

сейсмоактивних розривів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. – Нау201302278; заявл. 25.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16.

13. Анахов П. В. Підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій за рахунок енергії сейшів / П. В. Анахов // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №3(37). – С. 51-55.

References

1. Pat. 92416 Ukrajina, MPK (2009) G 01 F 23/00, G 01 F 23/28, G01F 23/296. Sposib kontrolju rivnja vody v vodojmi / V. G. Burachek, L. S. Mamontova, S. I. Slabak – № a2009 06035; zajavl. 11.06.2009; opubl. 25.10.2010. Bjul. №20.
2. Pat. 6,549,165 USA, Int.Cl. G 01 S 3/02, G 01 S 5/14. Ocean altimetry interferometric method and device using GNSS signals / M. Neira, P. C. Matellano, G. Ruffini; Assignee Agence Spatiale Europeene, France. – Appl. No. 09/766,455; Filed 19.01.2001; Date of Patent 15.04.2003.
3. Anahov P. V. Vykoristannja mikrosejsmoghennyh javyshh dlja rozvantazhenja tektonichnih napruzhen' / P. V. Anahov // Geofizicheskij zhurnal. – 2014. – T. 36, №5. – S. 128-142.
4. Azernikova O. A. Poverhnostnye i vnutrennie sejsmi ozera Sevan / O. A. Azernikova // Izvestija AN Armjanskoj SSR. Nauki o Zemle. – 1975. – №1. – S. 97-101.
5. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapoure: World Scientific Publ., 2009. – Pp. 193-236.
6. Solov'ev V. N. Sejsmi ozera Bajkala / V. N. Solov'ev, V. B. Shostakovich // Trudy Irkutskoj magnitnoj i meteorologicheskoy observatorii. – 1926. – Vyp. 1. – S. 58-64.
7. Smirnov S. V. Sejshevyje kolebanija Bajkala / S. V. Smirnov, K. M. Kucher, N. G. Granin, I. V. Sturova // Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana. – 2014. – T. 50, №1. – S. 105-116. DOI: 10.7868/S0002351513050040.
8. Pat. 82977 Ukrajina, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi / Anahov P. V. – Нау201301484; zajavl. 08.02.2013; opubl. 27.08.2013; Bjul. №16.
9. Pat. 90436 Ukrajina, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi / Anahova O. V. – Нау201315408; zajavl. 30.12.2013; opubl. 26.05.2014; Bjul. №10.
10. Sheriff R. Sejsmorazvedka. V dvuh tomah. T. 1 / R. Sheriff, L. Geldart. – M.: Mir, 1987. – 448 s.
11. Pat. 87564 Ukrajina, MPK G01V 1/00. Sposib mikrosejsmichnogo rozviduvannja / Anahov P. V. – Нау201310919; zajavl. 12.09.2013; opubl. 10.02.2014; Bjul. №3.
12. Pat. 83039 Ukrajina, MPK G01V 1/02. Sposib upravlinnja rjezhymom zmishhjen' u fragmjentah sjejsmoaktyvnyh rozryviv djeprjesijnoji zony vodoshovyshha / Anahov P. V. – Нау201302278; zajavl. 25.02.2013; opubl. 27.08.2013; Bjul. №16.
13. Anahov P. V. Pidvyshhennja vyrobittu potuzhnosti gidrojlektrostancij za rahunok jenjergiji sjejsiv / P. V. Anahov // Jenjergetyka: jekonomika, tjehnologiji, jekologija. – 2014. – №3(37). – S. 51-55.

Рецензія/Peer review : 12.1.2015 р.

Надрукована/Printed :23.1.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.317.365

Е.Г. ЛЕВЧЕНКО

Национальный авиационный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ВОЛН ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Предложен новый подход к созданию измерителей длин волн лазерного излучения, основанный на использовании связи длины световой волны с акустической частотой в дисперсионном резонаторе, содержащем акустооптический дефлектор, управляющий углом падения света на дифракционную решетку. Приведены схемы акустического взаимодействия для встроенного и автономного волномеров. Проанализированы возможности таких устройств, намечены пути улучшения их показателей.

Ключевые слова: лазерный волномер, акустооптическое взаимодействие, позиционно-чувствительный датчик.

E.G. LEVCHENKO

National aviation university

USING OF DISPERSIVE RESONATORS FOR LASER RADIATION WAVELENGTH MEASURING

The new approach to creating of laser radiating wavelength measurer is offered. It is based on using of light wavelength with acoustic frequency in dispersive resonator which contained acousto-optic deflector that operate the angle of the direction of light on diffraction grating. The schemes of acoustic interaction for inside and autonomous wavelength measurers are adduced. The possibilities of this devices are analyzed and the pathways to improving the indicators are marked.

Keywords: laser wavelength measurer, acousto-optic interaction, position sensitive data unit.

Введение

Создание лазеров с дисперсионными резонаторами и расширение набора активных сред позволило осуществить непрерывную перестройку длины волны излучения во всем оптическом диапазоне. Внедрение этих приборов повышает требования к созданию новых типов измерителей длин волн лазерного излучения, обладающих высокой точностью в широком спектральном диапазоне и способных работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Традиционные измерители, использующиеся в оптической спектроскопии, построены по принципу сравнения длины волны излучения с эталоном длины путем подсчета числа полос, на которое смещается интерференционная картина при перемещении одного из

зеркал интерферометра Майкельсона [1]. Разработанный для измерения длин волн излучения импульсных лазеров прибор ИДВ-3 [2], основанный на использовании нескольких интерферометров Физо с различными базами, не нашел широкого применения из-за низкого быстродействия (3 Гц), небольшого динамического диапазона ($P_{\max}/P_{\min} < 3$) и жестких требований к спектральному составу излучения ($\Delta\lambda < 10$ пм).

Другой путь основан на использовании связи длины волны с угловыми показателями в дисперсионных элементах, например, в дифракционной решетке. Поскольку в уравнение Брэгга наряду с углами падения и дифракции входит период решетки, то появляется возможность использовать также и эту связь для определения длины волны. Эта задача существенно облегчается при использовании акустооптических дефлекторов, где период звуковой решетки однозначно определяется значением звуковой частоты.

Цель работы

Улучшение показателей измерителей длин волн лазерного излучения, основанных на использовании дифракции световых волн на акустической решетке.

Схемы устройств и анализ их характеристик

Новый подход к решению поставленной задачи основан на использовании функциональной связи между длиной волны излучения и величиной управляющего сигнала в электронно-перестраиваемом лазере [3].

Рассмотрим схему лазера, в котором изменение угла падения излучения на дисперсионный элемент — дифракционную решетку (ДР), работающую в автоколлимационном режиме, осуществляется с помощью акустооптического дефлектора (АОД). В качестве материала АОД используется анизотропный кристалл парателлуриата TeO_2 , в котором падающая световая волна является необыкновенной, а дифрагированная — обыкновенной.

Дисперсионная система АОД-ДР резонатора показана на рис.1, где θ_1 и θ_2 — углы падения и дифракции на звуковой решетке, θ_ϕ и θ_{zp} — углы наклона векторов фазовой V_ϕ и групповой V_{gp} скоростей звука.

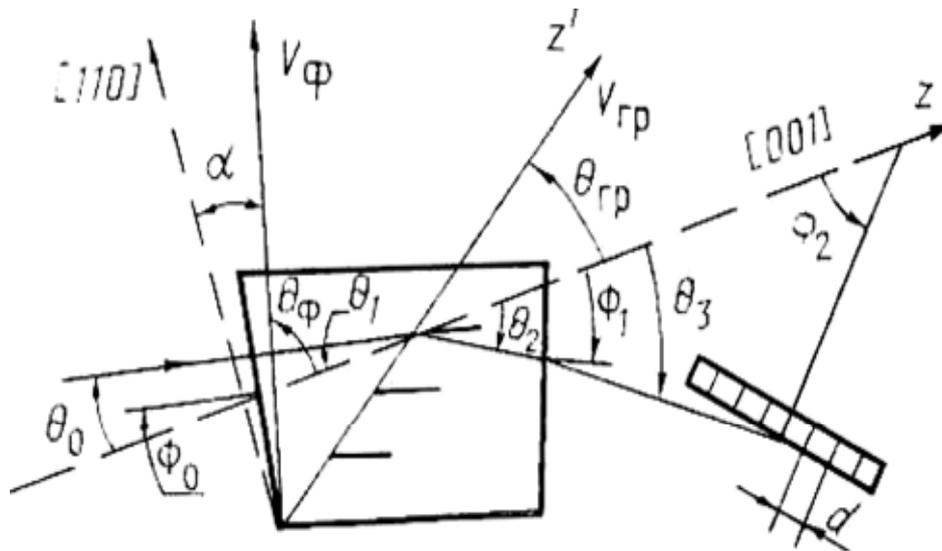


Рис.1. Дисперсионная система резонатора перестраиваемого лазера

На основании условий фазового синхронизма в [4] получено выражение, которое связывает длину волны излучения λ со звуковой частотой $F(\lambda)$.

$$\lambda = \frac{V_\phi}{F(\lambda)} \frac{n_0 \cos(\theta_2 - \theta_{zp}) - n(\theta_1) \cos \theta_1}{\cos(\theta_\phi - \theta_{zp})} \quad (1)$$

Угол θ_1 можно найти в результате совместного решения двух уравнений, одно из которых описывает закон преломления на входной грани кристалла (для этого нужно знать угол θ_0 падения пучка на кристалл и угол Φ_0 между нормалью к входной грани и осью z), а другое — эллипсоид индексов. Угловое положение пучка в пространстве между звуковой и дифракционными решетками (угол θ_2) определяется условием автоколлимационного отражения через угол Φ_2 между нормалью к ДР и осью z и законом преломления на выходной грани кристалла. Основная трудность при использовании этих выражений заключается в определении углов Φ_2 и θ_0 . Для их нахождения можно использовать калибровку по двум известным длинам волн и соответственно измеренным звуковым частотам.

Выражение [1] представляет собой трансцендентное уравнение, однако его использование не вызовет

затруднений, так как эта функция может быть просчитана заранее и протабулирована. Прделанные расчеты показали хорошее совпадение с экспериментальной кривой $\lambda(F)$, которая оказалась близка к линейной. Отклонение расчетной кривой от экспериментальной находится в пределах погрешностей определения углов Φ_2 и θ_0 , что заставляет обратить внимание на точность калибровки. Жесткие требования к точности калибровки и стабильности параметров резонатора обусловлены высокой крутизной зависимости λ от угловых параметров Φ_2 и θ_0 .

В схеме (рис.1) элементы АОД и ДР дисперсионного резонатора используются одновременно для управления длиной волны лазерного излучения и для ее измерения. Таким образом, система АОД-ДР представляет собой встроенный волномер импульсного перестраиваемого лазера. Изложенный принцип можно использовать также для построения автономного измерителя длин волн лазерного излучения [5]. Схема такого прибора изображена на рис. 2.

Устройство содержит последовательно расположенные оптическую систему формирования, включающую длительный кубик 1, оптико-электронную систему совмещения по направлению калибровочных и измерительного пучков, состоящую из объектива 2, в фокальной плоскости 3 которого расположен позиционно-чувствительный фотоприемник 4, соединенный с операционным усилителем 5 и регистрационным прибором 6, расширитель пучка излучения 7, за которым последовательно расположены акустооптический дефлектор 8, дифракционная решетка 9 и фотозлектрический регистратор, помещенный за фокусирующим объективом 10 в его фокальной плоскости 11. Регистратор состоит из позиционно-чувствительного приемника 12, электрически соединенного с операционным усилителем 13 и регистрирующим прибором 14. Устройство дополнительно содержит синтезатор частот 15 с блоками 16 плавной регулировки частоты и блоками 17 контроля длины волны излучения. Синтезатор 15 электрически соединен с акустооптическим дефлектором 8, а блок 16 плавной регулировки частоты соединен с операционным усилителем 13. В качестве приемника 12 может быть использована линейка позиционно-чувствительных приемников.

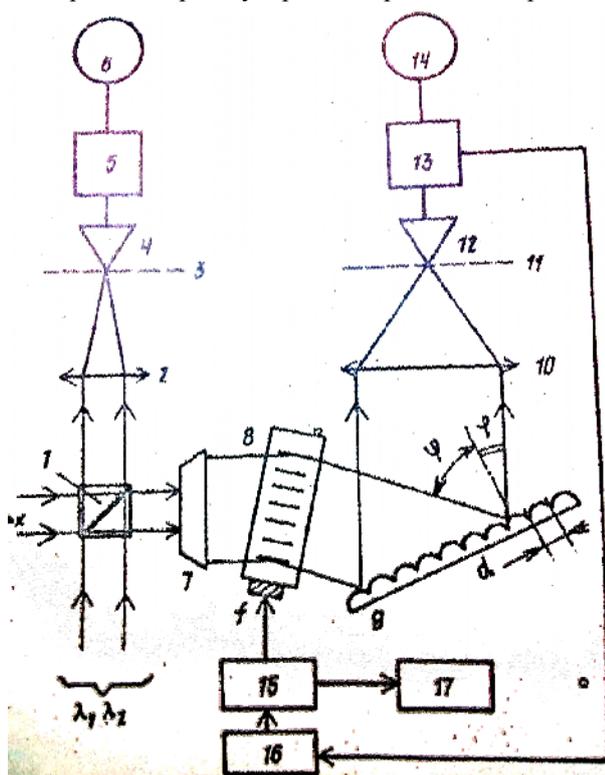


Рис.2. Оптическая схема измерителя

Устройство работает следующим образом. На этапе калибровки пучки излучения с известными длинами волн λ_1 и λ_2 совмещают по направлению с помощью системы элементов 2- 6, выполняющие функцию пространственно-углового фильтра, добиваясь одинакового сигнала с фотоприемника 4 на регистрирующем приборе 6. Затем расширенные телескопом пучки последовательно направляют на дифракционную решетку 9 через дефлектор 8. Дифрагированные пучки фиксируются фотозлектрическим регистратором (12-14). Контролируют частоты радиосигналов, управляющих дефлектором 8, при которых сигнал с приемника 12 на регистрирующем приборе 14 имеет одну и ту же величину. Параллельная информация об этом поступает с операционного усилителя 13 на блок 16 плавной регулировки частоты, прекращая перестройку синтезатора частот 15. В результате для излучения с длинами волн λ_1 и λ_2 обеспечивается постоянный угол дифракции и производится контроль угла падения на дифракционную решетку. Затем на светоделительный кубик 1 направляют пучок излучения с измеряемой длиной волны. Совмещают его по направлению с пучками λ_1 и λ_2 , используя систему элементов 2-6, а затем подбирают и фиксируют значения частоты радиосигнала, при которых пучок λ_x попадает точно на позиционно-чувствительный приемник 12. Разность значений частот однозначно связана с изменением угла отклонения, т.е. с изменением угла попадания каждого пучка на решетку, что позволит решить систему уравнений:

$$\lambda_1 = d(\sin \psi_1 + \sin \varphi) \quad (2)$$

$$\lambda_e = d(\sin \psi_2 + \sin \varphi)$$

$$\lambda_x = d(\sin \psi_x + \sin \varphi)$$

$$\psi_2 - \psi_1 = \psi_{21} \quad (3)$$

$$\psi_x - \psi_1 = \Delta \psi_{x1}$$

где ψ_1, ψ_2, ψ_x — углы падения световых пучков с длинами волны $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_x$, соответственно, на периодическую структуру;
 φ — углы дифракции световых пучков;
 d — период дифракционной решетки.

В системе (2), (3) величины d, λ_1, λ_2 известны, значения углов $\Delta\psi_{21}, \Delta\psi_{x1}$ определяют в процессе измерений. Неизвестными остаются величины $\varphi, \psi_x, \lambda_1$. Решение системы осуществляет блок 17 контроля длины волны излучения, который выдает значения λ_x .

Как отмечалось, важным показателем ИДВ является его динамический диапазон, который определяется, в основном, параметрами позиционно-чувствительного приемника. Расширения динамического диапазона можно достичь, используя схему позиционно-чувствительного датчика [6], изображенную на рис.3.

Датчик состоит из четырехквadrантного фотоприемника 1, фотодиоды 1.1-1.4 которого соединены с входами преобразователей ток - напряжение (ПТН) 2-5. Сигналы с выхода ПТН 2-5 поступают на входы суммарно-разностного устройства 6, формирующего позиционные сигналы. Общая подложка фотодиодов подключена к входу пятого ПТН 7, выход которого подключен к фотодиодам 1.1-1.4, причем номиналы резисторов 9-12 в четыре раза превышают номинал резистора пятого ПТН, а номинал этого резистора, в свою очередь, выбирается достаточно малым с целью обеспечения работоспособности ПТН 7 во всем динамическом диапазоне.

Устройство работает следующим образом. На вход каждого из ПТН 2-5 поступает ток, генерируемый соответствующим из фотодиодов 1.1-1.4 фотоприемника 1. Через резисторы 9-12 на входы ПТН поступает ток, равный по величине среднему значению тока всех фотодиодов фотоприемника 1, а по напряжению обратный ему.

Таким образом, ток компенсации, возникающий в каждом из ПТН 2-5 равен среднему значению токов всех фотодиодов фотоприемника 1 и имеет обратное им направление, т.е. каждый из ПТН 2-5 преобразует ток.

$$I_{ПТН} = I_1 - \frac{1}{4}$$

Реализация устройства по приведенной схеме позволяет исключить из преобразователя ПТН 2-5 постоянную токовую составляющую, которая не содержит информации о положении энергетического центра тяжести регистрируемого излучения, что расширяет динамический диапазон работы датчика. При этом оптимальное соотношение номиналов резисторов ПТН 2-5 и 7 $R_2 = R_3 = R_4 = R_5$ и R_7 является равенство его отношению динамических диапазонов фотодиодов и ПТН.

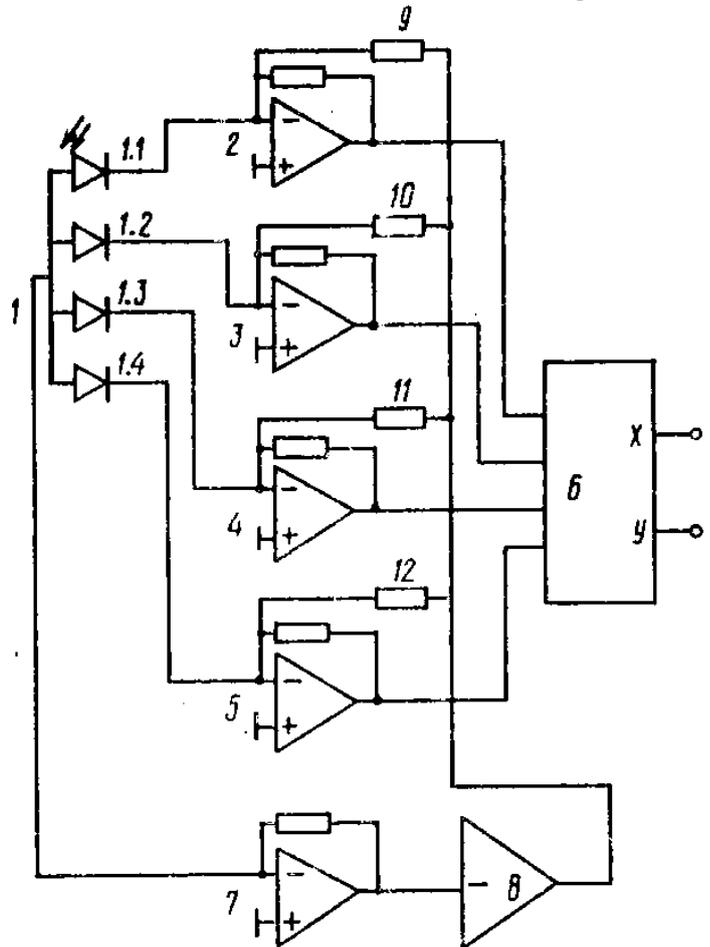


Рис. 3. Функциональная схема позиционно-чувствительного датчика

Выводы

Использование приведенных схем позволит создать измеритель длин волн лазерного излучения нового типа, который обладает улучшенными характеристиками по сравнению с известными приборами.

Измеритель может быть использован в спектроскопии, а также в метрологии при создании лазерных измерительных комплексов.

Литература

1. Зайдель Г.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии.- М.: Изд. «Наука», 1976.-322 с.
2. Бобрик В.И., Буковский Б.Л., Сулейманов М.Б. Измерители длин волн лазерного излучения:

Обзорная информация. – М, 1988, вып. 3

3. Кравченко В.И., Левченко Е.Г., Теренецкая Н.П. Прецизионный волномер для экспрессного контроля длины волны излучения импульсного перестраиваемого лазера // Опτικο-механическая промышленность.-1989. -№3- с.61-62

4. Левченко Е.Г. Характеристики встроенного волномера импульсного перестраиваемого лазера// Журнал прикладной спектроскопии. -1990.-т.53, вып.6.-825-899.

5. А.с. СССР № 1531690. Способ измерения длины волны излучения и устройство для его осуществления. В.И. Кравченко, Е.Г.Левченко, И.П. Теренецкая, В.Л. Ткаченко. Бюллетень изобретений, 1989 г №47.

6. А.с. СССР № 1603200. Позиционно-чувствительный датчик оптического излучения. В. М. Гримблатов, В. В. Калугин, В. И. Кравченко, Е. Г. Левченко, А. В. Трофимов. Бюллетень изобретений, 1990 г №40.

References

1. Zaidel G.N., Ostrovskaya G.V., Ostrovskiy Y.I. Tehnika i praktika spektroskopii. – М.: Izd. “Nauka”, 1976 g. – 322 c.
2. Bobrik V.I., Bukovskii B.L., Suleimanov M.B. Izmeriteli dlin voln lazernogo izlucheniya: Obzornaya informacia. – М, 1998, vyp. 3
3. Kravchenko V.I., Levchenko E.G., Tereneckaya I.P., Precezionnyi volnomer dlya ekspressnogo kontrolya dliny volny izlucheniya impulsnogo perestraivayemogo lasera // Optico-mehaničeskaya promyshlennost'. – 1989. - №3 – s.61-62
4. Levchenko E.G., Harakteristiki vstroennogo volnomera impyulsnogo perestraivayemogo lasera // Zhurnal prikladnoi spektroskopii. – 1990. – t.53, vyp.6. – s.852-899
5. A.s. SSSR №1531690. Sposobi zmereniya dliny volny izlucheniya i ustroistvo dlya ego osushchestvleniya. V.I. Kravchenko, E.G. Levchenko, I.P. Tereneckaya, V.L. Tkachenko, Bulletin` izobretenii 1989 g. №47
6. A.s. SSSR №1603200. Pozicionno-chyvstvitelnyi datchik optičeskogo izlucheniya. V.M. Grimblatov, V.V. Kalugin, V.I. Kravchenko, E.G. Levchenko, A.V. Trofimov. Buleten` izobretenii 1992 g. №40

Рецензія/Peer review : 9.1.2015 р. Надрукована/Printed :24.1.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.317.39:66–913:633.1

О.М. КУЦЕВОЛ
ВНТУ

ДИЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИЙ ВОЛОГОМІР ЗЕРНА

Відомі засоби контролю вологості зерна, які використовують метод високочастотних вимірів відносної діелектричної проникності, не захищені від основних збурювальних факторів (нестабільних діелектричних втрат, пористості та гранулометричного складу), тому мають похибки вимірювання, які значно перевищують задекларовані значення.

В статті описано удосконалений варіант діелектричного вологоміра, який за мінімальної кількості структурних елементів має досить непогані метрологічні характеристики, обумовлені використанням методу визначення ємнісної складової струму чутливого елемента, який знаходиться через інформативні параметри вимірювального перетворювача, що складається із послідовно з'єднаних зразкового та чутливого елементів.

Ключові слова: вологість, контроль, зерно, перетворювач, модель, чутливий елемент, фазовий зсув.

О.М. KUTSEVOL
Vinnytsia, Ukraine

DIELECTRIC MEASURING INSTRUMENT OF HUMIDITY OF GRAIN

Known control devices of humidity of grain which use a method of high-frequency measurements of relative dielectric permeability not protected from the major parasitic factors (unstable dielectric losses, porosity and particle size distribution) therefore have measurement errors which considerably exceed the declared values.

In articles are described an improved version of the dielectric measuring instrument of humidity which at the minimum quantity of structural elements has quite good metrological characteristics caused by use of a method of definition of a capacitor component of current of a sensitive element which is by means of informative parameters of the measuring converter consisting of consistently connected model and sensitive elements

Keywords: humidity, control, grain, converter, model, sensitive element, phase shift.

Постановка задачі

Зерно пшениці і інших злакових культур є складною капілярно-пористою системою зі значним вмістом живої білкової речовини. В таких системах волога знаходиться як в вільному, так і в зв'язаному стані. Ця обставина, а також те, що зерно як об'єкт контролю характеризується нестабільністю пористості та діелектричних втрат, не дають можливості ефективно застосувати існуючі нині напівавтоматизовані та автоматизовані засоби вимірювання вологості, похибки яких значно перевищують задекларовані значення.

У зв'язку із цим пошук нових рішень і розробка конкурентоспроможних засобів багатопараметричної діелектрометрії та, у першу чергу, вимірювальних перетворювачів, здатних до інструментального контролю в польових умовах, і дослідження нових можливостей їхнього застосування в