плодов / И. И. Бородай // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". - 2016. – Вип. 176. – С. 84 – 87.

2. Бородай И. И. Анализ методов и устройств контроля дыхания плодов при воздействии на них электромагнитного излучения / И. И. Бородай, Н. П. Кунденко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України", 2016. – Вип. 175. – С. 166 – 169.

3. Черенков А. Д. Теоретический анализ системы преобразования частоты в генераторах миллиметрового диапазона на основе фазовой автоподстройки частоты / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України", 2013. – Вип. 141. – С. 107 – 111.

4. Черенков А. Д. Измерение диэлектрической проницаемости биологических веществ на основе квантовых измерений / А. Д. Черенков, Н. Г. Косулина // Вісник ХНТУСГ "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України", 2016. – Вип. 175. – С. 153 – 156.

Анотація

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РЕЗОНАТОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА З ЕТИЛЕНОМ

Бородай І. І.

Розглянуто принципи побудови диференціальних резонаторних систем для контролю газового середовища з етиленом при тривалому зберіганні яблук оброблених електромагнітним випромінюванням.

Abstract

PRINCIPLES OF DIFFERENTIAL RESONATOR SYSTEM FOR MEASURING THE DIELECTRIC CONSTANT OF THE GASEOUS MEDIUM WITH ETHYLENE

I. Boroday

This article describes the principles of constructing differential resonator systems for monitoring of the gaseous medium filled with ethylene in case of long-term storage of apples treated with electromagnetic radiation.