

УДК 621.317.39

О. В. Заболотний, к.т.н.*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ СИПКИХ РЕЧОВИН**

Досліджено спосіб вимірювання вмісту вологи, який дозволяє здійснювати ефективну компенсацію «сорової невизначеності». При цьому первинний перетворювач сформовано з чотирьох вимірювальних конденсаторів, призначених для занурення у досліджуваний матеріал або для заповнення цим матеріалом. Два з чотирьох конденсаторів заповнюються пробою досліджуваної речовини або занурюються в неї, решта – заповнюються пробою такої ж речовини, але попередньо зневодненої.

Ключові слова: *вміст вологи, дієлкометричний вологомір, діелектрична проникність, «сорова невизначеність», первинний перетворювач*

Вступ. Вміст вологи має істотний вплив на властивості багатьох матеріалів. Наприклад, надмірний вміст вологи у зерні призводить до зменшення частки поживних речовин, скорочення терміну зберігання, погіршується натура зерна, сипкість і опір роздавлюванню [1]. Також слід зазначити будівельні матеріали і розчини, для яких контроль вмісту вологи є важливим завданням [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток вологометрії на сучасному етапі означений пошуком нових технічних рішень, що дозволяють враховувати максимальну кількість чинників, і, разом з цим, забезпечують простоту засобів вимірювання. Суть вимірювань вмісту вологи, як і раніше, полягає у використанні класичних методів безпосереднього оцінювання або порівняння з мірою. За цих обставин сорт або тип досліджуваної речовини, що для дієлкометричних вологомірів представлений діелектричною проникністю цієї речовини у зневодненому стані, має істотний вплив на результат вимірювання вмісту вологи [3, 4].

Одним із способів вимірювання, який дозволяє компенсувати вплив зміни сорту речовини, є спосіб, в якому первинний вимірювальний перетворювач сформовано з чотирьох вимірювальних конденсаторів, що утворюють дві пари. Одну з цих пар заповнюють речовиною, вміст вологи якої потрібно визначити, а другу пару – зневодненим зразком цієї речовини. У джерелі [5] визначено статичну характеристику перетворення і чутливість запропонованого способу, в той час як у джерелах [6, 7] запропоновано конкретні технічні рішення для конструкції первинного вимірювального перетворювача і варіанти електричних схем для вторинного перетворення значень чотирьох електричних ємностей, функціонально пов'язаних із вмістом вологи, в резуль-

тат вимірювання. Теоретичні дослідження метрологічних характеристик засобу вимірювання вмісту вологи, розробленого у відповідності із запропонованим способом, наведено у джерелах [8, 9], де доведено, що такий вологомір забезпечує більш якісну компенсацію зміни сорту, температури і гранулометричного складу досліджуваної речовини.

Мета дослідження. Основна мета дослідження полягає у проведенні серії експериментів для визначення рівня впливу сорту речовини на результат вимірювання вмісту вологи у відповідності із способом, описаним у [5–7] і порівняння отриманих результатів із класичним диференціальним методом вимірювання.

Наукові результати. Первинний вимірювальний перетворювач вмісту вологи було виготовлено у відповідності з матеріалом, наведеним у [5–7]. Він представляє собою спрощену з точки зору технології виготовлення модель, але з фізичної і математичної точки зору працює подібно до конструкції, згаданої вище (рис. 1).



Рисунок 1 – Одна з двох ідентичних частин первинного вимірювального перетворювача

Конструкція, представлена на рис. 1, містить два конденсатори, один з яких має більшу (47 пФ), а другий меншу (15 пФ) електричну ємність. Внизу є 4 клеми для підключення цих конденсаторів до вторинного вимірювального перетворювача. Дві таких ідентичних частини

формують первинний вимірювальний перетворювач. Кожну з них розміщують у власному контейнері, як показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на корпусі

Щодо вмісту вологи, у відповідності з [10] під час перевірки відповідних засобів вимірювання потрібні значення у контрольних точках відтворюють за допомогою комплекту державних стандартних зразків: ГСО 713-75, ГСО 714-75, ГСО 715-75 в діапазоні вмісту вологи від 8 до 35 % з абсолютною похибкою атестованого значення 0,3 % або комплект ГСО 4334-89, ГСО 4335-89, ГСО 4336-89 в діапазоні вмісту вологи від 8 до 35 % з абсолютною похибкою атестованого значення 0,2 %.

Згідно з методикою вимірювань, вказану в експлуатаційній документації на вологомір конкретного типу, здійснюють послідовне заповнення первинного перетворювача вологоміра кожним типом стандартного зразка і фіксують результат вимірювання.

Але, зважаючи на те, що нам необхідні зразки не тільки заданого вмісту вологи, але й різної діелектричної проникності у зневодненому стані, і, крім того, різного гранулометричного складу, було прийняте рішення готувати проби для досліджень самостійно.

У зв'язку з цим, слід звернути увагу ще на один момент. Як відмічено у [11], після засипання дослідної проби зерна в контейнер первинного вимірювального перетворювача (як в об'ємі зернової маси, так і на границі стінки контейнера і зерна) відбуваються процес волого обміну (як у напрямку «вивільнення», так і у напрямку зв'язування вологи), які призводять до того, що значення діелектричної проникності змінюється у часі. Процеси, які протікають у об'ємі дослідної проби зерна після її засипання у контейнер-конденсатор можна пояснити у такий спосіб. Коли зернова маса дослідної проби в контейнері знаходиться у стані спокою, на зв'язок молекул води зі структурою зерновки впливають два фактори: «зв'язування» активними центрами сорбції

поверхні зерна і «вивільнення» в об'ємі менісків, які утворюються в місцях торкання зерен до стінок контейнера і між собою в об'ємі досліджуваної проби. У момент засипання зерна в контейнер усі меніски руйнуються і відбувається вивільнення енергії, в наслідок чого молекули води стають більш зв'язаними, що призводить до зменшення діелектричної проникності. Після завершення процесу засипання формується новий стан спокою для зерна і відбувається зворотній процес поглинання енергії з об'єму проби, що призводить до зменшення ступеня зв'язку між молекулами води і структурою зерновки і збільшенню діелектричної проникності. Через певний проміжок часу, який залежить від співвідношення вільної і зв'язаної вологи в зерні, процеси вивільнення і зв'язування молекул води врівноважуються.

Згадані процеси істотно впливають на точність дієлькометричних вологомірів і мають складний характер, який залежить від матеріалу стінок (обкладинок) чутливого елемента, а інтенсивність обміну вологою залежить від рівня зволоження дослідної проби зерна.

Необхідно зауважити, що обмін вологи в об'ємі дослідної проби зерна істотно впливає на результат вимірювання лише у приладах насипного (лабораторного) типу, а для проточних вологомірів, в яких об'єкт дослідження постійно рухається, вивільнення молекул води у меніски практично не відбувається, оскільки вони постійно руйнуються у процесі транспортування зерна.

Отже, для підвищення точності результатів дієлькометричних вологомірів необхідно врахувати вплив обміну вологи, який здійснюється як у об'ємі досліджуваної проби, так і на границі «стінка контейнера – зерно». З графіків залежності діелектричної проникності щойно насипаної проби зерна від часу, наведених у [11] видно, що час до моменту рівноваги проби зерна після засипання складає приблизно 40 хвилин. Цю інформацію було враховано під час підготовки проб і проведенні вимірювань.

Для проведення експериментальних досліджень необхідно відтворювати вміст вологи у точках 0 %, 10 %, 20 % і 30 % для певної групи речовин з різними значеннями діелектричної проникності. Для отримання таких проб необхідно здійснити попереднє висушування речовини для максимально можливого видалення вологи. Спочатку було визначено масу чотирьох мірних ємностей з точністю до 0,01 г. Чотири проби речовини масою 500 г кожна розміщувались у ємностях, розрівнювались і зважувались.

Потім ємності з відкритими кришками було розміщено у сушильній шафі, нагрітій до темпе-

ратури 120 °С, з висушуванням протягом 1,5 годин. В нашому випадку було використано сушильну шафу SNOL 58/350 і точні аналітичні ваги типу SNUG II-60. Після висушування ємності накривали кришками з метою запобігання попадання вологи і охолоджували в сушильній шафі до температури +20 °С. Масу ємностей з речовиною вимірювали з точністю до 0,01 г з фіксацією результатів. Після цього ємності знову розміщували в сушильній шафі і повторювали процедуру сушіння, описану раніше. Повторне сушіння здійснювали до тих пір, поки маса проби стане незмінною. Цей стан є рівнозначним повному видаленню вологи з речовини.

В якості першої проби речовини (вміст вологи 0 %) може бути використана будь-яка з проб, отриманих після сушіння. Друга проба може бути отримана шляхом додавання у першу ємність 50 г води (10 % від загального об'єму речовини). Для отримання третьої проби додають 100 г води (20 %), четвертої – 150 г (30 %). Потім вміст кожної ємності старанно перемішують для рівномірного розподілу води.

При роботі з зерном необхідно враховувати той факт, що наявність вологи в зерні призводить до активізації у ньому фізіологічних і фізико-хімічних процесів: поглинання вологи, набухання, пророщування тощо. Саме тому в зерні практично завжди відсутня вільна волога. В нашому випадку для імітації реальних умов необхідно накрити приготувані проби кришками для запобігання процесу вологообміну між пробою і навколишнім середовищем і залишити їх у такому стані на 1 годину – зерно повинно всмоктати вільну вологу.

Теоретично, для вимірювання електричної ємності первинного перетворювача можна використати мультиметр з функцією вимірювання ємності. Нажаль, наявний перелік RLC-метрів та вимірювачів ємності, портативних і стаціонарних мультиметрів, як і три типи Q-метрів, виявились неспроможними правильно вимірювати електричну ємність в нашому випадку через значний рівень діелектричних втрат у вологих зразках. Тому було розроблено спеціальний вторинний перетворювач «ємність – тривалість імпульсів – стала напруга» (рис. 3).

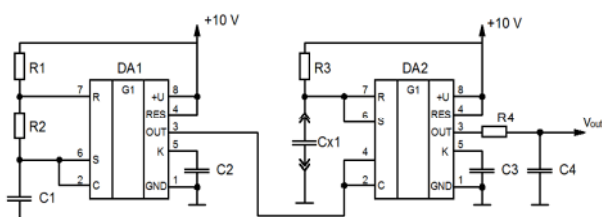


Рисунок 3 – Схема електрична принципова перетворювача ємність-напруга

Перетворювач ємність-напруга реалізовано на базі двох таймерів типу 555 або 777, де таймер DA1 включено за схемою мультивібратора і який є генератором прямокутних імпульсів. Таймер DA2, до якого підключено первинний перетворювач C_{x1} , працює як одновібратор, тривалість імпульсів на виході якого прямо пропорційна ємності первинного перетворювача. Фільтр нижніх частот R_4C_4 працює як перетворювач тривалості імпульсів у сталу напругу в діапазоні від 0,000 до 2,000 вольт.

Процес підготовки до вимірювань показано на рис. 4. Спочатку первинний перетворювач заповнювали приготованою пробою і під'єднували до вторинного перетворювача. Осцилограф застосовано для контролю форми і тривалості вихідних імпульсів, а цифровий мультиметр – для вимірювання сталої напруги на виході схеми. Значення сталої напруги фіксувалось оператором.



Рисунок 4 – Реалізація вимірювальної процедури

На другому етапі первинний перетворювач з пробою матеріалу від'єднували від схеми і замінювали змінним повітряним конденсатором, здатним змінювати значення ємності в діапазоні 5...760 пФ. Електрична ємність повітряного конденсатора у відповідності з методом заміщення повільно збільшувалась до тих пір, поки значення напруги на виході схеми не ставало рівним значенню, зафіксованому оператором. Потім повітряний конденсатор від'єднували від схеми, і його ємність вимірювалась з високою точністю. Результат вимірювання електричної ємності формувався як середнє арифметичне для десяти результатів спостережень в кожній точці.

Таким чином, використовуючи метод заміщення, вдалося з достатньою точністю вимірювати електричну ємність датчика з речовиною, що має високий вміст вологи.

Під час вибору досліджуваних речовин було

важливо, щоб їх діелектрична проникність була різною і варіювалась у достатньо широких межах, у відповідності з умовами теоретичних досліджень.

Таким чином, враховуючи усі міркування, в нашому випадку було обрано такі речовини: перлова крупа, мак, пшоно, половинки гороху і пшенична крупа. Для формування зневоднених

проб зерна ці речовини було висушено у низькотемпературній лабораторній сушильній шафі SNOL 58/350 у відповідності з [12] без попереднього підсушування проб.

Результати вимірювання електричних ємностей первинного перетворювача, заповненого згаданими вище речовинами у зневодненому стані, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання ємностей первинного перетворювача з сухим зерном

Перлова крупа											\bar{C}
C_3 , пФ	178	179	180	179	179	178	180	179	179	181	179,2
C_4 , пФ	57	55	56	56	55	57	56	57	57	55	56,1
Мак											\bar{C}
C_3 , пФ	169	172	169	168	170	170	168	169	169	168	169,2
C_4 , пФ	54	52	51	55	52	53	51	53	55	50	52,6
Пшоно											\bar{C}
C_3 , пФ	151	150	153	150	152	152	150	149	151	153	151,1
C_4 , пФ	48	46	48	45	47	47	46	48	46	46	46,7
Горох											\bar{C}
C_3 , пФ	142	141	141	143	142	142	141	140	141	141	141,4
C_4 , пФ	45	44	46	46	45	47	45	46	46	45	45,5
Пшенична крупа											\bar{C}
C_3 , пФ	123	124	120	122	124	122	121	120	121	123	122,0
C_4 , пФ	39	37	40	37	36	39	38	38	37	37	37,8

Після цього було здійснено нову серію вимірювань з пробами зерна, приготованими за

вказаною вище методикою. Отримані результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання ємностей первинного перетворювача з вологим зерном

$W, \%$	10		20		30	
	\bar{C}_1 , пФ	\bar{C}_2 , пФ	\bar{C}_1 , пФ	\bar{C}_2 , пФ	\bar{C}_1 , пФ	\bar{C}_2 , пФ
Перлова крупа	240,3	76,9	312,3	99,8	398,6	137,9
Мак	224,6	69,1	282,7	87,0	351,4	112,5
Пшоно	200,5	62,3	253,6	79,2	317,0	103,2
Горох	186,1	58,6	236,3	75,7	298,7	97,7
Пшенична крупа	159,8	48,2	209,0	67,1	261,6	84,5

Слід зазначити, що в таблиці 2 значення ємностей \bar{C}_1 і \bar{C}_2 були обчислені як середні арифметичні десяти спостережень. У відповідності з [5], результат вимірювання вмісту вологи обчислюють з виразу

$$W = K((C_1 - C_2)/(C_3 - C_4)).$$

Проведена перевірка припускає, що тип досліджуваної речовини не повинен впливати на

результат вимірювання вмісту вологи. Практичні результати перевірки представлені у таблиці 3, де вміст вологи $W_{розр}$ був обчислений за формулою

$$W_{розр} = 28,599 \cdot (f(W) - 1).$$

Графічне зображення цих розрахунків наведено на рисунку 5, який ілюструє розбіжність статичної характеристики перетворення для різних матеріалів.

Таблиця 3 – Результати обчислень вмісту вологи для різних матеріалів

	Перлова крупа				Мак				Пшоно			
W	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,327	1,726	2,118	1	1,333	1,678	2,049	1	1,324	1,670	2,048
$W_{розр}$	0	9,35	20,76	31,96	0	9,52	19,39	30,00	0	9,27	19,18	29,97

Продовження таблиці 3

	Горох				Пшениця			
W	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,329	1,675	2,096	1	1,325	1,685	2,103
$W_{розр}$	0	9,41	19,30	31,34	0	9,31	19,60	31,54

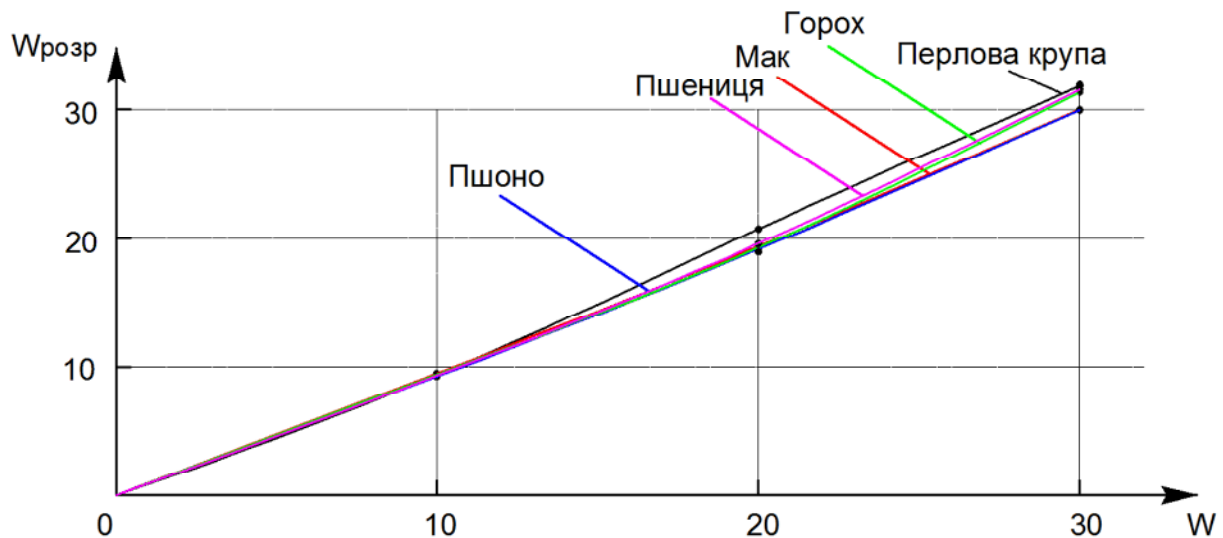


Рисунок 5 – Результати обчислень вмісту вологи для досліджуваних матеріалів

Порівняємо отримані результати з класичною диференційною схемою. Для цього випадку результат вимірювання вмісту вологи визначають за формулою

$$W = K(C_1/C_3).$$

таблиці 4. Вміст вологи $W_{розр}$ був обчислений за формулою

$$W_{розр} = 26,432 \cdot (f(W) - 1).$$

Графічне зображення цих розрахунків наведено на рис. 6.

Практичні результати перевірки представлені у

Таблиця 4 – Результати обчислень вмісту вологи для класичної диференційної схеми

	Перлова крупа				Мак				Пшоно			
W	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,341	1,743	2,224	1	1,327	1,671	2,077	1	1,327	1,678	2,098
$W_{розр}$	0	9,01	19,64	32,35	0	8,64	17,73	28,40	0	8,64	17,92	29,02

Продовження таблиці 4

	Горox				Пшениця			
W	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,316	1,671	2,112	1	1,309	1,713	2,144
$W_{розр}$	0	8,35	17,74	29,39	0	8,16	18,85	30,24

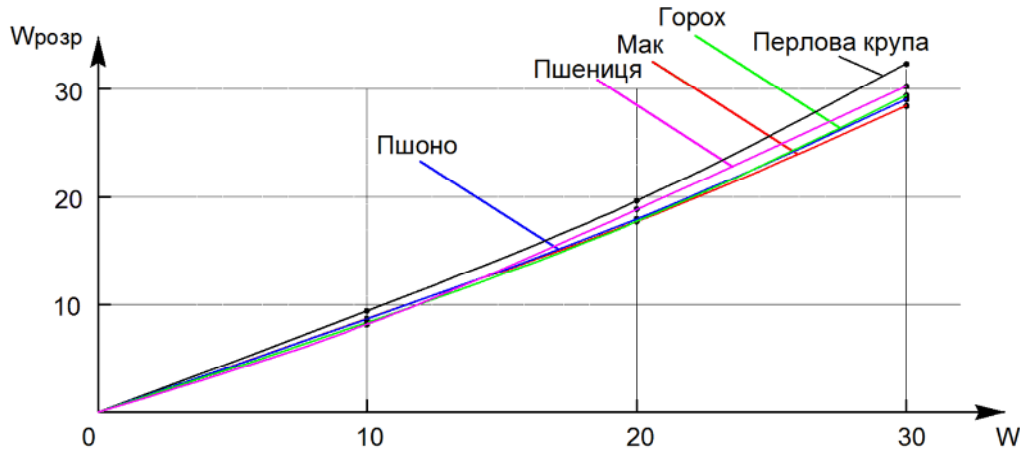


Рисунок 6 – Результати обчислень вмісту вологи для класичної диференційної схеми

В таблиці 4 представлено експериментальні дослідження для випадку, коли тільки два вимірювальних конденсатори первинного перетворювача заповнюються досліджуваними пробами вказаних вище матеріалів з додаванням необхідної кількості води. Значення електричних ємностей, взяті, як і раніше, шляхом усереднення результатів десяти спостережень. Під час проведення експериментів було використано той самий первинний перетворювач, причому вимірю-

вали тільки електричні ємності конденсаторів C_1 і C_3 .

Для кількісного порівняння розбіжності результатів обчислень, отриманих за допомогою наведених вище формул, з номінальним вмістом вологи досліджуваних матеріалів доцільно використати критерій узгодженості Пірсона. Результати порівняння наведено нижче. Для таблиці 3 маємо

$$\chi^2 = \frac{(9,35-10)^2}{10} + \frac{(20,76-20)^2}{20} + \frac{(31,96-30)^2}{30} + \frac{(9,52-10)^2}{10} + \frac{(19,39-20)^2}{20} + \frac{(30-30)^2}{30} + \frac{(9,27-10)^2}{10} + \frac{(19,18-20)^2}{20} + \frac{(29,97-30)^2}{30} + \frac{(9,41-10)^2}{10} + \frac{(19,3-20)^2}{20} + \frac{(31,34-30)^2}{30} + \frac{(9,31-10)^2}{10} + \frac{(19,6-20)^2}{20} + \frac{(31,54-30)^2}{30} + \frac{(9,47-10)^2}{10} + \frac{(19,96-20)^2}{20} + \frac{(31,68-30)^2}{30} + \frac{(9,01-10)^2}{10} + \frac{(18,96-20)^2}{20} + \frac{(31,91-30)^2}{30} = 0,877.$$

Для таблиці 4 маємо

$$\chi^2 = \frac{(9,35-10)^2}{10} + \frac{(20,76-20)^2}{20} + \frac{(31,96-30)^2}{30} + \frac{(9,52-10)^2}{10} + \frac{(19,39-20)^2}{20} + \frac{(30-30)^2}{30} + \frac{(9,27-10)^2}{10} + \frac{(19,18-20)^2}{20} + \frac{(29,97-30)^2}{30} + \frac{(9,41-10)^2}{10} + \frac{(19,3-20)^2}{20} + \frac{(31,34-30)^2}{30} + \frac{(9,31-10)^2}{10} + \frac{(19,6-20)^2}{20} + \frac{(31,54-30)^2}{30} + \frac{(9,47-10)^2}{10} + \frac{(19,96-20)^2}{20} + \frac{(8,81-10)^2}{10} + \frac{(18,39-20)^2}{20} + \frac{(30,05-30)^2}{30} + \frac{(8,51-10)^2}{10} + \frac{(18-20)^2}{20} + \frac{(29,79-30)^2}{30} = 2,897.$$

Критерій узгодженості Пірсона було застосовано для контрольних точок об'ємного вмісту вологи 0, 10, 20 і 30 відсотків п'ятих досліджуваних речовин з метою дослідження сумарної розбіжності між номінальними значеннями вмісту вологи W і результатами обчислень $W_{розра}$. Результати розрахунків χ_1^2 і χ_2^2 показали, що для запропонованого способу вимірювання вплив зміни сорту речовини на результат визначення вмісту вологи є меншим, ніж для класичної диференційної схеми.

Висновки

Проведено серію експериментальних досліджень способу визначення вмісту вологи матеріалів, в якому висока точність вимірювання забезпечується компенсацією додаткової похибки, поява якої викликана зміною сорту досліджуваної речовини. Результат порівняння цього способу з класичним диференціальним методом вимірювання показав меншу чутливість до зміни сорту речовини. Інтегральна відмінність обчислених і номінальних значень вмісту вологи складала $\chi^2 = 0,877$ для запропонованого способу і $\chi^2 = 2,897$ для диференційної схеми вимірювання, тобто розбіжність між розрахунковими і номінальними значеннями вмісту вологи для запропонованого способу вимірювання є значно меншою. Запропонований спосіб вимірювання має і певні недоліки: це деяка втрата чутливості і, що є більш вагомим, неможливість проведення експресних вимірювань через необхідність використання попередньо зневоднених зразків досліджуваних речовин. Саме тому запропонований спосіб вимірювання доцільно використовувати в лабораторних умовах, коли в наявності у оператора вже є зневоднені зразки досліджуваних речовин, приготувані заздалегідь.

Список використаних джерел

1. Кирпа Н. Я. Хранение без потерь и ухудшения качества [Текст] / Н. Я. Кирпа // *Зерно: всеукр. журн. совр. агропромышленника*. – Київ: ТОВ «Видавництво «Зерно». – 2011. – № 6. – С. 120–124.
2. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия [Текст]. – Введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 7 с.
3. Лидерман И.С. Методы и приборы для измерения влажности жидких сред в нефтепереработке и нефтехимии [Текст] / И. С. Лидерман. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1972. – 89 с.
4. Кудрявцев А. В. Емкостные измерители влажности жидких сред [Текст] /

А. В. Кудрявцев, В. Н. Шевченко. – Фрунзе: «Илим», 1989. – 53 с.

5. Заболотний О. В. Спосіб вимірювання вологості сипких матеріалів [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. – Вип. 57. – Том 2. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – С. 247–251.

6. Заболотний О. В. Вимірювання вологості нафтопродуктів [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий // *Метрологія та прилади*. – Харків: ДП «Харківстандартметрологія». – 2008. – № 1(9). – С. 36–41.

7. Заболотний А. В. Лабораторный измеритель влажности нефтепродуктов повышенной точности [Текст] / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – Москва: «Научтехиздат». – 2008. – № 3. – С. 48–52.

8. Заболотний О. В. Оцінювання впливу змінного гранулометричного складу сипкого матеріалу на результат вимірювання вологості [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий, А. Н. Саттаров // *Метрологія та прилади*. – Харків: ДП «Харківстандартметрологія». – 2010. – № 1. – С. 25–31.

9. Заболотний О. В. Аналіз метрологічних характеристик перетворювача вологості сипких матеріалів [Текст] / О. В. Заболотний, В. А. Заболотний, М. Д. Кошовий, А. Н. Саттаров // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. – Вип. 24. – К.: ВІКНУ, 2009. – С. 30–37.

10. Р. 50.2.042. – 2004. Рекомендации по метрологии. ГСИ. Влагомеры зерна и продуктов его переработки диэлькометрические. Методика поверки [Текст]. – Введены в действие 28.12.2004. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 11 с.

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. 20–26.

12. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. [Текст]. – Введ. 1993-21-10. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 8 с.

Надійшла до редакції 26.10.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Захаров І. П., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків.

А. В. Заболотний, к.т.н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Исследован способ измерения влагосодержания, который позволяет осуществить эффективную компенсацию «сортовой неопределенности». При этом первичный преобразователь сформирован из четырех измерительных конденсаторов, предназначенных для погружения в исследуемый материал или для заполнения этим материалом. Два из четырех конденсаторов заполняют пробой исследуемого вещества или погружают в нее, оставшиеся два – заполняют пробой такого же материала, но предварительно обезвоженного.

Ключевые слова: *влагосодержание, диэлькометрический влагомер, диэлектрическая проницаемость, «сортовая неопределенность», первичный преобразователь.*

O. V. Zabolotnyi, PhD

EXPERIMENTAL STUDY OF PROMISING METHOD OF MOISTURE CONTENT MEASUREMENT IN BULK MATERIALS

Method of moisture content measurement, that allows to provide effective «type uncertainty» compensation, had been researched. Primary transducer consists of four measuring capacitors, that are intended to be filled with a sample of bulk material or submerged in it. Two of the measuring capacitors should be loaded with a sample of examined material or submerged in it, rest of the capacitors – filled with the same sample, but preliminary dehydrated.

Keywords: *moisture value, dielectric moisture meter, dielectric permittivity, «type uncertainty», initial measuring transducer.*

УДК 621.317.1

О. М. Величко, д.т.н., В. В. Ісасв

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів», м. Київ

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛІБРУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У статті досліджено метод калібрування прецизійних термоелектричних перетворювачів з наявністю в конструкції терморпар на предмет впливу швидкості змінення вихідної термо-ЕРС та варіативності часових інтервалів операції за один цикл вимірювання похибки компарування напруги. Особливістю методу є наявність серед застосованих засобів вимірювання прецизійних компараторів постійної напруги з механічними засобами регулювання внутрішньої міри, що призводить до варіювання часових інтервалів від циклу до циклу. Також неоднаковість необхідного часу виникає через необхідність регулювання вхідного сигналу оператором і занесення показів у протокол.

Ключові слова: *державний еталон, електрична напруга, прецизійний термоперетворювач, дрейф, невизначеність вимірювання.*

Вступ

В Україні на сьогоднішній день функціонує Державний первинний еталон одиниці електричної змінної напруги від 0,1 до 1000 В в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (далі – Державний еталон), який було розроблено і впроваджено в експлуатацію в 2002 році фахівцями ДП «Укрметрестандарт» в Києві.

Цей Державний еталон є складним комплексом засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ): високостабільних джерел змінної та постійної напруги, прецизійних вимірювачів постійної напруги, термоелектричного компаратору напруги тощо. Кожен із зазначених ЗВТ так чи інакше впливає на загальну невизначеність вимірювань (далі – НВ) при відтворенні чи передаванні ін-