

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ  
МЕТОДАМИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

*Семенов В, Мительман Ю. Е.*

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

[viktor.semenov@urfu.me](mailto:viktor.semenov@urfu.me), [y.e.mitelman@urfu.ru](mailto:y.e.mitelman@urfu.ru)

**Аннотация.** В данной работе представлены и описаны методики неразрушающего определения таких качественных характеристик, как сорт и размер яблока. Использован метод измерения  $S$ -параметров для исследования характеристик яблока. Представлены измерения коэффициента отражения яблока при помощи антенны на основе открытого конца круглого волновода. Написана программа в среде *Matlab* для определения сорта и размера яблок с использованием результатов измерения входных характеристик антенны. Определение сорта происходит с высокой точностью.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль,  $S$ -параметры, *Matlab*, качество фруктов, яблоко, сорт.

**DEVELOPMENT OF A NON-DESTRUCTIVE DETERMINATION OF  
QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF FRUIT AND VEGETABLES BY  
RADIO ELECTRONICS METHODS**

*Semenov V., Mitelman Y.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** This paper presents and describes the methods of non-destructive determination of such qualitative characteristics as apple variety and size. The method of measuring  $S$ -parameters was used to study the characteristics of an apple. Measurements of the reflection coefficient of an apple using an antenna based on the open end of a circular waveguide are presented. A program in the *Matlab* environment has been written to determine the variety and size of apples using the results of measuring the input characteristics of the antenna. The definition of the variety is carried out with high precision.

**Key words:** nondestructive testing,  $S$ -parameters, *Matlab*, fruit quality, apple, variety.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы в мире наблюдается значительное увеличение количества сельскохозяйственной продукции и ее разнообразия. Таким образом,

растущий спрос на высококачественные фрукты и овощи требует быстрого развития технологий послеуборочной обработки. В течение многих лет качественная оценка сельскохозяйственной продукции интересовала исследователей. Однако, нет четкого определения качества сельскохозяйственной продукции; различные авторы определяют качество по-разному. Тем не менее, для определения качества обычно используются определенные основные факторы: размер, форма, цвет, вкус, текстура и отсутствие дефектов и посторонних веществ. Поскольку многие показатели качества сельскохозяйственной продукции связаны с физическими свойствами продукции, могут быть разработаны неразрушающие методы оценки качества, основанные на физических свойствах.

В настоящее время существует две группы методов оценки качества: разрушающие и неразрушающие. К неразрушающим методам относятся использование ультразвука, рентгена, оптики, ближнего ИК диапазона и электромагнитного излучения. К ним же можно отнести и ручную сортировку, хотя она дорогая и трудоемкая, а также субъективная. Кроме того, поверхностный визуальный осмотр не позволяет выявить какие-либо отклонения от нормы внутри образцов. Поскольку в сельскохозяйственном секторе добавленная стоимость низка по сравнению с большинством других отраслей, интерес к разработке передовых технологий и оборудования для неразрушающего контроля качества постоянно возрастает в последние десятилетия. К сожалению, в настоящее время практически отсутствуют комплексные исследования, систематизирующие методы неразрушающего контроля качества плодов. Очевидно, что на данном этапе развития радиоэлектроники ее достижения могут и должны быть использованы для решения этой, несомненно, важной задачи. Подробный обзор методов определения качества фруктов представлен в статьях [1] и [2].

### **Экспериментальные исследования**

В работе было принято решение использовать метод измерения  $S$ -параметров исследуемого объекта, в связи с тем, что данный метод является в перспективе одним из самых быстродействующих, экологичных и не требовательных к вычислительным мощностям. Кроме того, Уральский федеральный университет обладает необходимым оборудованием для его применения. Для получения характеристик фрукта необходимо выбрать диапазон частот, в котором будут измеряться  $S$ -параметры фрукта. Чтобы получить как можно больше информации было решено использовать антенну с наибольшей рабочей полосой частот по уровню КСВ $<2$ , и при этом простую в изготовлении. Полоса частот была выбрана от 2 ГГц и выше, так как при использовании более низких частот значительно увеличиваются размеры

антенны. Для этих целей была выбрана антенна на основе открытого конца круглого волновода («баночная антенна»), так как она проста в изготовлении и обладает необходимыми характеристиками. Антенна была смоделирована в САПР *Ansys HFSS*, а затем изготовлена. В качестве объекта измерений было выбрано яблоко, оно было помещено на диэлектрическую крышку баночной антенны. Антенна в свою очередь подключена к векторному рефлектометру *CABAN R54*, который позволяет измерять комплексный коэффициент отражения  $S_{11}$ . На рисунке 1 слева представлена модель антенны, созданная в системе трехмерного электродинамического моделирования *Ansys HFSS*, в правой части представлен процесс измерений.

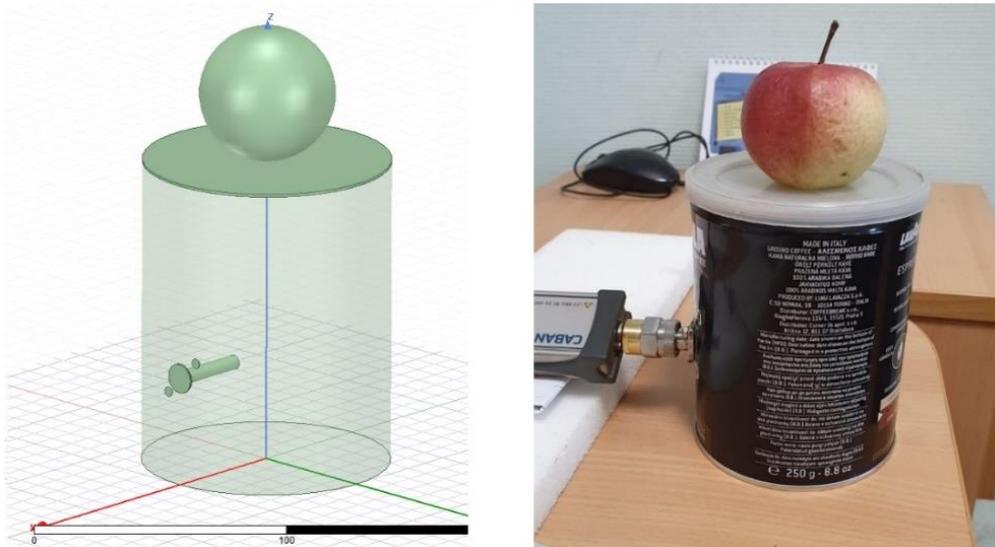


Рисунок 1 – Модель и измерительная установка

Графики зависимости КСВ модели и прототипа антенны от частоты представлены на рисунке 2.

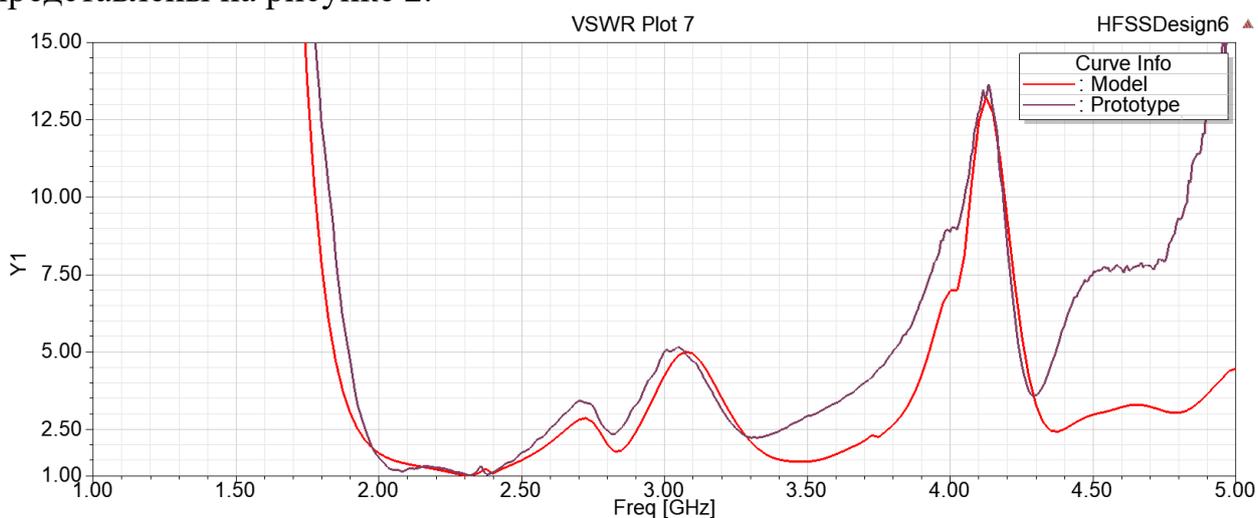


Рисунок 2 – Графики зависимости КСВ прототипа и модели от частоты

### Определение сорта

Методика определения сорта заключается в сравнении характеристик измеренного яблока с заранее созданной базой данных характеристик для

различных сортов. База данных для каждого сорта составляется на основе измерения характеристики антенны с яблоками этого сорта с помощью векторного измерителя коэффициентов отражения *Caban R54*, число точек измерения равно 801 в полосе от 1 до 5 ГГц, и для каждой точки среди всех измеренных характеристик яблок этого сорта определяется максимальная и минимальная амплитуда для вещественной и мнимой части комплексного коэффициента отражения  $S_{11}$ , и на основе этого формируются границы для каждого сорта. Затем программа определяет, сколько точек измеряемого яблока попадает в границы каждого сорта, далее сравнивает полученное количество точек от каждого сорта и находит среди них максимум, и отображает название сорта, максимальное количество точек, соответствующих которому вошло в границы. В связи с тем, что необходимо обрабатывать большой объем данных была создана программа позволяющая определить сорт яблока по внесенным в программу характеристикам антенны  $S_{11}$  и характеристикам измеренного яблока  $S_{11}$ .

Пример границ для сорта Гала представлен на рисунке 3.

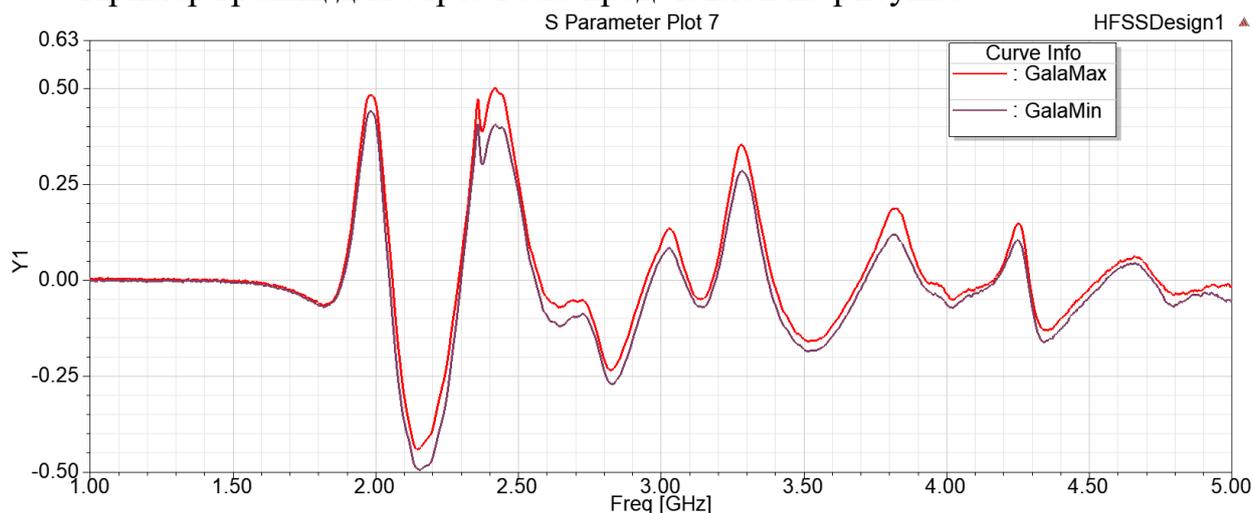


Рисунок 3 – Пример границ для сорта Гала

### Определение размера

Для определения размера используется ширина полосы частот по определенному уровню коэффициента отражения. Характеристики каждого сорта были проанализированы на предмет зависимости от размера яблока, а именно максимального диаметра яблока. В связи с тем, что соответствие яблоко-размер зависит от текущего сорта, то для верного определения размера необходимо сначала узнать сорт измеряемого яблока, поэтому крайне важно определять сорт как можно точнее.

Методика определения размера состоит в измерении ширины полосы частот по определенному уровню коэффициента отражения в нескольких диапазонах, и затем сравнения с ранее созданной таблицей на основе измеренных данных яблок. Ввиду того, что данная операция трудоемка из-за

большого количества исходных данных, была написана программа позволяющая предположить размер текущего яблока на основе данных о сорте из программы, описанной в предыдущем пункте и характеристике  $S_{11}$  измеряемого яблока.

### Программа для определения сорта и размера яблока

С использованием среды разработки *Matlab* была написана программа, позволяющая по описанным выше методикам определить сорт и размер яблока. Интерфейс программы представлен на рисунке 4. На данный момент измерены характеристики восьми сортов яблок (Симиренко, Голден, Гала, Гренни Смит, Бребурн, Рэд, Криппс Пинк, Айдаред), и программа позволяет определять сорт и размер лишь этих сортов. В дальнейшем предполагается увеличение количества сортов. Стоит отметить, что программа написана таким образом, что для увеличения количества сортов необходимо лишь добавить их характеристики в базу данных, никакие действия с программным кодом производить не требуется.

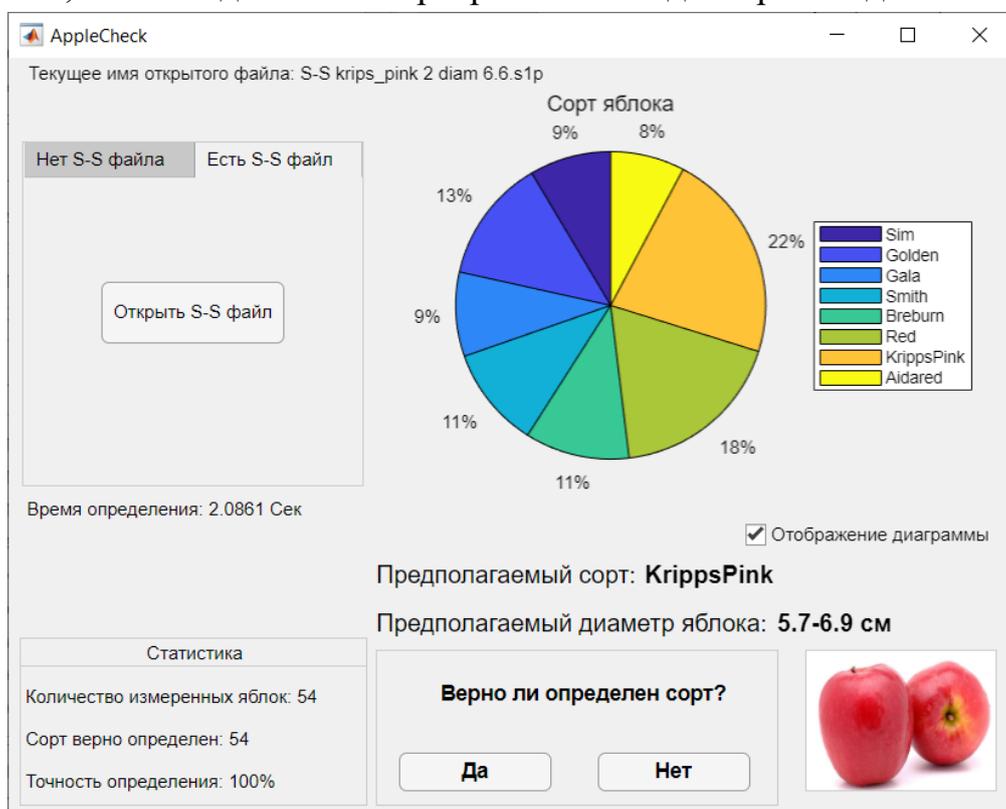


Рисунок 4 – Интерфейс программы

В качестве предполагаемого сорта программа выбирает сорт с наибольшим коэффициентом корреляции характеристик согласно круговой диаграмме в правой части программы, пример которой представлен на рисунке 5.

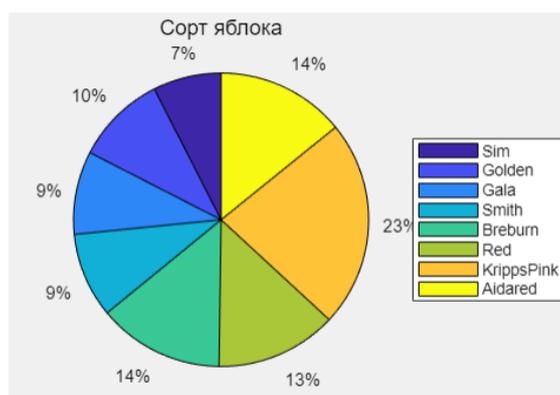


Рисунок 5 – Круговая диаграмма

В настоящий момент точность определения сорта в программе составляет 100%.

### Заключение

В работе произведено исследование характеристик яблока методом измерения  $S$ -параметров при помощи баночной антенны и векторного рефлектометра. Показано, что изменение качества плода влияет на импедансные характеристики антенны, в ближней зоне которой он находится. Была написана программа в среде разработки *Matlab*, позволяющая предположить сорт с большой точностью и размер измеряемого яблока на основе ранее собранных данных. Программа работает корректно, точность определения сорта составляет 100% на текущий момент, в программе заложено восемь сортов яблок, по три варианта размера на каждый сорт. Данная методика определения при должной доработке может использоваться на конвейере в целях сортировки яблок. Внедрение разработанной методики позволит существенно уменьшить затраты ресурсов на сортировку яблок, а в перспективе и других сельскохозяйственных продуктов, увеличить ее точность и скорость. При проведении дополнительных исследований и доработок возможно применение данного метода на кассах самообслуживания в целях идентификации фруктов и овощей для обеспечения более четкого контроля за продукцией.

### Библиографический список

1. Semenov V. Non-destructive Fruit Quality Control Using Radioelectronics: A Review / V. Semenov, Y. Mitelman // 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020 – 2020. – pp. 281–284.
2. Семенов В. Неразрушающий контроль качественных характеристик фруктов с использованием радиоэлектроники / В. Семенов, Ю.Е. Мительман // Актуальные проблемы развития технических наук : сборник статей участников XXIII Областного конкурса научно-исследовательских работ «Научный Олимп» по направлению «Технические науки». – 2020. – С. 127–133.