

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА

П.Д. Вольская, Г.Н. Дещенко

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: polinavolskaya11@gmail.com*

В программной среде COMSOL Multiphysics создана модель кольцевого СВЧ резонатора. Получены АЧХ для различных значений диэлектрической проницаемости измеряемого материала. Изменение резонансных параметров можно использовать для измерения влажности зерна.

Ключевые слова: измерение влажности; резонансный метод; диэлектрическая проницаемость; амплитудно-частотная характеристика; COMSOL Multiphysics.

ВВЕДЕНИЕ

Мукомольные и зерносушильные предприятия нуждаются в технологичных методах контроля влажности зерновых культур. По сравнению с лабораторными измерениями, датчики влажности в потоке позволяют непрерывно отслеживать изменения параметров. Один из методов, используемых для таких измерений – резонансный. В литературе описана зависимость диэлектрических параметров зерна от влажности [2], однако их влияние на резонансные характеристики кольцевого резонатора не изучалось. Для исследования влияния влажности зерна на характеристики резонатора было проведено компьютерное моделирование датчика серии А315 [1]. Модель позволит уменьшить число практических экспериментов и упростит модернизации данных приборов.

МОДЕЛЬ РЕЗОНАТОРА

Сыпучий материал можно представить как смесь сухого вещества, воды и воздуха [4]. Как известно, диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon \approx 81$, что значительно выше, чем сухого вещества ($\epsilon \approx 4$) и воздуха ($\epsilon \approx 1$), а значит её можно использовать для измерения содержания воды.

Конструкция резонатора представляет собой прямоугольный волновод с узкой щелью вдоль широкой стенки, свернутый в кольцо. При этом часть электромагнитного поля выходит и взаимодействует с исследуемым веществом [1]. При увеличении комплексной диэлектрической проницаемости вещества, ожидается уменьшение резонансной частоты и снижение амплитуды резонанса. Конструкция резонатора в разрезе представлена на рис. 1. Модель создана в программной среде COMSOL Multiphysics 6.1. Данные о комплексной диэлектрической проницаемости исследуемого материала взяты из [2] и соответствуют озимой пшенице.

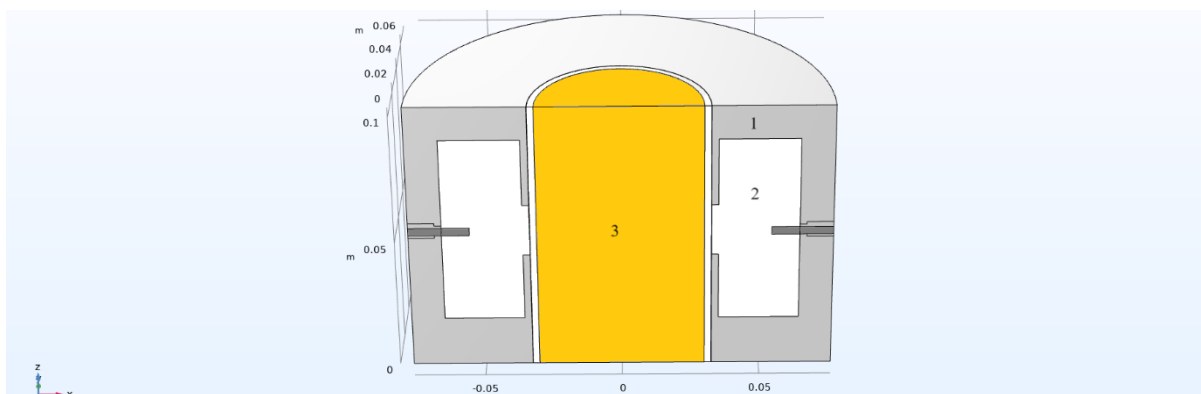


Рис. 1. Конструкция кольцевого резонатора в разрезе:
1 – металлическая граница резонатора, 2 – диэлектрический наполнитель (полиэтилен), 3 – исследуемый материал

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Было проведено моделирование в частотной области для различных значений диэлектрической проницаемости исследуемого вещества, соответствующих воздуху, т.е. пустому резонатору, и пшенице влажности от 3% до 24%. Действительная часть диэлектрической постоянной изменялась от 2,2 до 3,6, а мнимая часть – от 0,11 до 0,41. Пример распределения напряженности электрического поля представлен на рис. 2. На резонансной частоте возникают стоячие волны, а напряженность поля резко возрастает.

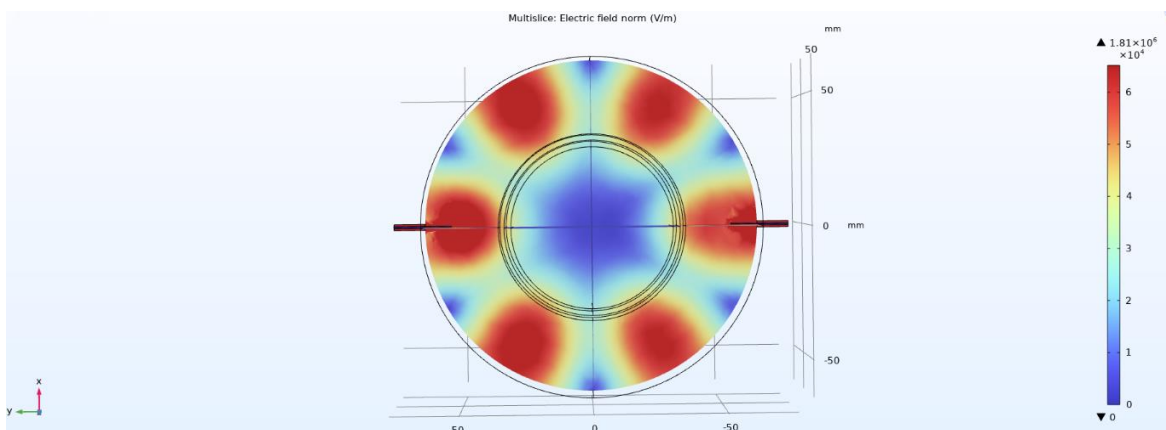


Рис. 2. Напряженность электрического поля в разрезе кольцевого резонатора. Частота 2,37 ГГц, диэлектрическая проницаемость исследуемого вещества $\epsilon = 1$ (воздух)

Для исследуемого вещества каждой влажности была получена АЧХ (рис. 3). С увеличением содержания воды частота уменьшается. Амплитуда уменьшается при низкой влажности, а на высокой начинает расти.

Из-за этого использование сдвига амплитуды для оценки влажности возможно только в ограниченном диапазоне, что находит отражение в алгоритмах оценки влажности данным методом при практической реализации датчика серии А315.

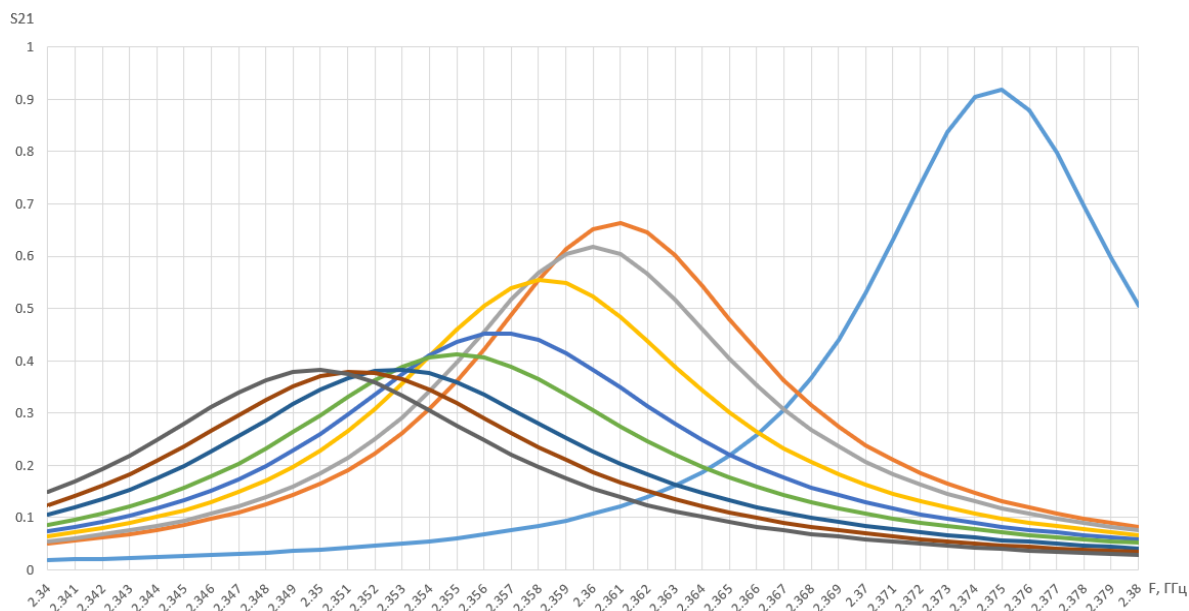


Рис. 3. АЧХ для незаполненного резонатора и для заполненного пшеницей влажности 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21%, 24% справа налево соответственно

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования была построена компьютерная модель кольцевого резонатора, лежащего в основе датчика А315 и получены АЧХ, соответствующие зерну различной влажности. Результаты моделирования показали, что с увеличением влажности частота резонанса монотонно убывает, а амплитуда резонанса изменяется более сложным образом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Беляниц А. Ч.* Микроволновый влагомер для зерна в потоке А315 для зерносушильных комплексов // Поволжье-Агро. 2020. №8 (127). С. 1-11.
2. ASAE D293.2 JUN1989 (R2005). Dielectric Properties of Grain and Seed // American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Standards. 2006. С. 592-601.
3. COMSOL Multiphysics. RF Module User's Guide // COMSOL Documentation. 2023.
4. *Stuart O. Nelson.* Dielectric Properties and Density Relationships for Granular Materials // An ASAE/CSAE Meeting Presentation. 2004. С.2-4.