

УДК 621.317.39

Е. Ю. ГОЛУБ^{1,2}, А. В. ЗАБОЛОТНЫЙ¹¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *НПП ХАРТРОН-АРКОС ЛТД, Украина*

КОМПЕНСАЦИЯ «СОРТОВОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ» ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИМИ ВЛАГОМЕРАМИ. ЧАСТЬ 1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВЕЩЕСТВ

В статье проводится анализ влагомеров, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами по состоянию на начало 2015 года. В качестве объектов исследования выбраны сыпучие материалы и нефтепродукты. Выявлены методы, получившие наибольшее распространение при определении влажности данных материалов: диэлькометрический, кондуктометрический, инфракрасной сушки (термогравиметрический), метод анализа спектра в инфракрасном диапазоне и сверхвысокочастотный. Построены диаграммы, отображающие долю рынка производимых влагомеров в пределах каждого метода. В ходе анализа рынка влагомеров проведена сравнительная оценка метрологических характеристик выпускаемых приборов. Даны рекомендации по уменьшению неопределённости данных влагомеров за счёт компенсации влияния сорта материала («сортовой неопределённости»). В результате сравнения нескольких методов и проведения общего анализа мировых тенденций в области влагометрии выбран диэлькометрический метод определения влажности.

Ключевые слова: *влажность, диэлькометрический метод, кондуктометрический метод, метод инфракрасной сушки, метод анализа спектра в инфракрасном диапазоне, СВЧ метод.*

Постановка проблемы

Современная нефтеперерабатывающая промышленность Украины представлена шестью нефтеперерабатывающими заводами общей мощностью первичной переработки 51–54 млн. тонн нефти в год (это превышает аналогичные мощности Польши, Венгрии, Чехии и Словакии вместе взятые) [1, 2]. Кроме того в стране добывается порядка 2,5 млн. тонн нефти в год [3]. При этом Украина не имеет современных систем контроля качества нефти и нефтепродуктов – на рынке отсутствуют радиоэлектронные устройства отечественного производства, которые соответствовали бы необходимым требованиям по цене, точности, надёжности и обеспечивали бы возможность контроля влажности в режиме реального времени. Большинство предприятий нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности по-прежнему использует влагомеры, которые разрабатывались ещё в СССР. Результатом этого является низкая точность определения влажности, что является недопустимым при определении состава добываемой нефти и последующей её переработке (содержание воды в нефти регламентируется стандартом [4]).

В настоящее время существует большое количество методов определения влажности [5 – 8]. Од-

нако единого мнения о превосходстве одного из них над другими не сформировано. В связи с этим практически все известные на мировом рынке производители влагомеров в ходе разработки стараются охватить в своём производстве несколько методов измерений. Это связано с чрезвычайно большим количеством разнородных материалов, влажность которых необходимо контролировать, диапазонов измеряемых значений, требуемой точностью, быстродействием и конструктивным исполнением. Тем не менее, проведённый анализ выпускаемых влагомеров позволил выделить группу методов, получивших наибольшее распространение. К ним относятся: кондуктометрический, диэлькометрический, инфракрасный (ИК или термогравиметрический), метод анализа спектра в ИК диапазоне, а также метод сверхвысоких частот (СВЧ).

Анализ последних исследований и публикаций

Подобная задача рассматривалась ранее в работе [9], где уже выполнялся поиск эффективного способа измерения влажности сыпучих материалов. Авторами был проведён подробный анализ влагомеров, а также была разработана и описана классификация способов измерения влажности диэлькомет-

рическим методом. Результаты, изложенные в [9], оказались чрезвычайно полезными при проведении исследований в рамках данной статьи. В работе [10] проанализирован рынок производимых влагомеров сельскохозяйственных материалов за рубежом во временном интервале с 1960 по 1987 гг. В работе [11] представлен обзор влагомеров зерна. Однако приведенные выше обзоры делались сравнительно давно и могут не отражать современное положение вещей.

Формулировка цели статьи

Таким образом, целью данной статьи является выбор наиболее перспективного для дальнейших исследований метода определения влажности веществ. Такой выбор может быть сделан в результате сравнения нескольких методов и общего анализа мировых тенденций в области влагометрии. В статье рассматриваются такие методы определения влажности, как кондуктометрический, диэлькометрический, ИК, СВЧ и метод анализа спектра в ИК диапазоне. Основным критерием для выбора метода

следует считать его достаточно высокие точностные характеристики и простоту реализации.

Основной материал исследования

Для получения информации о применяемых в настоящее время методах определения влажности веществ авторами статьи проведён анализ влагомеров, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами по состоянию на начало 2015 года. В качестве объектов исследования выделены сыпучие материалы и нефтепродукты. Для каждой из двух групп материалов выявлено большое количество влагомеров. Для сыпучих материалов – это диэлькометрические влагомеры, кондуктометрические, ИК влагомеры-сушилки, ИК анализаторы спектра и СВЧ влагомеры; для нефтепродуктов – диэлькометрические, кондуктометрические, ИК анализаторы спектра и СВЧ влагомеры [12]. В общей сложности рассмотрено 186 влагомеров для первой группы материалов [13 – 15] и 67 для второй [16 – 18]. Результаты анализа приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Анализ влагомеров для сыпучих материалов

Принцип измерения	Названия влагомеров и фирм-производителей
Диэлькометрические	miniGAC, miniGACplus, GAC500MT, GAC500XT, GAC2100, M3G, M20P, Multi-Grain («DICKEY-john», США); MT Pro, MT Pro Plus, MT-16 («AgraTronix», США); Grainmaster GRN3000 («General Electric», США); PM-200, PM-450 (устар. PM-410, PM-400), PM-650 (PM-600) («Kett», Япония); WILE-55, WILE-65, WILE-66, FARMEX MT Pro, FARMEX MT Pro Plus, Unimeter Digital («Farmcomp», Финляндия); Farmpoint-Digital, Superpoint-Digital («Supertech Agroline», Дания); Agromatic Digital Super I («Farmer Tronic Industries A/S», Дания); HE-50, HE-60, HE-90, Granomat («Pfeuffer», Германия); AP 6060 («Sinar», Великобритания); Grain Check, Grain Tester Plus, Grain Tester Plus P.S («Isoelectric», Италия); Grain Dryer Plus, Grain Computer, Grain Computer Plus (Италия); GMM, GMDM, GMMpro («DRAMINSKI», Польша); SUPER CHTM2 («Asonik», Польша); GMK 107RF («G-won», Южная Корея); LDS-1G, LDS-1H («Top Instrument», Китай); Фауна, Фауна-2, Фауна-М, Фауна-ВК, Фауна-ВЛК, Фауна-П (мод. Фауна-ПМД2, Фауна-ПМД3, Фауна-ПМД4) («Лепта», Россия); МГ4 «Колос», МГ4.01 «Колос» («Стройприбор», Россия); ЭВЛАС-5 («Сибагроприбор», Россия); ИВЗ-М1, ИВЗ-М1Т («Электрохимприбор», Россия); АТПАЗ-01 («Элерон», Россия); Роса-1 («Фотон», Россия); Супертех-Агрола GM2500/GM5000 («Агрола», Россия); Колос-1 («Агроприбор», Россия); МГ43, ИВДМ-2В, ИВДМ-2-01, ИВДМ-2-02, ВАД-40М (Россия); ЦВЗ-3А (ЦВЗ-3), ЦВЗ-3М («Дила», Грузия); ПВЗ-10Д, ПВЗ-20Д («Весоприбор», Беларусь); ВСП-100 («Весоизмеритель», Украина); Аква-15, Аква-15 Эталон («Аква», Украина); ВЛК-01 («ТЕПЕЛЬ», Украина)

Продолжение табл. 1

Принцип измерения	Названия влагомеров и фирм-производителей
Кондуктометрические	MoistureMatch, GMT-Grind («AgraTronix», США); G-7 («Delmhorst», США); RiceterF («Kett», Япония); Wile 78 («Farmcomp», Финляндия); Farmpro-Digital, Superpro-Digital («Supertech Agroline», Дания); Супертех-Агрола (Дания); HE Lite («Pfeuffer», Германия); Protimeter (мод. MMS/MMS Plus, Mini, Surveymaster, Aquant, Timbermaster, Hygromaster) («GE Protimeter», Ирландия); FarmPro 6096 («Sinar», Великобритания); TwistGrain, GMS («DRAMINSKI», Польша); ГМК 303RS («G-won», Южная Корея); MD-7822, MC-7825G (Тайвань); AG-07, AG-12 («A-Grain», Индия); ВМЦЛ-12М, ВМЦЛ-12Р, МИВ-1 (МИВ-1Ш) (Украина); Grainspear 6300
ИК влагомеры-сушилки	FD-610 (устр. FD-610+FD-620), FD-720, FD-800 («Kett», Япония); МХ-50, MF-50; ML-50, MS-70, AD (мод. AD-4712, AD-4714, AD-4715) («A&D», Япония); VIBRA MD-83 («Shinko Denshi», Япония); МОС-120Н («Shimadzu», Япония); PCE MB 50, PCE MB 200 («PCE Group», Германия); KERN MLS50-3HA160, KERN MLS50-3HA250, KERN MRS120-3, KERN MLB50-3 (мод. KERN MLB50-3N) («Kern», Германия); МА35, МА45, МА50 (мод. МА50Н, МА50С), МА100 (мод. МА100Н, МА100С), МА150, LMA200 («Sartorius», Германия); МТ-С («Brabender GmbH & Co. KG», Германия); МВ-23, МВ-25, МВ-35, МВ-45 («ОНАУС», Швейцария); НВ43 (мод. НВ43-С), НГ53, НГ63, НР73, НР83, НС153, НХ204, МЛ33, LP16 («Mettler Toledo», Швейцария); ХМ50, ЕМ120-НР, 300ХМ (мод. ХМ60-НР, ХМ66), 320ХМ (мод. ХМ60, ХМ120) («Precisa», Швейцария); TGA-1000, TGA-2000 A, TGA-2000 3S, TGA-2000 G, MMS-2003 («Las Navas Instruments», Испания); Computrac MAX-2000 («Arizona Instrument LLC», США); МАХ (мод. МАХ50/НН, МАХ50/НР, МАХ50/ВН, МАХ60/НН, МАХ60/НР, МАХ60/ВН, МАХ50/1/НН, МАХ 50/1/НР, МАХ 50/1/ВН), МАС (мод. МАС 50/НН, МАС 50/НР, МАС 50/ВН, МАС 110/НН, МАС 110/НР, МАС110/ВН, МАС 50/1/НН, МАС 50/1/НР, МАС 50/1/ВН, МАС 210/НН, МАС 210/НР, МАС 210/ВН), МА 60/У/Р, МА 210/У/Р, WPS 50/СХ («Radwag», Польша); ADGS (мод. ADGS50, ADGS100, ADGS200), AGS (мод. AGS50, AGS100, AGS200), ADS (мод. ADS50, ADS100, ADS200) («AXIS», Польша); ЭЛВИЗ-2 (мод. ЭЛВИЗ-2, ЭЛВИЗ-2С) («Элиза», Россия); АВ50, ЭВЛАС-1, ЭВЛАС-2М (Россия)
ИК анализаторы спектра	FM-300 (мод. FM-300A) («Kett», Япония); Cropscan 1000B (мод. Cropscan 1000B-1, Cropscan 1000B-2, Cropscan 1000B-3), CropScan Loren 1000G, Cropscan 2000B, Cropscan 2000G, Cropscan 2000F, Cropscan 2000H, FOP-38 OL («NIR Technology System», Австралия); AgriCheck, MultiCheck, AgriCheck Combi, AgriCheck Combi Rotation, OmegaAnalyzer G, InfraCheck («Bruins Instruments», Германия); LMA500 («Sartorius», Германия); Инфратек 1241, InfraХаст («Foss», Дания); Spectra-Quad («TMS & Rutter Co.», Нидерланды); ИНФРАСКАН-105 («Экан», Россия); ИнфраЛюм ФТ-40 («Люмэкс», Россия); ИНФРАТЕК 1241 (Россия); АКВАР-1108 (Беларусь)

Таблиця 2

Анализ влагомеров для нефтепродуктов

Принцип измерения	Названия влагомеров и фирм-производителей
СВЧ влагомеры	MW 1000, MW 1000S, MW 3310, MW 3150 («Tews», Германия); LMA310 («Sartorius», Германия); M-Sens 2 («SWR engineering», Германия); MA100, MA500, MA600, MA700 («Moistscan Calliban Instruments PtyLtd», Австралия); ВЛ (мод. ВЛ-1, ВЛ-М), ПОТОК (Россия); МИКРОРАДАР (мод. 101, 113, 114, 125) («Микрорадар», Беларусь); Копьё (Украина)
Диэлькометрические	Hydrill 4200 («Sivalls», США); AQUASYST WMC 5250Z («Endress+Hauser Ltd.», Великобритания); ВАД-40, ВАД-40М («Микроаналитические системы», Россия); ИВН-95, ИВН-2003, ИВН-3003, ВОЕСН («Промприбор», Россия); ВСН-1-50, ВСН-1-50/10, ВСН-1-50/30, ВСН-1-ПП, ВСН-1-СП, ВСН-1-Л, ВСН-БОЗНА, ЦВН-2С, ВВП-100 («Нефтеавтоматика», Россия); ВН-2М, ВЭН-3М («Нефтехимавтоматика», Россия); ВСН-ПИК, ВСН-НАФТАМ («ПИК и Ко», Россия); ЛВН-3 («Саратовский КБ НГП», Россия); НВН-3 (Россия); УВН-1, УВН-2 (СССР); Нефть-2 (Украина)
Кондуктометрические	ВСН-2-50-10 (мод. ВСН-2-50-10-01; ВСН-2-80-10, ВСН-2-80-01), ВСН-2-50-30 (мод. ВСН-2-50-30-01, ВСН-2-80-30, ВСН-2-50-80-01), ВСН-2-50-60 (мод. ВСН-2-50-60-01, ВСН-2-80-60, ВСН-2-80-60-01), ВСН-2-50-100 (мод. ВСН-2-50-100-01, ВСН-2-80-100, ВСН-2-80-100-01), ВСН-2-50-02 (мод. ВСН-2-80-02), ВСН-2-50-03 (ВСН-2-80-03), ВСН-2-ПП/10 (мод. ВСН-2-ПП-100-10, ВСН-2-ПП-150-10, ВСН-2-ПП-200-10), ВСН-2-ПП/30 (мод. ВСН-2-ПП-100-30, ВСН-2-ПП-150-30, ВСН-2-ПП-200-30), ВСН-2-ПП/100 (мод. ВСН-2-ПП-100-100, ВСН-2-ПП-150-100, ВСН-2-ПП-200-100), ВСН-2-СП, ВСН-Л-01, ВСН-Л-02, ВСН-Л-03 («Нефтесервисприбор», Россия)
ИК анализаторы спектра	RED EYE 2G, RED EYE MP, RED EYE Multiphase («Weatherford», США); АОЛ 101М («Спецприбор», Россия)
СВЧ влагомеры	OW-101, OW-102 («Agar Corporation», США); FC, LC, LC2, L (диапазон 0 % – 4 %, диапазон 0 % – 10 %, диапазон 0 % – 20 %), M, F («Phase Dynamics», США); LC-WCM, FC-WCM («Roxar Flow Measurement AS», Норвегия); УДВН-1ПМ, УДВН-1ПМ1, УДВН-1ПМ2, УДВН-1ПМ3, УДВН-1ПМ4 (мод. УДВН-1ПМ1, УДВН-1ПМ2, УДВН-1Л (мод. УДВН-1ЛМ, УДВН-1ЛМ1, УДВН-1ЛМ2) («Годсэнд-сервис», Россия); МВН-1.1 (мод. МВН-1.1-01), МВН-1.2 (мод. МВН-1.2-01), МВН-1.3 (мод. МВН-1.3-01) («Нефтесервисприбор», Россия); ПВН-615 («ГодТест», Россия); ЭУДВН-1л («Норма-Тест», Россия); ВТН-1П («Саратовнефтегаз», Россия)

На рис. 1 представлена доля рынка производимых влагомеров по группам материалов по состоянию на март 2015 года. Как видно из диаграммы, для сыпучих материалов наибольшее распространение получили диэлькометрические влагомеры. Такой выбор фирм-производителей является не случайным и обусловлен наличием у них ряда преимуществ [19, 20]. Прежде всего, это достаточно высокая точность определения влажности, высокая чувствительность, широкий диапазон измерений, возможность проведения экспресс-оценки, простота конструкции и относительная дешевизна изготовле-

ния. Процент ИК влагомеров-сушилок в общем объеме производимых влагомеров также довольно высок и составляет порядка 30 %. Причиной тому являются высокая точность определения влажности (термогравиметрический метод, положенный в основу измерения данными влагомерами, является образцовым и используется при калибровке других влагомеров), универсальность, т.е. возможность их применения для различных материалов, а также работа в полном диапазоне измерения (0–100) %. Однако данные влагомеры совершенно неприменимы в тех случаях, когда необходимо контролировать

влажность в потоке вещества. Кроме того, недостатком является большая продолжительность определения влажности, которая в некоторых случаях может достигать нескольких часов. Спрос на кондуктометрические влагомеры и ИК анализаторы спектра составляет порядка 12 %. Наименее представлены на мировом рынке СВЧ влагомеры. Одной из

основных причин этого является высокая восприимчивость данных влагомеров к различного рода помехам, что, естественно, отражается на результатах измерения [21]. Использование СВЧ влагомеров является оправданным в случаях, когда необходимо проводить бесконтактные измерения либо измерения с высоким верхним пределом содержания влаги.

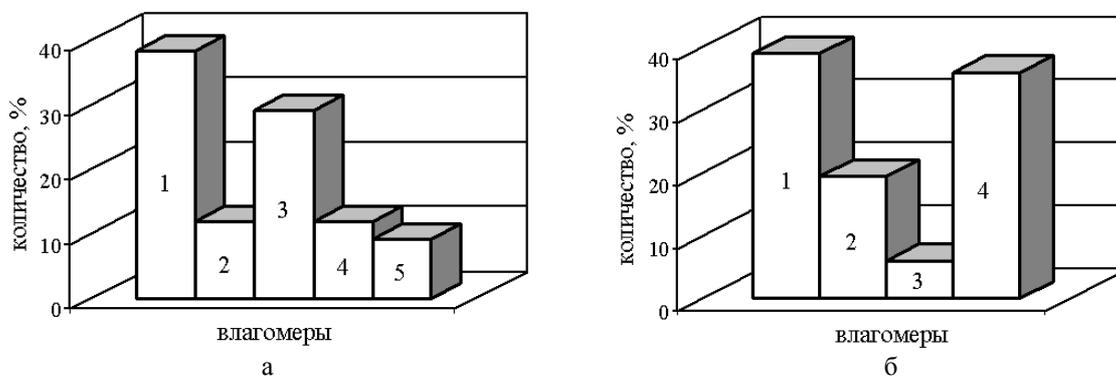


Рис. 1. Доля рынка производимых влагомеров:
 а – для сыпучих материалов; б – для нефтепродуктов;
 1 – диэлектрические влагомеры; 2 – кондуктометрические влагомеры
 3 – ИК влагомеры-сушилки; 4 – ИК анализаторы спектра; 5 – СВЧ влагомеры

Что касается нефтепродуктов, ситуация является аналогичной сыпучим материалам, за исключением того, что использование ИК влагомеров-сушилок не является возможным. Таким образом, диэлектрические влагомеры занимают 39 % всех производимых моделей, порядка 36 % занимают СВЧ влагомеры, производство ИК анализаторов спектра и кондуктометрических влагомеров в сумме составляет 25 %.

Одним из основных факторов при выборе влагомеров является точность измерения. В ходе анализа рынка влагомеров проведена сравнительная оценка метрологических характеристик выпускаемых приборов. Результаты оценки представлены в табл. 3 и 4.

Исходя из анализа неопределённостей измерения влажности сыпучих материалов, приведенных в табл. 3, видно, что наиболее точными являются ИК влагомеры-сушилки. Неопределённость измерений влажности диэлектрическими влагомерами со-

ставляет 0,5 % в диапазоне (0...20) % и 1,5 % в диапазоне (20...45) %. Для нефтепродуктов (табл. 4) наилучшими точностными характеристиками обладают СВЧ влагомеры, а наихудшими – диэлектрические и ИК анализаторы спектра. Касательно диэлектрических влагомеров следует отметить, что их неопределённость может быть уменьшена за счёт компенсации влияния сорта материала. Суть проблемы «сортовой неопределённости» измерений диэлектрическими влагомерами связана с существующей зависимостью влажности от диэлектрической проницаемости (сорта) вещества. Одним из наиболее эффективных способов решения данной проблемы, по мнению авторов статьи, является применение тестовых методов.

Результатом анализа метрологических характеристик влагомеров являются диаграммы, приведенные на рис. 2. Диаграммы показывают соотношение неопределённостей различных групп влагомеров.

Таблица 3

Метрологические характеристики влагомеров сыпучих материалов

№ п/п	Тип влагомера	Диапазон, %	Неопределённость, %	Диапазон, %	Неопределённость, %
1	Диэлектрические	0...20	0,5	20...45	1,5
2	Кондуктометрические	5...20	0,5	20...50	2,0
3	ИК влагомеры-сушилки	0...100	0,01	–	–
4	ИК анализаторы спектра	0...100	0,05	–	–
5	СВЧ влагомеры	0...100	0,1	–	–

Таблиця 4

Метрологічні характеристики вологи вимірювачів нафтопродуктів

№ п/п	Тип вологи вимірювача	Діапазон, %	Неопределён., %	Діапазон, %	Неопределён., %	Діапазон, %	Неопределён., %
1	Дієлькометричні	0...20	0,5	20...60	1,5	60...100	2,5
2	Кондуктометричні	0...10	0,4	10...60	0,8	60...100	1,5
3	ИК аналізатори спектра	0...20	0,85	20...60	1	60...100	2
4	СВЧ вологи вимірювачі	0...10	0,2	10...60	0,5	60...100	1,4

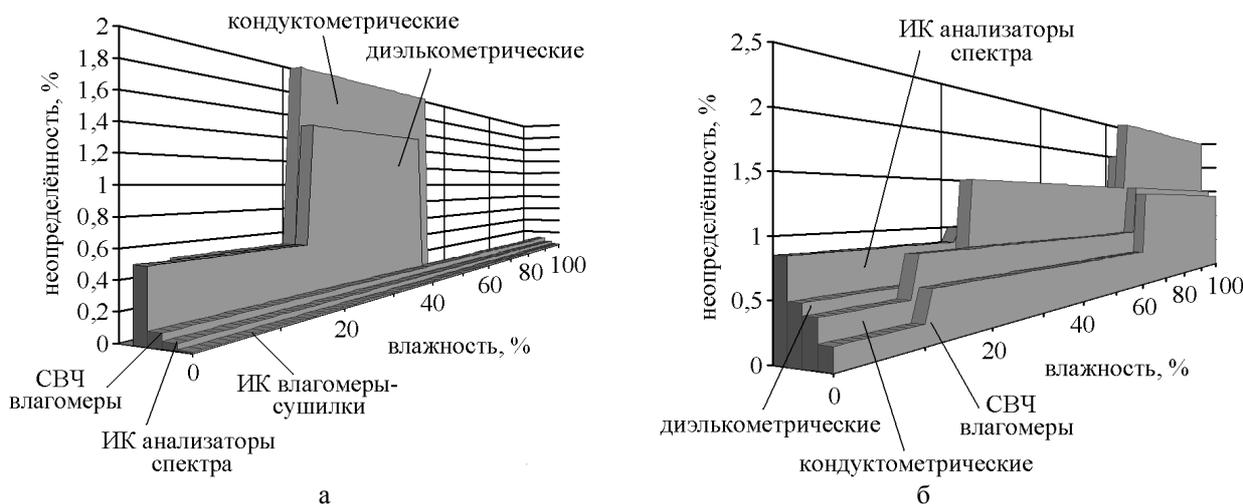


Рис. 2. Неопределённости измерения влажности:

а – для сыпучих материалов; б – для нефтепродуктов;

1 – диэлектрические влагомеры; 2 – кондуктометрические влагомеры; 3 – ИК влагомеры-сушилки; 4 – ИК анализаторы спектра; 5 – СВЧ влагомеры

Выводы

Таким образом, в ходе проведённого исследования, авторами статьи осуществлён анализ рынка влагомеров и методов определения влажности различных материалов. В результате анализа установлено, что по объёму производства лидирующее положение как для сыпучих материалов, так и для нефтепродуктов занимают диэлектрические влагомеры. Наилучшими точностными характеристиками обладают ИК влагомеры-сушилки. Несколько ниже точность ИК анализаторов спектра и СВЧ влагомеров. Неопределённость диэлектрических влагомеров составляет порядка 0,5 %, однако, как показывает практика, для большинства случаев измерения влажности такой точности вполне достаточно. Также, говоря о диэлектрических влагомерах, следует отметить их простоту изготовления и использования, а также относительную дешевизну в сравнении с другими влагомерами. Таким образом, принимая во внимание все полученные в результате анализа показатели, можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением для дальнейших исследований следует считать диэлектрический метод определения влажности.

Литература

1. Исполнительный комитет Содружества Независимых Государств. Современное состояние нефтеперерабатывающей промышленности и рынка нефтепродуктов в государствах – участниках СНГ [Текст] : информационно-аналитический обзор. – М., 2015. – 33 с.
2. Макаренко, А. Б. Обоснование инвестиционной привлекательности нефтеперерабатывающей отрасли Украины на примере ЗАО «Линик» [Текст] / А. Б. Макаренко, Я. В. Даньшова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2010. – № 50. – С. 95–98.
3. Энергетика : история, настоящее и будущее [Текст] / В. И. Бондаренко [и др.] // Собр. соч. : в 5 т. / В. И. Бондаренко. – К. : АДЕФ-Украина, 2011. – Т. 1 : От огня и воды к электричеству. – 264 с.
4. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. – Введ. 08.01.2002. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 11 с.
5. Пат. CN 104364646 A Кумай, МПК G 01 N 33/44, F 26 B 21/08. Method and apparatus for

determining and controlling water [Text] / Pahwa D. [et al.] ; заявитель и патентообладатель Bry Air (Asia) Pvt. Ltd. – CN 201280070236 ; заявл. 19.12.2012 ; опубл. 18.01.2015. – 19 с. : ил.

6. Пат. US 20110169507 A1 США, МПК G 01 R 27/04. Methods and apparatus for the determination of moisture content [Text] / Mershin A. [et al.] ; заявитель и патентообладатель WHLK, LLC d/b/a Voltree Power. – US 12/987,037 ; заявл. 07.01.2011 ; опубл. 14.07.2011. – 18 с. : ил.

7. Пат. US 7661296 B2 США, МПК G 01 N 17/00, G 01 N 5/02. Method and device for determination of moisture content and solid state phase of solids using moisture sorption gravimetry and near infrared or Raman spectroscopy [Text] / Dziki W. ; заявитель и патентообладатель Abbott Laboratories. – US 11/932,069 ; заявл. 31.10.2007 ; опубл. 16.02.2010. – 51 с. : ил.

8. Golub, E, Synthesis of test actions for capacitive moisture meter that is invariant to change of substance type [Text] / E. Golub, A. Zablotnyj // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international quarterly journal on motorization, vehicle operation, energy efficiency and mechanical engineering. – 2014. – Vol. 14, No 2. – P. 43–52.

9. Заболотный, А. В. Поиск эффективного способа измерения влажности сыпучих материалов [Текст] / А. В. Заболотный, Н. Д. Кошевой, А. Н. Самаров // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка. – 2008. – Вып. 15. – С. 50–57.

10. Секанов, Ю. П. Некоторые тенденции развития влагометрии сельскохозяйственных материалов за рубежом [Текст] / Ю. П. Секанов // Измерительная техника. – 1990. – № 6. – С. 58–61.

11. Крушевский, Ю. В. Влияние массообмена воды на точность измерения влажности зерна [Текст] / Ю. В. Крушевский, Я. А. Бородай // Наукові праці ВНТУ. – 2007. – № 1. – С. 20–21.

12. Теренин, И. Н. Разработка и исследование измерительного преобразователя влажности судового топлива и водотопливных эмульсий [Текст] / И. Н. Теренин // Вестник Астраханского государст-

венного технического университета. – 2004. – № 1. – С. 199–203.

13. Поточные влагомеры [Электронный ресурс] : каталог / Zernolab. Лабораторное оборудование. – Режим доступа : <http://www.zernolab.ru/shop/moisture-content/flow-humidity-meters/>. – 10.04.2015.

14. Анализаторы зерна [Электронный ресурс] : каталог / Технотест. Лабораторное и технологическое оборудование. – Режим доступа : <http://technotest.com.ua/grain-analyzer.html>. – 10.04.2015.

15. Влагомеры [Электронный ресурс] : каталог / Аналитприбор. – Режим доступа : <http://analitpribor.com.ua/catalog/opredelenie-vlazhnosti>. – 10.04.2015.

16. Влагомеры [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Нефть-газ. – Режим доступа : <http://www.himi.oglib.ru/bgl/948/38.html>. – 10.04.2015.

17. Влагомеры [Электронный ресурс] : каталог / СпецТехноРесурс. – Режим доступа : <http://td-str.ru/search.aspx>. – 10.04.2015.

18. Поточные влагомеры [Электронный ресурс] : каталог / Комплект. – Режим доступа : <http://vlagomery-nefti.ru/katalog-vlagomerov.html>. – 10.04.2015.

19. Пат. US 4896795 A США, МПК F 26 B 25/22. Grain moisture sensor [Text] / Ediger R. J., Boelts R. ; заявитель и патентообладатель Ediger R. J., Boelts R. – US 07/144,187 ; заявл. 15.01.1988 ; опубл. 30.01.1990. – 15 с. : ил.

20. Taghinezhad, J, Development of a Capacitive Sensing Device for Prediction of water content in sugarcane stalks [Text] / J. Taghinezhad, R. Alimardani, A. Jafari // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2012. – Vol. 44. – P. 61–68.

21. Пат. US 6278412 B1 США, МПК G 01 N 22/04. Method and means for moisture measurement [Text] / Kelly R. K., Kuchar K. M. ; заявитель и патентообладатель Votax Pty Ltd. – US 09/262,152 ; заявл. 03.03.1999 ; опубл. 21.08.2001. – 15 с. : ил.

Поступила в редакцию 15.05.2015, рассмотрена на редколлегии 18.06.2015

КОМПЕНСАЦІЯ «СОРТОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ» ВИМІРЮВАНЬ ВОЛОГОСТІ ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИМИ ВОЛОГОМІРАМИ. ЧАСТИНА 1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ РЕЧОВИН

К. Ю. Голуб, О. В. Заболотний

Проведено пошук способу або групи способів вимірювання вологості в рамках діелькометричного методу, що дозволяють компенсувати вплив сорту матеріалу на результат вимірювання. Результати пошуку відображено у двох частинах. У першій частині здійснено аналіз існуючих методів визначення вологості

речовин. Виявлено методи, що одержали найбільше поширення в сучасній вологометрії: діелькометричний, кондуктометричний, інфрачервоної сушки (термогравіметричний), метод аналізу спектра в інфрачервоному діапазоні і надвисокочастотний. Побудовано діаграми, що відображають частку ринку і метрологічні характеристики вологомірів, що виготовляються, в межах кожного методу. В результаті порівняння декількох методів і загального аналізу світових тенденцій в області вологометрії обрано діелькометричний метод визначення вологості. З метою вирішення проблеми сортової залежності діелькометричних вологомірів у другій частині даної роботи проведено аналіз способів, що дозволяють компенсувати вплив сорту речовини. В результаті даного аналізу обрано групу способів визначення вологості з використанням тестових методів, що здається найбільш перспективною.

Ключові слова: вологість, діелькометричний метод, кондуктометричний метод, метод інфрачервоного усуніння, метод аналізу спектра в інфрачервоному діапазоні, НВЧ метод.

**COMPENSATION OF «UNCERTAINTY OF SUBSTANCE TYPE»
OF MOISTURE MEASUREMENTS BY CAPACITIVE MOISTURE METERS.
PART 1. COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION
OF SUBSTANCES MOISTURE**

K. Yu. Holub, O. V. Zabolotnyi

It is carried out the search of the method or methods group for moisture measurement within a capacitive method allowing to compensate influence of substance type on the result of measurement. The search results are presented in two parts. In the first part the analysis of existing methods for substances moisture determination is carried out. The most widespread methods in a modern moisture measurement science are revealed. These are such methods as: capacitive, conductivity, infrared drying (thermogravimetric), method of spectrum analysis in infrared range and microwave. The charts showing a share of the market and metrological characteristics of the produced moisture meters within each method are constructed. As a result of comparison of several methods and carrying out the general analysis of world tendencies in the field of moisture measurement science it is chosen the capacitive method for moisture measurement determination. For a solution of the problem of substance type dependence for capacitive moisture meters in the second part of this work it is carried out the analysis of the methods allowing to compensate substance type influence. As a result of this analysis it is chosen the group of methods for moisture determination with use of test methods seeming the most perspective.

Key words: moisture, capacitive method, conductivity method, infrared drying method, method of spectrum analysis in infrared range, microwave method.

Голуб Екатерина Юрьевна – аспирант каф. авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»; инженер отдела 13060 НПП ХАРПРОН-АРКОС ЛТД, Харьков, Украина, e-mail: golub-ekaterina@bk.ru.

Заболотный Александр Витальевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: zzz77714@meta.ua.