

УДК 621.396.67

Микроволновый метод измерения влажности зерна

Трушкин А. Н.

Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
antrushkin@list.ru

Получено: 1 ноября 2019 г.

Отрецензировано: 15 декабря 2019 г.

Принято к публикации: 20 декабря 2019 г.

Аннотация: Предложен метод измерения влажности зерна в поточном производстве, позволяющий снизить составляющие погрешности измерения, обусловленные неравномерностью распределения влаги в зерне, неоднородностью материала по плотности и температуре. Проведен анализ основных составляющих погрешности измерения. Описана структурная схема измерителя на основе предложенного метода.

Ключевые слова: СВЧ генератор, СВЧ-детектор, модуль коэффициента передачи четырехполюсника, вентиль, рпн-диодный выключатель, антенна, симметричный двунаправленный ответвитель, блок управления и обработки.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Трушкин А. Н. Микроволновый метод измерения влажности зерна // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 4. С. 515—521.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Трушкин, А. Н. Микроволновый метод измерения влажности зерна / А. Н. Трушкин // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2019. — Т. 2, № 4. — С. 515—521.

Microwave method for measuring grain moisture

A. N. Trushkin

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

antrushkin@list.ru

Abstract: A method for measuring grain moisture in continuous production, which allows to reduce the components of the measurement error due to the uneven distribution of moisture in the grain, the heterogeneity of the material in density and temperature, is proposed. The analysis of the main components of the measurement error, is proposed. A block diagram of the device based on the considered method is proposed.

Keywords: microwave generator, microwave detector, quadrupole transfer coefficient module, valve, pin-diode switch, antenna, symmetrical bi-directional coupler, control and processing unit.

For citation (IEEE): A. N. Trushkin, "Microwave method for measuring grain moisture", *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 515–521, 2019. (In Russ.).

1. Введение

Контроль и регулирование влажности зерновых материалов позволяет существенно уменьшить материальные потери при их производстве. Снижение этих потерь требует разработки и внедрения эффективных методов и средств измерения влажности зерна. Широкое применение сейчас имеет термогравиметрический метод контроля влагосодержания [1]. Он стандартизирован, имеет высокую точность, не требует специальных методов градуировки, прост в использовании. Однако, как показывает анализ, в настоящее время интенсивно разрабатываются СВЧ-влагометры, не уступающие термогравиметрическому методу в точности, но превосходящие его по производительности измерений и пригодные для работы в поточном производстве. Как показывает анализ, наиболее востребованными при поточном методе контроля влажности зерновых продуктов являются квазиоптические методы, среди которых хорошо зарекомендовал себя амплитудный метод. Он более чем в два раза чувствительнее фазового и в 6 раз чувствительнее метода отражения [2].

В статье предлагается два варианта измерителя, реализующего предлагаемый метод. В обоих вариантах зерно непрерывным потоком движется вдоль горизонтальной оси радиопрозрачного образца с некоторой скоростью. В первом варианте электромагнитные волны, излучаемые

передающими антеннами, проходят через образец во взаимно перпендикулярных направлениях. Каждый из двух СВЧ детекторов, подключенных к выходу своей приемной антенны, преобразует СВЧ сигнал в низкочастотное напряжение, которое несет информацию о влажности зерна. Исследуемый образец с зерном в первом варианте измерителя неподвижен. Во втором варианте образец вращается вокруг своей горизонтальной оси и, в отличие от первого варианта, измеритель вместо двух пар антенн имеет одну и соответственно один СВЧ детектор. Очевидно, что в первом варианте используется более сложный СВЧ тракт и измерительный цикл состоит из двух тактов (в первом такте открыт первый канал, а во втором второй канал). Несомненным достоинством первого варианта является отсутствие вращающихся сочленений в области СВЧ тракта. Второй вариант имеет более простой СВЧ тракт и более высокую производительность измерений, так как измерительный цикл реализуется в одном такте. Однако вращающееся сочленение в этом варианте усложняет конструкцию измерителя. В данной работе рассмотрены два варианта схем измерителей.

2. Схема измерителя с неподвижным образцом

Известна схема измерителя (рис. 1), в которой на каждый из детекторов воздействуют излучаемые волны от обоих генераторов. Каждая из волн, пришедшая на детекторы Д1, Д2, содержит в себе информацию о среде, через которую она прошла — ее амплитуду и фазовый набег [3].

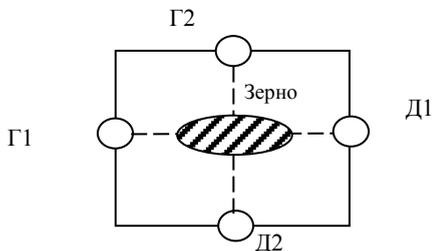


Рис. 1. Схема расположения генераторов и детекторов в 1-м варианте измерителя.

Fig. 1. Arrangement of generators and detectors in the 1st version of the meter

Амплитуда результирующего воздействия на детекторы Д1, Д2 от двух излучателей Г1 и Г2 будет определяться по принципу суперпозиций — как векторная сумма сигналов, прошедших сквозь образец от этих излучателей. Амплитуда прошедшего через материал СВЧ-сигнала в каждом направлении многократно измеряется с последующим определением среднеарифметического измеренных по всем направлениям. Таким образом,

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij}}{mn}, \quad (1)$$

где \bar{A} — среднеарифметическое измеренных по всем направлениям значений амплитуды; n — число направлений (число СВЧ-пар излучателей — приемников); m — число измерений в каждом направлении.

Анализ работы рассмотренного устройства показывает, что определение фазовых соотношений между сигналами от разных источников (порожденных векторным суммированием) приводит к заметным дополнительным погрешностям определения влажности зерна и усложнением алгоритма обработки. Устранить указанный недостаток позволяет метод, обеспечивающий определение влажности через модуль коэффициента передачи четырехполюсника (образца с проходящим зерном) в различных направлениях. На рис. 2 показана структурная схема измерителя.

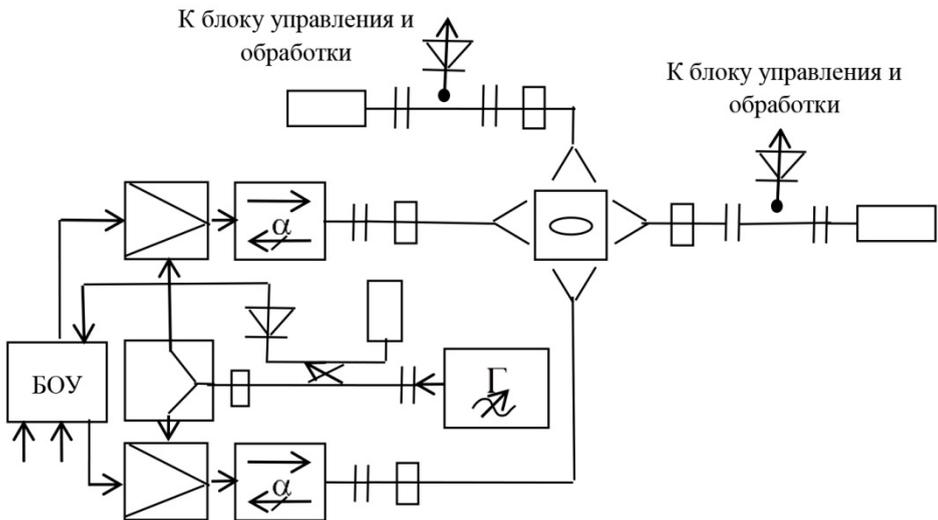


Рис. 2. Структурная схема влажности зерна с неподвижным образцом.

Fig. 2. The structural diagram of the moisture content of the grain with a fixed sample

Измеритель работает следующим образом:

— СВЧ-генератор вырабатывает электромагнитную волну, которая разделяется делителем мощности на две равные части;

— блок управления и обработки поочередно открывает *pin*-диодные выключатели, и передающие антенны последовательно во времени облучают образец с проходящим через него зерном;

— приемные антенны поочередно принимают прошедшие через образец сигналы, и продетектированные СВЧ-детекторами напряжения обрабатываются блоком управления и обработки;

— независимость точности измерения влажности от нестабильности мощности СВЧ генератора обеспечивается нормированием измерительного сигнала с помощью сигнала опорной волны с СВЧ детектора, подключенного ко второму выходу направленного ответвителя.

Очевидно, что с увеличением числа каналов зондирования увеличивается и точность измерения влажности.

Основной вклад в погрешность измерения в рассмотренной схеме вносят составляющие, образующиеся за счет:

- неидентичности АЧХ опорного и измерительных каналов;
- переотражений между элементами СВЧ тракта;
- конечной направленности ответвителя опорной волны;
- неквадратичности характеристик и неидентичности коэффициентов преобразования СВЧ детекторов.

Для минимизации первой составляющей погрешности измерения модуля коэффициента передачи обычно используются устройства, которые выравнивают АЧХ опорного и измерительного каналов автоматически при перестройке СВЧ генератора в заданном диапазоне частот. При этом остаточная неидентичность АЧХ может быть обеспечена до значений 0,01 дБ.

Существенное снижение погрешности за счет переотражений в широкой полосе частот можно обеспечить путем применения широкополосных ферритовых вентилей.

3. Схема измерителя с вращающимся образцом

На рис. 3 показана структурная схема измерителя с вращающимся образцом.

Измеритель работает следующим образом:

— СВЧ-генератор вырабатывает электромагнитную волну, которая распространяется в сторону передающей антенны и, пройдя через вращающийся образец, приемную антенну, измерительный зонд с СВЧ детектором, поглощается согласованной нагрузкой;

— СВЧ детектор преобразует СВЧ колебания, поступающие на его вход, в низкочастотное напряжение, которое усиливается блоком обработки и управления до необходимого уровня;

— часть волны, проходящей через направленный ответвитель, переизлучается в его вторичный канал и поступает на вход СВЧ детектора, который преобразует СВЧ колебания в низкочастотное напряжение, усиливаемое блоком обработки и управления до необходимого уровня;

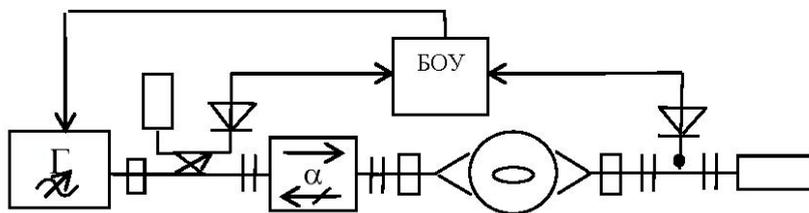


Рис. 3. Структурная схема измерителя влажности зерна с вращающимся образцом.

Fig. 3. Structural diagram of a grain moisture meter with a rotating sample

— блок управления и обработки осуществляет операцию деления напряжения пропорционального сигналу прошедшей волны на напряжение пропорциональное напряжению опорной волны.

Основной вклад в погрешность измерения в рассмотренной схеме вносят составляющие, образующиеся за счет:

- взаимной неидентичности АЧХ опорного и измерительных каналов;
- переотражений между элементами СВЧ тракта;
- конечной направленности ответвителя опорной волны;
- неквадратичности характеристик и неидентичности коэффициентов преобразования СВЧ детекторов.

Средства для минимизации погрешностей, обусловленных неидентичностью АЧХ опорного и измерительных каналов, за счет переотражений аналогичны описанным выше.

4. Заключение

Анализ работы схемы с неподвижным образцом показывает, что благодаря разделению во времени работы каналов выходные напряжения СВЧ-детекторов несут информацию о влажности зерна в модуле коэффициента передачи четырехполюсника, что позволяет повысить точность, упростить алгоритм обработки измерительной информации. Дальнейшими задачами исследования являются повышение точности, совершенствование алгоритмов калибровки и обработки измерительной информации.

Анализ работы схемы измерителя с вращающимся образцом показывает, что благодаря перемешиванию зерна в процессе движения усредненные показатели влажности более точные, чем в предыдущем варианте измерителя. Кроме того, СВЧ тракт второй схемы существенно проще, чем первый, что позволяет минимизировать составляющие погрешности измерения. Дальнейшими задачами исследования являются повышение точности, совершенствование алгоритмов калибровки и обработки измерительной информации.

Список литературы

1. ГОСТ Р 8.633—2007. Государственная система обеспечения единства измерений. Зерно и зернопродукты. Инфракрасный термogrавиметрический метод определения влажности.
2. Ахиезер А. И., Ахиезер И. А. Электромагнетизм и электромагнитные волны : учеб. пособ. для вузов. М. : Высш. школа, 1985. 504 с.
3. Сайтов Р. И., Марданова Э. М. СВЧ-контроль влажности зерна в условиях мелькомбината. В кн. :Наука — основа образования : сб. науч. тр. Уфа, 1998. С. 57—61.
4. Железняков А. Н., Сайтов Р. И., Абдеев Р. Г. СВЧ-влажометр // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2012. № 4. С. 78—80.

Информация об авторе

Трушкин Александр Николаевич, доцент, доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Information about the author

Alexander Trushkin, Associate Professor, Department of Radio Electronics and Telecommunications, Institute of Radio Electronics and Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.