

## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ВЛАЖНОСТИ ПРОДУКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Каландаров Палван Искандарович<sup>1</sup>, Олимов Ориф Носирович<sup>2</sup>,  
Икрамов Гани Икрамович<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» г.Ташкент, Республика Узбекистан  
[eest\\_uz@mail.ru](mailto:eest_uz@mail.ru)

[https://orcid.org/ \(0000-0002-8199-7484\)](https://orcid.org/0000-0002-8199-7484)

<sup>2</sup>Джизакский политехнический институт, г.Джизак, Республика Узбекистан  
[Olimovorif1968@gmail.com](mailto:Olimovorif1968@gmail.com)

<sup>3</sup>Республиканский проектный институт «Уз Инжиниринг» при Кабинете Министров Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан  
[gani.ikramov2022@mail.ru](mailto:gani.ikramov2022@mail.ru)

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы влияния различных мешающих факторов на результат измерения массового отношения влажности диэлькометрическим способом на основе сверхвысококачественного метода. Анализируется состояние выбора метода и приборного обеспечения для контроля влажности в технологических процессах переработки зерна на предприятиях агропромышленного комплекса. Обсуждаются результаты проведенных экспериментальных исследований измерения массового отношения влажности зерна пшеницы, направленные на установления диапазона измерения, в котором функция преобразования «затухание-влажность» подчинялась линейному закону.

Описывается номинальная статистическая характеристика преобразования для зернопшеницы, отражены предел допускаемых значений систематической составляющей погрешности и среднее квадратическое отклонение.

Анализируются систематические и случайные погрешности учитывая влияния всех мешающих факторов на основе однопараметрического метода измерения затухания электромагнитной волны. Даны соответствующие рекомендации по компенсации влияния мешающих факторов на результат измерения и точности при разработке измерительных устройств основанные на методе СВЧ.

**Ключевые слова:** зерно-пшеница, измерение, мешающие факторы, влажность, измерительное устройство, АПК, СВЧ метод.

**Для цитирования:** Каландаров П.И., Олимов О.Н., Икрамов Г.И. Анализ факторов, влияющие при измерении влажности продуктов агропромышленного комплекса К / Каландаров П.И., Олимов О.Н., Икрамов Г.И. // Агрофорсайт. 2022. № 2 — Саратов: ООО «ЦеСАин», 2022. – 2 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.

**Благодарности:** -----

**Финансирование:** исследование проводилось за счет собственных средств

© Каландаров Палван Искандарович,  
Олимов Ориф Носирович,  
Икрамов Гани Икрамович

**ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE MEASUREMENT OF MOISTURE  
OF PRODUCTS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

**<sup>1</sup>Kalandarov Palvan Iskandarovich, <sup>2</sup>Olimov Orif Nosirovich, <sup>3</sup>Ikramov Gani  
Ikramovich**

<sup>1</sup>National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers", Tashkent, Republic of Uzbekistan

[eest\\_uz@mail.ru](mailto:eest_uz@mail.ru)

[https://orcid.org/ \(0000-0002-8199-7484\)](https://orcid.org/0000-0002-8199-7484)

<sup>2</sup>Jizzak Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan

Olimovorif1968@gmail.com

<sup>3</sup>Republican Design Institute "Uz Engineering" under the Cabinet of Ministers of the Republic  
of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

[gani.ikramov2022@mail.ru](mailto:gani.ikramov2022@mail.ru)

**Annotation**

*The article deals with the influence of various interfering factors on the result of measuring the mass ratio of humidity in a dielectric way based on the ultrahigh-frequency method. The state of choice of method and instrumentation for humidity control in the technological processes of grain processing at enterprises of the agro-industrial complex is analyzed. The results of experimental studies of measuring the mass ratio of moisture of grain-wheat, aimed at establishing a measurement range in which the function of the "attenuation-humidity" transformation obeyed the linear law, are discussed.*

*The nominal statistical characteristics of the transformation for wheat grain are described, the limit of permissible values of the systematic error and the standard deviation are reflected.*

*Systematic and random errors are analyzed, considering the influence of all interfering factors on the basis of a single-parameter method for measuring the attenuation of an electromagnetic wave. Appropriate recommendations are given to compensate for the influence of interfering factors on the measurement result and accuracy in the development of measuring devices based on the microwave method.*

**Keywords:** grain-wheat, measurement, interfering factors, humidity, measuring device, agro-industrial complex, microwave method.

**For citation:** Kalandarov P.I., Olimov O.N., Ikramov G.I. Analysis of factors affecting the measurement of moisture of products of the agro-industrial complex K / Kalandarov P.I., Olimov O.N., Ikramov G.I. Agroforce. 2022. No 2 — Saratov: LLC "Cesain", 2022. – 2 electron. wholesale. Disc (CD-ROM). - Zagl. with disc label.

**Acknowledgements:** -----

**Funding:** the study was conducted at its own expense

© Kalandarov Palvan Iskandarovich, Olimov  
Orif Nosirovich, Ikramov Gani Ikramovich

### **Введение**

Современный агропромышленный комплекс (АПК) характеризуется высоким уровнем технического развития, сложным комплексом материальных, энергетических и трудовых ресурсов. Технический прогресс в АПК диктует необходимость создания агрегатов и линий большой единичной мощности, реализация безотходных энергосберегающих и экологически сбалансированных технологических схем.

Осуществляемая на предприятиях АПК централизация средств автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, блокировки и сигнализации создает благоприятные условия для реализации автоматизированной системы управления технологическими процессами. Исходя из этих условий материалы АПК должны осуществляться контролю и соответствовать как по качеству, так и по установленному государственным стандартам.

Рассмотрим некоторые продукты АПК, как объекты контроля и их регулирования по основному информативному параметру - влажности.

**Зерно-пшеница.** Одним из основных технологических параметров качества зерна является его влажность. На зерноперерабатывающие предприятия зерно после их сбора поступает прямо на заготовительные пункты, где хранят определенное время. Зерно является гигроскопичным материалом, который абсорбирует в себя влагу. При их транспортировке, а также хранения в зернохранилищах и их недостаточный контроль приводит к значительным потерям. Известно, что снижение качества зерна при длительном хранении с повышенной влажностью, в первую очередь приводит к потери массы в результате повышения интенсивности дыхания, а также в свою очередь приводит к развития плесени и зерновых вредителей, более важным наблюдается тенденция их слеживания, самосогревания и прорастания. В технологических процессах при их переработке повышенная влажность зерна затрудняет его размол и просеивание продуктов переработки, а также ухудшает свойства зерноматериалов, снижает производительность оборудования.

Для решения этих проблем, предприятиям АПК требуется устройства для экспрессного измерения влажности зерна как в полевых условиях, так и при хранении и промышленной переработки. Эти устройства должны быть приспособлены для работы в условиях наличия агрессивных сред, высоких давлений и температур, и получать первичную информацию для контроля автоматического систем должны получать из сырьевой зоны, т.е. с полей или сырьевых площадок предприятий. Измерительные средства необходимы для этого, должны быть приспособлены для функционирования под открытым небом, в любую погоду и во все время года.

Однако, в настоящее время отсутствует единая серия, измерительных приборов контроля влажности, обладающих приемлемыми типами размерами, и охватывающих все условия измерения, встречающиеся в практике производства

агропромышленного комплекса. Такое положение объясняется тем, что отличительные признаки различных условий измерения влажности зерна не проанализированы и не систематизированы. Методически не отработан единый подход к различным принципам построения измерительных приборов контроля влажности для зерна и продуктов их промышленной переработки с целью определения общих для всех разновидностей приборов параметров, облегчающих выбор и рекомендации для работы в конкретных технологических условиях [1].

## Материалы и методы

Результаты опроса специалистов и НИИ и проектно-конструкторских организаций, а также обследование ряда зерноперерабатывающих предприятий Республики Узбекистан позволили нам систематизировать технические требования, предъявляемые предприятиями к автоматическим приборам контроля влажности зерна и зерноматериалам. Были проанализированы относительные распределения сыпучих средств по пределам колебания их влажности, по диапазонам измерения, по колебаниям их температуры, а также влияния на измерение массового отношения влаги влияния неоднородности, засоренности, концентрации электролитов, масличности образца, а также по плотности, рассеяния электромагнитной волны на включениях, к исследуемым материалам.

Для измерения влажности зерна и зерноматериалов на практике используется несколько методов, среди них прямые и косвенные методы.

Влажность материала ( $W$ ) определяется как отношение массы воды в контролируемом объеме ( $M_B$ ) к всей массе этого объема ( $M_M$ ):

$$W = \frac{M_B}{M_M} = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot W_{Bi}}{\sum_{i=1}^n \cdot M_{Mi}} \quad (1)$$

где:  $M_{Mi}$  - масса  $i$ -ой компоненты,  $M_{Bi}$  - масса воды в  $i$ -ой компоненте,  $n$  - количество компонент материала.

Превалирующим методом прямых измерений влажности зерна является термогравиметрический метод. Он также является основным для оценки погрешности косвенных методов измерения. Среди косвенных методов измерения массового отношения влажности можно отнести: метод инфракрасного излучения, действие которых основано на сравнении двух световых потоков, опорного и измерительного прошедшего контролируемый материал. Нейтронный метод. Разновидность метода основана на измерении отношения плотностей потоков тепловых нейтронов к над тепловым или на измерении плотностей потоков тепловых нейтронов на двух различных расстояниях от источника. Кондуктометрический и диэлькометрический методы. Данные методы основаны на электропроводности материала. Среди них можно описать высокочастотные (ВЧ) методы измерения влажности, у которого



частота до  $3 \cdot 10^7$  Гц, и сверхвысокочастотный с частотой до  $3 \cdot 10^{10}$  Гц.

Сверхвысокочастотный метод основан на зависимости диэлектрических характеристик исследуемого материала от его влажности [2]. Он по существу является разновидностью диэлькометрического метода, сохраняет его основные достоинства и имеет перед ним некоторые преимущества. Это значительно большая чувствительность к влажности материала, чем к другим его параметрам, что обусловлено явлением резонансного поглощения электромагнитной волны молекулами воды в СВЧ-диапазоне [3]. Исследование и анализ современных физических методов измерения влажности привели к выводу, что для сыпучих твердых материалов как зерно-пшеница наиболее перспективным является сверхвысокочастотный метод, основанный на взаимодействии радиоволн СВЧ с влагосодержащим твердым сыпучим материалом [4].

### Результаты

Анализ наших исследований в области высокочастотной и сверхвысокочастотной влагометрии измерения влажности зерна и зерноматериалов и разработки на их основе измерительных приборов контроля влажности важное значение имеет изучить основные зависимости параметров электромагнитного поля от влажности исследуемого материала. При этом, необходимо выбор числа измеряемых параметров объекта исследования, обеспечивающих максимальную точность определения искомой величины.

Основным критерием оптимальности является: минимизация числа параметров, наиболее чувствительных к измеряемой величине, и технический уровень развития современной электронной базы, на основе которой возможна реализация метода.

При СВЧ методе зависимости ослабления и фазового сдвига от влажности является основными и используется для градуировки СВЧ – влагомеров, а также для оценки влияния мешающих факторов на результат измерения влажности этого метода.

В общем случае величина ослабления  $A$  СВЧ энергии в зерне может быть представлена семейством характеристик

$$A = f(W, m, l, t, z, \dots k) \quad (2)$$

Где  $W$  – массовое отношение влаги зерна,  $m$  – масса материала,  $l$  – толщина материала,  $t^\circ$  – температура  $z$  - засоренность,  $k$  – концентрация электролитов. Обработка результатов анализов применяли непосредственные измерения, содержащие несколько неизвестных. Погрешность измерения  $\delta$ , которых в общем виде можно представить уравнением

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{df}{dx_1} \delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_2} \delta_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{df}{dx_n} \delta_{x_n}\right)^2} \quad (3)$$

В связи с тем, что в (2) суммируются квадраты величин, то при заметной разнице значений результат будет определяться наибольшими членами этого выражения. Поэтому при косвенных измерениях необходимо правильно выбрать точность измерений отдельных составляющих, от которых зависит измеряемая величина.

Помещенная в переменное электромагнитное поле молекула воды начинает колебаться, разворачиваясь вдоль силовых линий (дипольная поляризация), что приводит к ослаблению (поглощению) электромагнитного импульса. Так, 1 см воды ослабляет радиоволновой сигнал (в СВЧ-диапазоне) в 10000 раз, ослабление зависит от влажности материала и выражается формулой [5]

$$N = 8,68 \cdot \alpha_v \cdot W \cdot \rho \cdot k \cdot D + |\Gamma|. \quad (4)$$

Где  $\alpha_v$  – коэффициент затухания воды, дБ/м;  $W$  – влажность;  $D$  – толщина исследуемого материала, м;  $k$  – эмпирическая константа, м<sup>3</sup>/кг;  $\rho$  – плотность влажного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $|\Gamma|$  – модуль коэффициента отражения на разделе границ «материал–воздух»

Уравнение регрессии для зерна и зерноматериалов имеет вид

$$W = a_1 N^2 + a_2 N + a_3 \quad (5)$$

Где  $W$  – влажность зерна, %,  $N$  – среднее значение уровня информативного сигнала, мА,  $a_1, a_2, a_3$  – постоянные коэффициенты.

Экспериментальные исследования зависимости ослабления электромагнитной волны от массового отношения влаги зерна-пшеницы. Для того, чтобы определить, какую информацию несет электромагнитная волна и как её можно использовать для изучения и оценки электрических характеристик зерна-пшеницы необходимо в реальном диапазоне массового отношения влажности исследовать функциональную зависимость затухания от массового отношения влажности. На данном этапе исследовался однопараметровым метод измерения, для его реализации был испытан СВЧ влагомер, структурная схема представлена на рис.1.

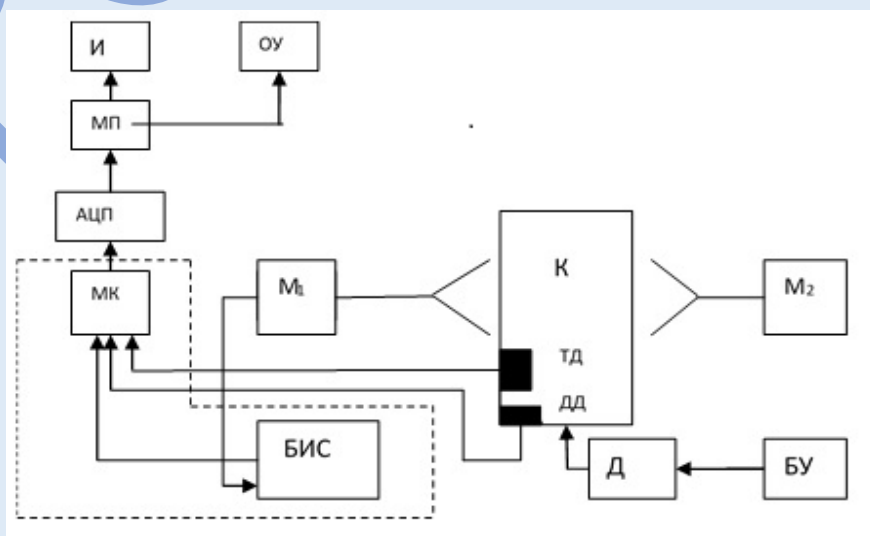


Рис.1. Структурная схема СВЧ-влажномера

Влагомер построен по блочно-модульному принципу. Кювету (К) с образцом вращает вокруг вертикальной оси шаговый двигатель (Д), который управляется блоком управления (БУ). Сигналы с  $M_1$  и  $M_2$  (СВЧ модули) и датчиков температуры (ДТ) и давления (ДД) поступают на базовую измерительную схему (БИС), здесь сигналы ослабления, фазового сдвига СВЧ волны, температуры и давления образца формируются на стандартные сигналы для сопряжения с микроконтроллером (МК), с которого сигнал, соответствующий измеряемой величине подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Микропроцессор (МП) выполняет все вычислительные операции. После вычисления полинома определяется влажность материала и в цифровом виде выводится на индикатор (И) и подается на регулирование объекта управления (ОУ). [6]

На основе теоретических исследований был сделан вывод, что в общем ходе логистической кривой имеется участок с линейной зависимости затухания электромагнитной волны от массового отношения влаги зерна. Исследования были направлены с целью установления диапазона измерения, в котором функция преобразования «затухание-влажность» подчинялась линейному закону. При этом, в области низких (6-8%) и в области высоких (свыше 20%) значений массового отношения влажности зависимость  $A = f(W)$  нелинейная. Номинальная статистическая характеристика преобразования для зерно-пшеницы  $A = -3,0 + 2,24W + 0,00W^2$  предел допускаемых значений систематической составляющей погрешности не более 1,0 % (абс.), среднеквадратическое отклонение не более 0,5% (абс.).

Учитывая, что ГОСТ 13586.3-2015 – Зерно. Правила приемки и методы отбора проб, а также ГОСТ 13586.5-2015- Зерно. Метод определения влажности [7], влагомеры диэлькометрические утвержденного типа по [ГОСТ 29027](#), обеспечивающие измерение влажности зерна в диапазоне от 5% до 40% с абсолютной погрешностью, не более:  $\pm 1,0\%$  в диапазоне измерения влажности зерна до 17,0% включительно;  $\pm 1,5\%$  в диапазоне измерения влажности зерна свыше 17,0%. то на данном этапе исследований с целью упрочения конструкции влагомера и алгоритма обработки информации, диапазон измерения был ограничен пределами от 5-20%.

После выбора диапазона измерения определялась инструментальная погрешность влагомера как средства измерения затухания электромагнитной волны. Это показатель не превышал 1,3% (отн.). Максимальная погрешность измерения массового отношения влажности в диапазоне от 9-18,5% в среднем не превышает  $\pm 0,8\%$  (абс.).

Дальнейшие исследования погрешности учитывая влияния всех мешающих факторов (температуры, засоренности, плотности и др.) на основе однопараметрического метода измерения затухания электромагнитной волны в

диапазоне температур +10 +30 °С и засоренности до 5%, не превышает  $\pm 1,0\%$  (абс.) [8].

### **Обсуждение**

Ограничение возможности массового отношения влажности зерна высокочастотные методы и приборы синтезированные на основе ёмкостного способа измерения влажности привели к необходимости разработки приборов измерения влажности на основе метода СВЧ.

Несмотря на различия в частотном спектре (высокочастотные методы до  $3 \cdot 10^7$  Гц, СВЧ методы до  $3 \cdot 10^{10}$  Гц), при обоих методах измерения диэлектрические параметры обезвоженных веществ и материалов составляющих объект измерения, примерно одинаковы. Сказанное выше можно отнести и к широкому классу жидких неполярных диэлектриков. Многочисленные измерения подтверждают это [9, 10].

Одинаковые уникальные свойства воды, обусловлены её высокой диэлектрической проницаемостью и наличием максимума потерь СВЧ диапазоне, стимулировали развитие СВЧ метода измерения массового отношения влажности для сыпучих материалов [11-25].

Выбор диапазона для целей точного контроля влажности зависят от диэлектрических свойствам воды, определяющими высокую чувствительность метода к содержанию влаги при минимальном влиянии «неинформативных» мешающих факторов, так и рядом других преимуществ: быстротой, бесконтактность, большой информационной емкостью, экологической безопасностью, простота технических решений, высокая чувствительность и широкий динамический диапазон, возможность работы в условиях запыленности, а также простотой и дешёвизной аппаратуры [26]. К недостаткам следует отнести различные влияние на измеряемый параметр, в т.ч. толщины слоя, плотности пробы и температуры исследуемого материала.

Для измерительных приборов влажности основанных на методе СВЧ, мощность генератора не превышает 20...50 мВт, что ухудшает отношение сигнал/шум при измерении больших влажностей и ограничивает предельную толщину слоя исследуемого материала. Однако, решение этих проблем основываются применением микропроцессоров позволяющие использовать весьма сложные алгоритмы компенсации мешающих факторов, в результате чего упрощаются первичные измерительные преобразователи, создается реальная предпосылка для их унификации.

Приборы измерения влажности зерна основанные на методе СВЧ широкое применение нашли в зерноперерабатывающей промышленности [27]. Из числа сверхвысокочастотные приборов контроля влажности зерна и зернопродуктов используемые в зерноперерабатывающих предприятиях стран СНГ можно



перечислить ВСКМ-12, ВЗК-2, ПВЗ-10Д, ВЗПК-1, ЦВЗ-3, АТПАЗ, "Колос", ИПМ, «Роса», а также зарубежных стран СВЧ влагомер-прибор измерения влажности в потоке MW 3200, производитель: (TEWS Elektronik GmbH & Co. KG), Hydrotesh (фирма Legg), Gac-11 (фирма Dick-ejohn), Aquasearch-600 (фирма Kett). Aquasearch-600 (фирмы Kett, Япония), Grainmaster (Великобритания), Dj FMT (фирма Dickey-john, США), Wille-55 (Финляндия) и другие. Основной парк экспресс - влагомеров зарубежных фирм составляют диэлькометрические ВЧ и СВЧ приборы [6, 27, 28, 29].

### **Выводы**

Зерно-пшеница представляет собой сложную гетерогенную среду, для определения массового отношения влажности, которого на всех этапах технологического процесса приемки, хранения и промышленной переработки применяется стандартный термогравиметрический метод. Однако, из-за массы представительности анализируемой пробы значительно малы, то этот метод не может быть использован в качестве экспрессности как в дискретном режиме, так и в поточных системах.

Теоретические и экспериментальные исследования подтверждают, что, обезвоженном состоянии контролируемые материалы не обнаруживают частотных и температурных аномалий, а плотность влияет на диэлектрическую проницаемость в соответствии с теорией смесей, можно считать, что наблюдаемые зависимости присущи воде [30-35].

Изучение влияние различных мешающих факторов на СВЧ влагомеров, способных работать в сложных эксплуатационных условиях, является одной из актуальных проблем. На основе выполненных анализа влияния мешающих факторов на результат измерения СВЧ методов влагометрии, для этих целях рекомендуется контроль влажности среднedisперсных материалов, куда можно отнести зерно-пшеница, у которых знак температурной ошибки зависит от влагосодержания. Если для дискретных приборов измерений влажности это затруднение удастся обойти, то для технологических процессов, приходится сужать динамический диапазон по влажности, это в свою очередь представляет определенные трудности.

Методы СВЧ чувствительные для разработки на их основе методик оценки влажности моносорбции в органических и неорганических материалах.

Положительной является общая тенденция комплексного подхода к проблеме - разработка метода, всесторонняя метрологическая оценка, создание средств поверки, разработка опытного образца, с учетом компенсации влияния мешающих факторов, тщательная производственная проверка и проведения научно-исследовательские и *опытно-конструкторские работы*.

**Список источников**

1. Каландаров П.И. Контроль влажности агропромышленных продуктов на основе сверхвысокочастотного метода / Каландаров П.И. // Приборы. №4, 2021. С.6-10.
2. Берлинер М.А. Измерения влажности / Берлинер М.А.// М.: Энергия,1973. – 400 с.
3. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин / Зайдель А.Н.// Л.: Наука, 1974.108 с.
4. Кричевский Е.С., Волченко А.Г. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Кричевский Е.С., Волченко А.Г. М.: Энергоатомиздат, 1980. – 165 с.
5. Буянтуев, В.П. СВЧ влагометрия зерновых культур/ Буянтуев, В.П., Шиян//. Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С. 36-40.
6. Лисовский, В. В. Микроволновой контроль влажности в технологических процессах АПК / В. В. Лисовский, И. А. Титовицкий. Минск. БГАТУ, 2013. – 399 с.
7. ГОСТ 13586.3-2015 – Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. ГОСТ 13586.5-2015- Зерно. Метод определения влажности.
8. П.И.Каландаров. Сушка и контроль влажности зерна и зернистых материалов // П.И.Каландаров, П.М.Матякубова, Р.Т.Газиева. Монография. Ташкент. 2020. 179 с.
9. Кричевский, Е.С. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Кричевский, Е.С., Бензарь, В.К., Венедиктов, М.В. // М.: "Энергия", 1980. 240 с.
10. Федоткин И.М. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности // Федоткин, И.М., Клочков В.П. «Техника», 1974, 320 с.
11. Каландаров П.И. Научные основы влагометрии / Каландаров П.И., Логунова О.С., Андреев С.М// Монография. Ташкент. 2021. 174 с.
12. Петров, Г.П. Современное российское оборудование для определения влажности сельскохозяйственной продукции / Г.П. Петров // Хлебопродукты. 2018. № 12. С. 22–25.
13. Микроволновая термовлагометрия / П. А. Федюнин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2004. – 230 с.
14. Кричевский, Е. С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых/ Кричевский Е.С.// М.: Недра, 1972. – 216 с.
15. Каландаров, П. И. Сверхвысокочастотная влагометрия и проблемы метрологического обеспечения / П. И. Каландаров, П. Р. Исматуллаев. – М.: Приборы № 7. – 2011. – С. 40–44.
16. Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве [Текст] И.Ф. Бородин. М.: Книжный мир, 2012. 56 с
17. Клоков Ю.В. Теория удаления влаги. О нагреве пищевых продуктов в ЭМП СВЧ «объемно» // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. N7. С. 29-31
18. Jomeh Z.E., Askari G.R. Microwave Drying, as Against Cjmbined Method of Drying Sliced Apple. Iran journal of agricultural sciences. 2004. Vol. 35. N3. 777-785.
19. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z., Abdullaev, K., ...Toshpulatov, N., Khushiev, S. Study on microwave moisture measurement of grain crops  
IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012091  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_96)
20. Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Avezov N. E., Abdullaev H.H. Information and measurement control systems for technological processes in the grain processing industry. 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 2021, pp. 1-5.  
<https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670425>.
21. Kupfer K, editor. Electromagnetic aquametry. Electromagnetic wave interaction with water and moist substances. Berlin: Springer; 2005. 530 p. DOI: 10.1007/b137700.

22. Kalandarov, P.I. Estimate of Precision of Thermogravimetric Method of Measuring Moisture Content: Estimate of Precision and Effectiveness Gained with the Use of the Method in the Agro-Industrial Complex Measurement Techniques, 2021, 64(6), стр.522-528  
<https://doi.org/10.1007/s11018-021-01963-9>
23. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies. Measurement Techniques, 2013, 56(7), стр. 827–830  
<https://doi.org/10.1007/s11018-013-0290-2>
24. Kalandarov, P.I., Iskandarov, B.P. Physicochemical measurements: Measurement of the moisture content of brown coal from the angrensk deposit and problems of metrological assurance. Measurement Techniques, 2012, 55(7), стр. 845–848 <https://doi.org/10.1007/s11018-012-0049-1>
25. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z.M., Nigmatov, A.M. Automatic Devices for Continuous Moisture Analysis of Industrial Automation Systems Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2022, стр. 810–817 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_96)
26. Доненко, А.П. Сравнение результатов анализа влажности зерна риса в процессе сушки по ГОСТ 26312.7-88 и с помощью влагомера зерна Pfeuffer // А. П. Доненко, Т. Г. Короткова. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. // Кубанский гос. технол. ун-т. 2016. № 5-6. С. 70-73.
27. Васильев, С. И. СВЧ-влагомер / С. И. Васильев, С. С. Нугманов, Т. С. Гриднева // Сельский механизатор. – 2014. – №10(68). – С. 28-29
28. Serdyuk VM. Exact solutions for electromagnetic wave diffraction by a slot and strip. AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2011;65(3):182–189. DOI: 10.1016/j.aeue.2010.04.002.
29. L.F. Chen, N.Ê. Ong, N.Ð. Neo, Microwave Electronics Measurement and Materials Characterization (Southern Gate: John Wiley & Sons Ltd: 2004).
30. Каландаров П.И. Особенности автоматизированного измерения влажности зерновых культур в полевых условиях / Каландаров П.И., Макаров А.М., Аралов Г.М. // [Известия Волгоградского государственного технического университета](#). №1 (248). 2021. С. 60-63.  
DOI: [10.35211/1990-5297-2021-1-248-60-63](https://doi.org/10.35211/1990-5297-2021-1-248-60-63)
31. Каландаров П.И. Термогравиметрический метод измерения влажности: оценка точности и эффективность применения в агропромышленном комплексе/ Каландаров П.И. //Метрология. 2021. № 2. С. 44-62.
32. Kalandarov P.I. Design of grain humidity control devices for milles, technical Science and Innovation / Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Logunova O.S. 2021. № 2. С. 227.
33. Искандаров Б.И. Анализ влияния факторов на результат измерений влажности материала на высоких частотах. / Искандаров Б.И., Каландаров П.И. // Измерительная техника. 2013. № 7. С. 64.
34. Yu Narkevich, M., Logunova, O.S., Kalandarov, P.I., ...Yu Romanov, P., Khushiev, S. Results of experimental tests of building samples IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012031 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/939/1/012031>
35. Aluf O. Microwave RF Antennas and Circuits: Nonlinearity Applications in Engineering. Springer International Publishing, Switzerland, 2017. -1060.

#### References

1. Kalandarov P.I. Control of humidity of agro-industrial products on the basis of the ultra-high-frequency method / Kalandarov P.I. // Pribory. No4, 2021. P.6-10.
2. Berliner M.A. Measurements of humidity / Berliner M.A.// М.: Energia, 1973. – 400 p.

3. Zaydel A.N. Errors of measurements of physical quantities / Zaydel A.N.// L.: Nauka, 1974.108 p.
4. Krichevsky E.S., Volchenko A.G. Control of humidity of solid and bulk materials / Krichevsky E.S., Volchenko A.G. M.: Energoatomizdat, 1980. – 165 p.
5. Buyantuev, V.P. Microwave moisturemetry of grain crops / Buyantuev, V.P., Shiyan // Bulletin of Science of Siberia. 2012. № 5 (6). S. 36-40.
6. Lisovsky, V. V. Microwave humidity control in technological processes of the agro-industrial complex / V. V. Lisovsky, I. A. Titovitsky. Minsk. BGATU, 2013, – 399 p.
7. GOST 13586.3-2015 – Grain. Acceptance rules and sampling methods. GOST 13586.5-2015- Grain. Method for determining humidity.
8. P.I.Kalandarov. Drying and moisture control of grain and granular materials // P.I.Kalandarov, P.M.Matyakubova, R.T.Gaziyeva. Monograph. Tashkent. 2020. 179 s.
9. Krichevsky, E.S. Theory and practice of express control of humidity of solid and liquid materials / Krichevsky, E.S., Benzar, V.K., Venediktov, M.V. // M.: "Energy", 1980. 240 s.
10. Fedotkin I.M. Physical and technical foundations of moistureometry in the food industry // Fedotkin, I.M., Klochkov V.P. "Technics", 1974, 320 p.
11. Kalandarov P.I. Nauchnye osnovy vlagometry / Kalandarov P.I., Logunova O.S., Andreev S.M// Monografiya. Tashkent. 2021. 174 s.
12. Petrov, G.P. Modern Russian equipment for determining the humidity of agricultural products / G.P. Petrov // Khleboproducts. 2018. № 12. pp. 22–25.
13. Microwave thermovlagometry / P. A. Fedyunin [i dr.]. – M.: Mashinostroenie, 2004. – 230 p.
14. Krichevsky, E. S. High-frequency control of humidity in the enrichment of minerals / Krichevsky E. S.// M.: Nedra, 1972. – 216 p.
15. Kalandarov, P. I. Super-high-frequency moisture-measuring and problems of metrological provision / P. I. Kalandarov, P. R. Ismatullaev. – M.: Pribory No 7. – 2011. pp. 40–44.
16. Borodin I.F. Application of microwave energy in agriculture [Text] I.F. Borodin. M.: Knizhnyi mir, 2012. 56 s
17. Klovov Yu.V. Theory of moisture removal. On the heating of food products in EMF microwave "volume" // Storage and processing of agricultural raw materials. 2003. N7. A. 29-31
18. Jomeh Z.E., Askari G.R. Mcrowave Drying, as Against Cjmbined Method of Drying Sliced Apple. Iran journal of agricultural sciences. 2004. Vol. 35. N3. 777-785.
19. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z., Abdullaev, K., ... Toshpulatov, N., Khushiev, S. Study on microwave moisture measurement of grain crops  
IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012091  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_96)
20. Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Avezov N. E., Abdullaev H.H. Information and measurement control systems for technological processes in the grain processing industry. 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 2021, pp. 1-5.  
<https://doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670425>.
21. Kupfer K, editor. Electromagnetic aquametry. Electromagnetic wave interaction with water and moist substances. Berlin: Springer; 2005. 530 p. DOI: 10.1007/b137700.
22. Kalandarov, P.I. Estimate of Precision of Thermogravimetric Method of Measuring Moisture Content: Estimate of Precision and Effectiveness Gained with the Use of the Method in the Agro-Industrial Complex Measurement Techniques, 2021, 64(6), pp.522-528  
<https://doi.org/10.1007/s11018-021-01963-9>



23. Iskandarov, B.P., Kalandarov, P.I. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies. *Measurement Techniques*, 2013, 56(7), pp. 827–830  
<https://doi.org/10.1007/s11018-013-0290-2>
24. Kalandarov, P.I., Iskandarov, B.P. Physicochemical measurements: Measurement of the moisture content of brown coal from the angrensk deposit and problems of metrological assurance. *Measurement Techniques*, 2012, 55(7), pp. 845–848 <https://doi.org/10.1007/s11018-012-0049-1>
25. Kalandarov, P.I., Mukimov, Z.M., Nigmatov, A.M. Automatic Devices for Continuous Moisture Analysis of Industrial Automation Systems *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2022, pp. 810–817 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_96)
26. Donenko, A.P. Comparison of the results of the analysis of the moisture content of the grain of rice in the process of drying according to GOST 26312.7-88 and with the help of a grain moisture meter Pfeuffer // A. P. Donenko, T. G. Korotkova. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Food technology. Kuban state. technol. un-t.* 2016. № 5-6. S. 70-73.
27. Vasil'ev, S. I. SVCH-vlagomer / S. I. Vasil'ev, S. S. Nugmanov, T. S. Gridneva // *Sel'skii mekhanizator.* – 2014. – №10(68). – P. 28-29
28. Serdyuk VM. Exact solutions for electromagnetic wave diffraction by a slot and strip. *AEU – International Journal of Electronics and Communications*. 2011;65(3):182–189. DOI: 10.1016/j.aeue.2010.04.002.
29. L.F. Chen, N.Ê. Ong, N.Đ. Neo, *Microwave Electronics Measurement and Materials Characterization* (Southern Gate: John Wiley & Sons Ltd: 2004).
30. Kalandarov P.I. Features of automated measurement of moisture of grain crops in field conditions / Kalandarov P.I., Makarov A.M., Aralov G.M. // [Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta](http://Izvestiya_Volgogradskogo_gosudarstvennogo_tekhnicheskogo_universiteta). No1 (248). 2021. S. 60-63.  
DOI: [10.35211/1990-5297-2021-1-248-60-63](https://doi.org/10.35211/1990-5297-2021-1-248-60-63)
31. Kalandarov P.I. Thermogravimetric method of measuring humidity: assessment of accuracy and efficiency of application in the agro-industrial complex / Kalandarov P.I. // *Metrology*. 2021. № 2. A. 44-62.
32. Kalandarov P.I. Design of grain humidity control devices for milles, technical Science and Innovation / Kalandarov P.I., Mukimov Z.M., Logunova O.S. 2021. № 2. A. 227.
33. Iskandarov B.I. Analysis of the influence of factors on the result of measurements of material moisture at high frequencies. / Iskandarov B.I., Kalandarov P.I. // *Measuring equipment*. 2013. № 7. p. 64.
34. Yu Narkevich, M., Logunova, O.S., Kalandarov, P.I., ... Yu Romanov, P., Khushiev, S. Results of experimental tests of building samples IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012031 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/939/1/012031>
35. Aluf O. *Microwave RF Antennas and Circuits: Nonlinearity Applications in Engineering*. Springer International Publishing, Switzerland, 2017. -1060.

**Информация об авторах:**

<sup>1</sup>**Каландаров Палван Искандарович**, академик Международной академии аграрного образования, доктор технических наук, профессор Национального исследовательского университета “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” г. Ташкент, Республика Узбекистан [eest\\_uz@mail.ru](mailto:eest_uz@mail.ru)

<sup>2</sup>**Олимов Ориф Носирович**, ассистент Джизакского политехнического института, г. Джизак, Республика Узбекистан [Olimovorif1968@gmail.com](mailto:Olimovorif1968@gmail.com)

<sup>3</sup>**Икрамов Гани Икрамович**, Заслуженный изобретатель Республики Узбекистан, заместитель бюро главного инженера, Республиканского проектного института «Уз Инжиниринг» при Кабинете Министров Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан, [gani.ikramov2022@mail.ru](mailto:gani.ikramov2022@mail.ru)

**Вклад авторов:**

**Каландаров Палван Искандарович** – научное руководство, концепция исследования темы; написание исходного текста, аннотации, обсуждение; итоговые выводы.

**Олимов Ориф Носирович** – участие в разработке темы, написание раздела результаты.

**Икрамов Гани Икрамович** – концепция исследования, написание раздела, введение, материалы и методы, доработка текста;

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:**

**The authors declare no conflicts of interests**

Статья поступила в редакцию 18.02.2022 г одобрена после рецензирования 15.02.2022 г; принята к публикации 15.02.2022 г

The article was submitted 18.02.2022 г; approved after reviewing 15.02.2022 г; accepted for publication 15.02.2021 г