

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ВЕЩЕСТВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Сингатулин Р.С., старший преподаватель  
БГТУ им. В.Г. Шухова**

**Гордеев А.С., доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ**

**Мишин Б. С., кандидат технических наук, ассистент  
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ**

**Ключевые слова:** *электрофизические параметры, биологические вещества, магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость.*

*В статье проанализированы электромагнитные системы, которые могут использоваться для определения электрофизических параметров биологических веществ. Особый интерес представляет собой такой параметр как магнитная проницаемость. При соответствующем математическом и программном обеспечении с помощью упомянутого параметра можно идентифицировать сельскохозяйственную продукцию.*

**Введение.** В последнее время большое внимание уделяется применению физики к проблемам сельского хозяйства. Одной из проблем является вопросы контроля качества продукции сельского хозяйства во время производства, хранения, переработки и потребления.

Данные вопросы не относятся к физике, но от нее мы можем взять методы воздействия и исследования.

Важными электрофизическими параметрами являются диэлектрическая и магнитная проницаемости веществ. Исследованию диэлектрической проницаемости биологических веществ на основе резонансных методов, связанной с поляризацией самого вещества под действием внешнего электромагнитного поля, посвящено большое количество исследований. Данные методы базируются на изменении частоты резонанса и добротности системы [1, 2].

**Материалы и методы исследования.** Существует достаточное количество способов определения такого электрофизического параметра как магнитная проницаемость, которая характеризует магнитные свойства вещества. Известно, что все вещества по их магнитным свойствам можно разделить на три большие группы: ферромагнетики (имеют большую положительную магнитную восприимчивость), диамагнетики (имеют небольшую отрицательную магнитную восприимчивость) и парамагнетики (имеют небольшую положительную магнитную восприимчивость). Большинство известных способов определения магнитных свойств вещества сводится к определению магнитной проницаемости ферромагнитных материалов.

Известно, что к парамагнетикам относится воздух, к диамагнетикам – вода. Можно сделать о том, что биологические вещества, так или иначе, относятся к диамагнетикам или парамагнетикам. Рассмотрим существующие методики определения магнитных свойств этих групп веществ.

Методика, предложенная в [3], основана на измерении изменения напряжения последовательного

колебательного контура, в котором индуктивная ячейка содержит в себе исследуемое вещество. Используя индуктивную ячейку, используется магнитное поле. Для изменения диапазона частот предусмотрены переменная катушка индуктивности и переменный конденсатор. Частота регулируется на низкочастотном генераторе. Показания прибора можно наблюдать на осциллографе в виде синусоидального напряжения. В условии резонанса в колебательном контуре индуктивное сопротивление становится равным емкостному, то есть они будут взаимно компенсировать друг друга. Сам процесс измерения основан на изменении напряжения последовательного колебательного контура, в котором индуктивная ячейка содержит в себе исследуемое вещество.

При помещении исследуемого вещества в индуктивную ячейку в контуре возникают потери, которые отражаются в виде изменения напряжения и могут быть переведены в изменение активного сопротивления.

Суть индуктивного метода продемонстрирована на рис.1. Ввод сосуда с жидкостью внутрь L-ячейки, подключенной к колебательному контуру, приводит к уменьшению добротности  $Q$  и емкости  $C$  контура при резонансе, что указывает на изменение активного и индуктивного сопротивления ячейки.

На базе данной методики проводились эксперименты по исследованию магнитных свойств жидкостей.

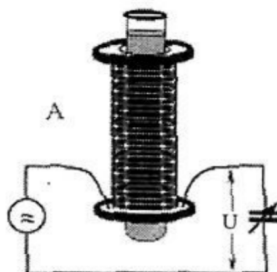


Рисунок 1 - Упрощенная схема колебательного контура с измерительной L-ячейкой

В [4] показана индуктивная методика измерения, являющаяся продолжением изложенных выше исследований. В предложенной методике в схему опытной установки добавлен  $R_э$  – эталонный резистор. Также в схеме есть источник низкочастотных колебаний с известным напряжением и частотой колебаний. Перед проведением эксперимента колебательный контур настраивался на резонансную частоту. Ввод исследуемого вещества изменяет напряжение на эталонном резисторе – резонанс нарушается и необходимо снова на него настроится. Затем делаются замеры напряжения и частоты. Данная методика позволяет измерять магнитные свойства не только жидкостей, но и твердых веществ.

В [5] на исследуемый образец, который имеет форму тороида или рамки, наматывают несколько витков медной проволоки (рис.2). Колебательный контур связан с генератором  $\Gamma$  через большое реактивное сопротивление  $z_1$ . При помощи этого сопротивления достигается слабая связь между колебательным контуром и генератором. Для измерения напряжения на конденсаторе используется электронный вольтметр  $V$ . Второе реактивное

сопротивление  $z_2$  служит для развязки контура от цепи этого вольтметра. В колебательный контур входят исследуемый образец с обмоткой, обладающей индуктивностью  $L_x$  и сопротивлением  $R_x$ , переменная емкость  $C_v$  для настройки контура в резонанс и собственная емкость  $C_p$  катушки и соединительных проводов. Определение действительной и мнимой частей комплексной магнитной проницаемости основывается на связи этих величин с индуктивностью  $L_x$  и сопротивлением  $R_x$ .

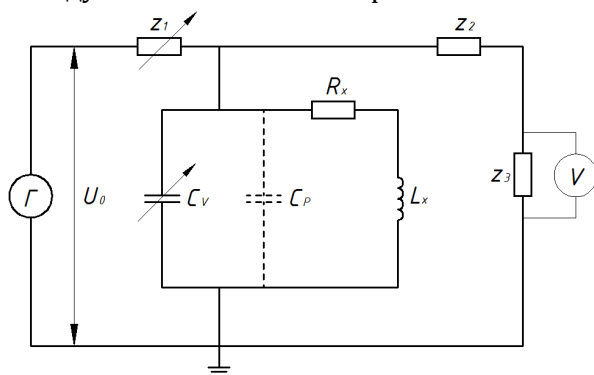


Рисунок 2 - Схема резонансного метода для определения  $\mu_1$  и  $\mu_2$

**Заключение.** Существующие методы измерения электрофизических параметров, таких как диэлектрическая и магнитная проницаемости обладают недостатками:

1. Созданные для измерения диэлектрической проницаемости веществ резонансные системы технически сложны и достаточно громоздки, а также есть проблема перестройки резонансной частоты, что ухудшает точность измерения.

2. Существующие методы для измерения магнитной проницаемости веществ практически не используются в сельском хозяйстве. К тому же в данных резонансных

системах необходима постоянная настройка контура в резонанс.

Для исследования качества продуктов сельского хозяйства необходимо создать резонансную систему, чей колебательный контур не будет зависеть от настройки в резонанс. В качестве электрофизического параметра такой резонансной системы можно использовать такой электрофизический параметр как магнитная проницаемость вещества. Для этого необходимо создать информационную базу на основе данного параметра с соответствующим математическим и программным обеспечением.

#### **Библиографический список:**

1. Черенков А.Д. Анализ резонансных систем для измерения электрофизических параметров веществ // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. №3 (97).

2. Сапрыка, А.В. Анализ методов и технических средств для дистанционного измерения диэлектрических параметров в биологических объектах [Текст] / А.В. Сапрыка, Р.С. Сингатулин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – №1(17). С.59-67.

3. Семихина Л.П. Индуктивный метод определения диэлектрических свойств жидкостей/ Л. П. Семихина. // Научное приборостроение. – 2005. – №3(15). – С.83-87.

4. НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2020 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 22-23 декабря 2020 г. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – 234 с.

5. Магнитные измерения [Текст] : [Учеб. пособие для ун-тов] / Под ред. проф. Е. И. Кондорского. - 2-е изд., доп. и

перераб. - Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1969. - 387 с. : ил.; 22 см.

**ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC SYSTEMS USED TO  
DETERMINE THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF  
BIOLOGICAL SUBSTANCES IN AGRICULTURE**

**Singatulin R.S., Gordeev A.S., Mishin B.S.**

Keywords: electrophysical parameters, biological substances, magnetic permeability, dielectric permittivity.

The article analyzes the electromagnetic systems that can be used to determine the electrophysical parameters of biological substances. Of particular interest is such a parameter as the magnetic permeability. With the appropriate mathematical and software software, the mentioned parameter can be used to identify agricultural products.