

4. www.fullwood.com
5. www.boumatic.com
6. http://bratslav.com/
7. Микола Притикін. Правильне доїння корів // журнал "The Ukrainian Farmer" вересень, 2011 р.
8. Оптичний датчик наявності води в молоці: матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції «Фотоніка ОДС– 2012», Вінниця – Гнесь Т. – с.144.
9. Математична модель оптичного датчика наявності води в молоці: Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології», Вінниця - Кулаков П.І., Гнесь Т. – с. 121 – 126.

References

1. www.delaval.com.ua
2. www.westfalia.com
3. www.afimilk.com
4. www.fullwood.com
5. www.boumatic.com
6. http://bratslav.com/
7. Mykola Prytikyn. The correct milking of cows // is a magazine "The Ukrainian Farmer" September, in 2011.
8. Optical sensor of presence water in milk: materials of sixth international scientific and technical conference "Photonics ODS - 2012", Vinnytsya – Gnes T. - p. 144.
9. Mathematical model of optical sensor of presence water in milk: the International scientific and technical magazine "Optical-electronic informatively-power technologies", Vinnytsya – Kulakov P.I., Gnes T.V. - p. 121 - 126.

Рецензія/Peer review : 25.7.2013 р.

Надрукована/Printed :17.10.2013 р.

Рецензент:

УДК 621.317.59

А.В. ЗАБОЛОТНЫЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕСТОВ В ЕМКОСТНОМ ПЕРВИЧНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО ВЛАГОМЕРА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Розроблено перспективну конструкцію первинного вимірювального перетворювача вологості нафтопродуктів для адаптивного діелькометричного вологоміра. Тестові впливи на матеріал відтворюються безпосередньо у первинному перетворювачі шляхом уведення у міжелектродний простір вимірювальних конденсаторів металевих пластин з фіксованою товщиною.

Ключові слова: діелькометричний вологомір нафтопродуктів, тестовий вплив, ємнісний первинний перетворювач.

O.V. ZABOLOTNYI

National Airspace University "Kharkiv Aviation Institute"

TECHNICAL IMPLEMENTATION OF THE ADDITIVE TESTS IN A CAPACITIVE PRIMARY TRANSDUCER OF THE DIELECTRIC MOISTURE METER IN OIL PRODUCTS

A perspective design of the primary moisture transducer in oil products for the adaptive dielectric moisture meter had been developed. Testing influences on the material are reproduced directly in the primary moisture transducer by introducing the metal plates with a fixed thickness into the space between measuring capacitor's electrodes.

Key words: dielectric moisture meter in oil products, testing influence, capacitive primary moisture transducer.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами

Контроль влагосодержания характерен для значительного количества операций добычи, переработки и производства широкого спектра веществ. В настоящее время 75 – 80 % применяемых влагомеров составляют диэлектрические приборы с емкостными первичными преобразователями. Для влагомеров этого типа характерна дополнительная неопределенность измерений («сортовая неопределенность»), вызываемая различными значениями диэлектрических проницаемостей исследуемых материалов. Ее влияние, как правило, существенно, а традиционные способы компенсации оказываются эффективными, когда состав исследуемых материалов известен. В противном случае эффективность традиционных способов резко снижается. Поэтому дальнейшее усовершенствование известных способов измерения влажности, направленное на более качественную компенсацию «сортовой неопределенности», является актуальным и перспективным.

Анализ последних достижений и публикаций

В представленных на рынке влагомерах химический состав (то есть сорт или тип материала) в большинстве случаев учитывается путем введения в память микропроцессорного блока калибровочных

кривых или нормирующих коэффициентов для максимально возможного количества исследуемых материалов, путем использования градуировочных таблиц или специальной калибровки перед каждым измерением (влажмеры Kett, ИВЗ-М1, ИВЗ-М1Т, ЦВЗ-ЗА, WILE-55/65, Sinar AP 6060, Капля, Grain Master, ВСН-100, ВСП-6П, Multi Grain, ФАУНА, Farmpoint, GAC500, HE-50, Superpoint и т.п.) [1]. Но, химический состав и особенности всех исследуемых материалов аналитически спрогнозировать невозможно. Поэтому упомянутые выше приемы компенсации «сортовой неопределенности» имеют так называемую локальную эффективность и не являются универсальными.

Проведенный ранее анализ способов измерения влажности [2], позволил выявить отдельную группу способов, где для определения исходного влагосодержания пробы вещества ее подвергают тестовым воздействиям. Их реализуют в виде добавления дозированных объемов воды с последующим перемешиванием, введения заданного объема веществ с известными диэлектрическими проницаемостями или капсул с водой определенной формы [3-5]. Техническая реализация введения в исследуемое вещество определенных количеств воды в виде тестовых воздействий в ряде случаев может оказаться трудно осуществимой, например, при измерениях в потоке или при высокой начальной обводненности материала. Как правило, в ряде технологических процессов (отволаживание зерна, создание водно-топливных или водно-угольных эмульсий) влагосодержание материала необходимо поддерживать в заданных пределах, и введение дополнительных количеств воды будет недопустимым. Изготовление и использование в первичном преобразователе герметичных капсул с водой так же не является эффективным с точки зрения технологичности изготовления.

Формулирование целей и задач исследования

Целью представленных в данной статье исследований является разработка наиболее простого и технологичного способа реализации тестовых воздействий на исследуемое вещество непосредственно в емкостном первичном преобразователе диэлькометрического влагомера.

Основные результаты исследований

Перед тем, как говорить о тестовых воздействиях на материал, необходимо установить актуальную степень или величину таких воздействий. Для этого, аналогично [5,6], был взят ряд различных нефтепродуктов с диэлектрическими проницаемостями ϵ_n , соответственно равными 2, 2.5, 3 и 3.5. далее было назначено объемное влагосодержание W этих нефтепродуктов в количестве 0, 10, 20, 30 и 40 %. Для расчета диэлектрических проницаемостей ϵ таких бинарных систем брались известные зависимости, наиболее часто встречающиеся в различных источниках: формулы Винера, Нильсена, Бруггемана, Кубо-Накамуры, Ботчера, Лихтенеккера и Оделевского [7]. Цель данной проверки – установить, на какую величину в процентном соотношении будет изменяться диэлектрическая проницаемость бинарной смеси при конкретных объемах добавленной воды для разных нефтепродуктов. Результаты исследований сведены в таблицы (табл. 1 – 4) и представлены ниже.

Таблица 1

Результаты расчета диэлектрической проницаемости ϵ бинарной смеси по формуле Винера

Тип материала, ϵ_n	Объемное влагосодержание W , (абсолютные единицы)				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
2.0	2.0 (0 %)	2.614 (30.7 %)	3.368 (68.4 %)	4.317 (115.85 %)	5.545 (177.25 %)
2.5	2.5 (0 %)	3.252 (30.08 %)	4.173 (66.92 %)	5.324 (112.96 %)	6.806 (172.24 %)
3.0	3.0 (0 %)	3.885 (29.5 %)	4.963 (65.43 %)	6.305 (110.17 %)	8.022 (167.4 %)
3.5	3.5 (0 %)	4.512 (28.91 %)	5.741 (164.03 %)	7.262 (107.49 %)	9.197 (162.28 %)
Среднее изменение ϵ	0 %	29.8 %	66.2 %	111.61 %	169.79 %

Таблица 2

Результаты расчета диэлектрической проницаемости ϵ бинарной смеси по формуле Ботчера

Тип материала, ϵ_n	Объемное влагосодержание W , (абсолютные единицы)				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
2.0	2.0 (0 %)	2.557 (27.85 %)	3.114 (55.7 %)	3.671 (83.55 %)	4.229 (111.45 %)
2.5	2.5 (0 %)	3.184 (27.36 %)	3.868 (54.72 %)	4.551 (82.04 %)	5.235 (109.4 %)
3.0	3.0 (0 %)	3.806 (26.87 %)	4.412 (53.73 %)	5.417 (80.57 %)	6.223 (107.4 %)
3.5	3.5 (0 %)	4.423 (26.37 %)	5.347 (52.77 %)	6.27 (79.14 %)	7.193 (105.51 %)
Среднее изменение ϵ	0 %	27.11 %	54.23 %	81.33 %	108.44 %

Результаты расчета диэлектрической проницаемости ε бинарной смеси по формуле Кубо-Накамуры

Тип материала, ε_n	Объемное влагосодержание W , (абсолютные единицы)				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
2.0	2.0 (0 %)	2.559 (27.95 %)	3.271 (63.55 %)	4.137 (106.85 %)	5.157 (157.85 %)
2.5	2.5 (0 %)	3.161 (26.44 %)	3.997 (59.88 %)	5.008 (100.32 %)	6.194 (147.76 %)
3.0	3.0 (0 %)	3.758 (25.27 %)	4.711 (57.03 %)	5.859 (95.3 %)	7.202 (140.07 %)
3.5	3.5 (0 %)	4.352 (24.34 %)	5.416 (57.74 %)	6.692 (91.2 %)	8.181 (133.74 %)
Среднее изменение ε	0 %	26 %	58.8 %	98.42 %	144.86 %

Таблиця 4

Результаты расчета диэлектрической проницаемости ε бинарной смеси по формуле Бруггемана

Тип материала, ε_n	Объемное влагосодержание W , (абсолютные единицы)				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
2.0	2.0	4.553	7.105	9.658	12.21
2.5	2.5	5.568	8.635	11.703	14.771
3.0	3.0	6.541	10.081	13.622	17.163
3.5	3.5	7.475	11.499	15.424	19.399

Как видно из таблицы 4, формула Бруггемана (как, впрочем, и формулы Лихтенеккера, Оделевского и Нильсена, расчеты для которых не приведены) дает существенно завышенный результат. Поэтому в дальнейших исследованиях использованы результаты, представленные в таблицах 1, 2, 3.

На их основании можно оценить среднее изменение диэлектрической проницаемости бинарной системы в контрольных точках (таблица 5).

Таблиця 5

Среднее изменение диэлектрической проницаемости

Среднее изменение ε	Объемное влагосодержание W , (абсолютные единицы)				
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
	0 %	27.64 %	59.74 %	97.12 %	141.03 %

В источнике [8] описан интересный эксперимент. Брался плоский конденсатор с пластинами площадью $130 \times 180 \text{ мм}^2$ и расстоянием между ними 36 мм. Начальная емкость такого конденсатора составила 6 пФ. В межэлектродное пространство конденсатора вводилась металлическая пластина толщиной 1 мм и стеклянная пластина с водяной пленкой, полученной от дыхания. Чтобы эта пленка не испарялась, ее накрывали сверху еще одной стеклянной пластиной. Как показали результаты этого эксперимента, графики зависимостей электрической емкости обоих конденсаторов от положения металлической пластины (в первом случае) и стеклянной пластины с водяной пленкой внутри (второй случай) очень близки. Из этого следует, что сопротивление водяной пленки достаточно мало, и она ведет себя как обычный проводник.

Следовательно, для реализации тестовых воздействий в межэлектродном пространстве емкостного первичного преобразователя совсем не обязательно использовать воду или в свободном виде или внутри капсул определенной формы. С достаточно высокой степенью приближения можно ограничиться использованием металлических пластин различной конфигурации (в зависимости от формы электродов первичного преобразователя).

За период времени, в течение которого проводятся теоретические и прикладные исследования в области влагометрии различных материалов, был предложен ряд удачных конструкций первичных преобразователей влажности нефтепродуктов, часть из которых представлена в работе [9]. Для нашего случая в качестве базового изделия удобно использовать конструкцию, показанную на рисунке 1.

Преобразователь состоит из системы электродов 1,2,3,4, причем электроды 1,2,3 выполнены в форме трапеций, а электроды 4 – в форме V-образных пластин. Вся система электродов жестко закреплена на внутренней поверхности двух диэлектрических колец 5, размещенных по ее краям. Представленная конструкция примечательна тем, что образована из двенадцати отдельных конденсаторов, соединенных параллельно, причем в каждом из них можно реализовать тестовое воздействие. Такая конфигурация позволит реализовать от одного до одиннадцати (при необходимости) тестовых воздействий на исследуемый материал, причем различного уровня и, что немаловажно, непосредственно в самом первичном преобразователе.

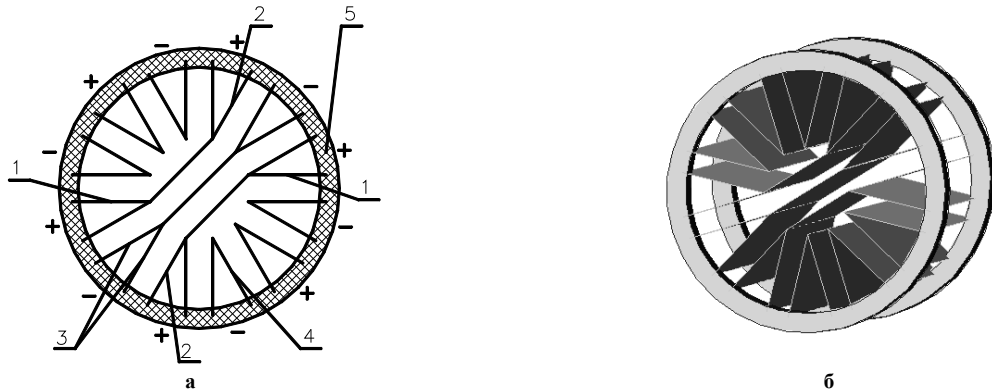


Рис. 1. Емкостный первичный преобразователь: а – вид сверху; б – объемное изображение

Для более удобной технической реализации тестовых воздействий конструкция, представленная на рис. 1, была модифицирована следующим образом. Первичный преобразователь, как и раньше, образован системой электродов 1 (см. рисунок 2), в форме V-образных пластин. Система электродов по-прежнему крепится на внутренней поверхности двух диэлектрических колец 2 и 3.

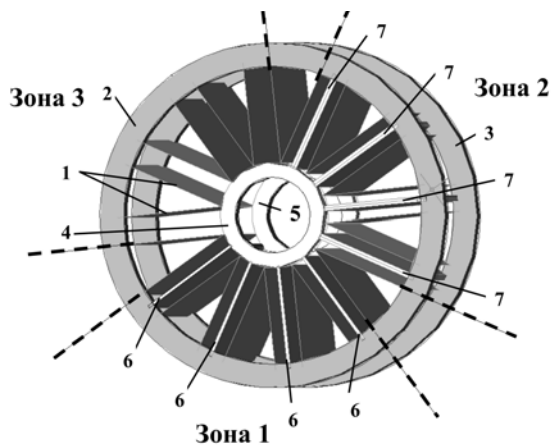


Рис. 2. Модифицированный емкостный первичный преобразователь

Для удобства реализации тестовых воздействий в виде дополнительно вводимых в межэлектродное пространство металлических пластин, в конструкцию введены два внутренних диэлектрических кольца 4 и 5.

Тестовые воздействия на материал воспроизводятся непосредственно в данном первичном преобразователе путем введения в межэлектродное пространство конденсаторов системы электродов 1 обыкновенных металлических пластин (6, 7 на рисунке 2) с фиксированной толщиной. Например, необходимо реализовать два тестовых воздействия на исследуемый материал в размере дополнительного введения в исходную пробу десятипроцентной и двадцатипроцентной добавки воды (см. табл. 5). Для решения поставленной задачи первичный преобразователь условно делится на три измерительных

зоны, как показано на рисунке 2. В межэлектродное пространство зоны 1 вводится соответствующее количество металлических пластин 6. Согласно табл. 5, для имитации десятипроцентной добавки воды в материал необходимо обеспечить увеличение диэлектрической проницаемости или емкости первичного преобразователя на 27.64 %. Из этих соображений можно определить необходимую толщину вводимой пластины при условии, что ее длина и ширина должна совпадать с длиной и шириной межэлектродного пространства.

В соответствии с [10], емкость C плоского конденсатора, в межэлектродное пространство которого строго по центру вводится пластина из проводящего материала, будет зависеть только от толщины этой средней пластины и вычисляется в соответствии с формулой:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{2d},$$

где d – расстояние от края электрода до края центральной пластины.

Используя эту формулу, можно рассчитать толщину одной из металлических пластин 6. В результате тестового воздействия электрическая емкость C должна увеличиться на 27.64 % или в 1.2764 раза. Межэлектродный зазор (обозначим его D) должен уменьшиться в такое же количество раз. Тогда толщину металлической пластины 6 (обозначим как d_1) можно вычислить из соотношения:

$$d_1 = D - \frac{D}{1.2764} = 0.2165D.$$

Таким образом, первое тестовое воздействие может быть реализовано путем размещения в межэлектродном пространстве четырех конденсаторов зоны 1 четырех металлических пластин 6 с толщиной d_1 .

Зона 2 предназначена для реализации второго тестового воздействия на материал по аналогичному принципу. В результате этого воздействия электрическая емкость C четырех конденсаторов зоны 2 должна увеличиться на 59.74 % или в 1.5974 раза. В этом случае толщина d_2 вводимых металлических пластин 7 будет равна:

$$d_2 = D - \frac{D}{1.5974} = 0.374D.$$

В результате съема сигналов с выходов первичного преобразователя в распоряжении экспериментатора появятся три значения диэлектрических проницаемостей: ε_1 – диэлектрическая проницаемость исходной пробы (значение снимается с электродов первичного преобразователя, образующих зону 3); ε_2 – диэлектрическая проницаемость исходной пробы с первым тестовым воздействием (значение снимается с электродов первичного преобразователя, образующих зону 1); ε_3 – диэлектрическая проницаемость исходной пробы со вторым тестовым воздействием (значение снимается с электродов первичного преобразователя, образующих зону 2).

По этим трем значениям диэлектрической проницаемости с достаточно высокой точностью можно рассчитать влагосодержание исходной пробы материала W_1 , используя представленное ниже соотношение (1), или по выражениям, приведенным в [6, 8].

$$W_1 = \left(\frac{100(0.17\varepsilon_1 + 0.17\varepsilon_3 - 0.33\varepsilon_2)}{\varepsilon_3 - 0.013\varepsilon_3^2} - 1.543 \right) \cdot 100. \quad (1)$$

Выражение (1) получено из системы условных уравнений [11], сформированной в соответствии с методом наименьших квадратов для полинома первого порядка (2):

$$\begin{cases} a + b \cdot W_1 = \varepsilon_1; \\ a + b \cdot W_2 = \varepsilon_2; \\ a + b \cdot W_3 = \varepsilon_3. \end{cases} \quad (2)$$

Под W_1 следует понимать начальное влагосодержание материала, W_2 – влагосодержание той же пробы после введения известного объема воды (первое тестовое воздействие), а под W_3 понимается влагосодержание материала после добавки к W_2 следующего объема воды. Система нормальных уравнений, полученная из (2), имеет вид (3):

$$\begin{cases} 3a + b \cdot (W_1 + W_2 + W_3) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3; \\ a \cdot (W_1 + W_2 + W_3) + b \cdot (W_1^2 + W_2^2 + W_3^2) = \varepsilon_1 W_1 + \varepsilon_2 W_2 + \varepsilon_3 W_3. \end{cases} \quad (3)$$

Выражение (1) получено в результате решения системы нормальных уравнений (3) методом определителей и выражения полученных результатов относительно W_1 . Ввиду того, что решения, получаемые с помощью метода наименьших квадратов, являются необратимыми, пришлось вводить дополнительную коррекцию и нормирующие коэффициенты.

В результате, выражение (1) обеспечивает хорошую степень совпадения расчетных значений влагосодержания W_1 для материалов с различными диэлектрическими проницаемостями ε_n для диапазона влагосодержания от 0 до 20 % и в достаточной степени хорошо компенсирует так называемую «сортовую неопределенность» исследуемых материалов.

Выводы

В предложенных материалах разработана перспективная конструкция первичного измерительного преобразователя влажности нефтепродуктов для адаптивного диэлькометрического влагомера. Тестовые воздействия на материал воспроизводятся непосредственно в данном первичном преобразователе путем введения в межэлектродное пространство измерительных конденсаторов металлических пластин с фиксированной толщиной. Необходимая толщина вводимых металлических пластин выбиралась по результатам исследований изменения диэлектрической проницаемости различных материалов в зависимости от различных значений влагосодержания.

Таким образом, поставленную цель можно считать достигнутой.

Литература

1. Крушевский Ю.В. Влияние массообмена воды на точность измерения влажности зерна / Ю.В. Крушевский, Я.А. Бородай // Наукові праці ВНТУ. – 2007. – № 1. – С. 20 – 26.
2. Заболотный А.В. Поиск эффективного способа измерения влажности сыпучих материалов / А.В. Заболотный, Н.Д. Кошевой, А.Н. Сатаров // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка. – 2008. – Вип. № 15. – С. 50 – 57.
3. Кудрявцев А.В. Емкостные измерители влажности жидких сред / А.В. Кудрявцев, В.И. Шевченко. – Фрунзе: «Илим», 1989. – 53 с.
4. Pat. 4916940 US, Int. Cl.⁴ G01N 27/22, G01 N 33/22. Method and apparatus for measuring and calculating bulk water in crude oil / Marcel L. Mounge. – № 215058; filed 05.07.1988; date of patent 17.04.1990. –

15 p.

5. Заболотный А.В. Нюансы компенсации «сортовой» неопределенности при формировании тестов для адаптивных влагомеров / А.В. Заболотный // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/9 (56). – С. 47 – 50.

6. Заболотный О.В. Забезпечення задовільного рівня інваріантності адаптивних вологомірів з використанням методу найменших квадратів / О.В. Заболотний // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2012. – № 4. – С. 13 – 17.

7. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / [Кричевский Е.С., Бензарь В.К., Венедиктов М.В. и др.]; под ред. Е.С. Кричевского. – М.: Энергия, 1980. – 240 с.

8. Машуков Ю.П. О влиянии запотевания стенок кюветы на параметры датчиков диэлькометрических влагомеров / Ю.П. Машуков, В.В. Христофоров // Известия вузов. Приборостроение. – 1989. – № 2. – С. 44 – 48.

9. Заболотный А.В. Эволюция первичных измерительных преобразователей влажности нефтепродуктов / А.В. Заболотный, В.А. Заболотный, Н.Д. Кошевой // Радиоэлектронные компьютерные системы. – 2007. – № 5 (24). – С. 99 – 102.

10. Форейт И. Емкостные датчики неэлектрических величин / И. Форейт. – Москва: «Энергия», 1966. – 159 с.

References

1. Krushevskiy U.V. Vliyanie massoobmena vody na tochnost izmerenya vlajnosti zerna / U.V. Krushevskiy, Y.A. Boroday // Naukovy pratsy VNTU. – 2007. – № 1. – S. 20 – 26.

2. Zabolotnyi A.V. Poisk effektivnogo sposoba izmerenya vlajnosti sipuchykh materialov / A.V. Zabolotnyi, N.D. Koshevoy, A.N. Sattarov // Zbirnyk naukovykh prats viyskovogo institutu Kyivskogo natsionalnogo universytetu im. T.G. Shevchenka. – 2008. – Vyp. № 15. – S. 50 – 57.

3. Kudryavtsev A.V. Emkostnye izmeritely vlajnosti jidkikh sred / A.V. Kudryavtsev, V.I. Shevchenko. – Frunze: «Ilim», 1989. – 53 s.

4. Pat. 4916940 US, Int. Cl.⁴ G01N 27/22, G01 N 33/22. Method and apparatus for measuring and calculating bulk water in crude oil / Marcel L. Mounge. – № 215058; filed 05.07.1988; date of patent 17.04.1990. – 15 p.

5. Zabolotnyi A.V. Nuansy kompensatsii «sortovoi» neopredelennosti pri formirovanii testov dla adaptivnykh vlagomerov / A.V. Zabolotnyi // Vostochno-evropejsky jurnal peredovykh tehnologiy. – 2012. – № 2/9 (56). – S. 47 – 50.

6. Zabolotnyi O.V. zabezpechenna zadovilnogo rivnya invariantnosti adaptivnykh vologomiriv z vikorystanniam metodu naimenshih kvadratov / O.V. Zabolotnyi // Visnyk Cherkaskogo derjavnogo tehnologichnogo universytetu. – 2012. – № 4. – S. 13 – 17.

7. Teoria i praktika ekspressnogo kontrolya vlajnosti tverdykh i jidkikh materialov / [Krichevsky E.S., Benzar V.K., Venedyktov M.V. i dr.]; pod red. E.S. Krichevskogo. – M.: energia, 1980. – 240 s.

8. Mashukov U.P. O vliyanii zapotevania stенок kuvety na parametry datchikov dielkometricheskikh vlagomerov / U.P. Mashukov, V.V. Hristoforov // Izvestiya vuzov. Priborostoyenie. – 1989. – № 2. – P. 44 – 48.

9. Zabolotnyi A.V. Evolutsia pervichnykh izmeritelnykh preobrazovateley vlajnosti nefteprodukyov / A.V. Zabolotnyi, V.A. Zabolotnyi, N.D. Koshevoi // Radioelektronni comp'uterny systemy. – 2007. – № 5 (24). – S. 99 – 102.

10. Foreit I. Emkostnye datchiki neelektricheskikh velichin / I. Foreit. – Moskva: «Energia», 1966. – 159 s.

Рецензія/Peer review : 23.5.2013 p.

Надрукована/Printed : 14.10.2013 p.

Рецензент: д.т.н., проф., зав. кафедрой приема, передачи и обработки сигналов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» Зеленский А.А.