

СПОСОБИ КОМПЕНСАЦІЇ “СОРТОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ” ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИХ ВОЛОГОМІРІВ

© Голуб К. Ю., Заболотний О. В., 2015

Проаналізовано способи компенсації “сорткової невизначеності” вимірювань діелектричними вологомірами з використанням тестових методів. Для кожного способу перевірено розрахункові вирази на інваріантність до зміни початкової діелектричної проникності речовини із застосуванням повної формули Вінера. На підставі отриманих даних зроблено висновок про можливість компенсації “сорткової невизначеності” кожним із розглянутих способів та забезпечення збіжності отриманих результатів розрахунку вологості з дійсними значеннями.

Ключові слова: вологість, діелектричний вологомір, тестовий метод, “сорткова невизначеність”, формула Вінера.

In the article, the analysis of methods of “uncertainty of substance type” compensation of measurements by capacitive moisture meters with the use of test methods is carried out. For each method, the check of calculated expressions on invariance to change of substance initial dielectric permeability with application of the full Winer’s formula is carried out. On the basis of the obtained data, the conclusion is drawn about the possibility of “uncertainty of substance type” compensation for each of the considered methods and ensuring of the convergence of received moisture calculation results with the real values.

Key words: moisture, capacitive moisture meter, test method, “uncertainty of substance type”, Winer’s formula.

Постановка проблеми

Близько 40 % всієї експортованої продукції України становить зерно. Крім того, Україна входить у трійку найбільших світових експортерів зернових культур, поступаючись в цьому питанні лише США та ЄС. Однак більша частина української зернової продукції невисокої якості. Так, якщо говорити про пшеницю, то практично неможливим є виробництво пшениці першого і другого класів. В більшості випадків і зерно п’ятого класу доводиться продавати за ціною фуражного, незважаючи на низькі ціни на фуражну пшеницю. Сьогодні основними ринками збуту для України є країни Африки і Азії – найбільші світові імпортери невисокоякісної фуражної пшениці. Для пошуку нових прибутковіших ринків збуту зерна необхідно, щоб зерно, що постачається, відповідало високим світовим стандартам. До загальноприйнятих критеріїв оцінювання якості зерна належать зараженість його шкідниками, кількість битих зерен і різних домішок [1–2]. З цього погляду значно впливає на якість вологість. Відомо, що цінність пшениці визначається наявністю в ній білка і клейковини [3]. Наявність вологи в зерні істотно знижує його цінність, оскільки поживні речовини у цьому випадку змінюються вологою. Також від вологості залежить термін зберігання зерна: якщо вологим зерно залишається на тривалий термін, то його подальше зберігання і обробка стають неможливими. Гранично допустиме (критичне) значення вологості для зернових культур становить 14,5 % [4].

У зв’язку з цим важлива роль відводиться правильному вибору вимірювача вологості, який дає змогу визначити вологість зерна із заданою точністю і мати задовільні ергономічні показники. Найбільше поширення для вимірювання вологості зерна отримали діелектричні вологоміри (рис. 1).

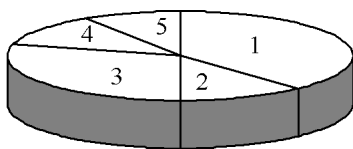


Рис. 1. Частка ринку вологомірів, що виробляються, станом на вересень 2014 року: 1 – діелькометричні вологоміри; 2 – кондуктометричні вологоміри; 3 – інфрачервоні вологоміри-сушарки; 4 – інфрачервоні аналізатори спектра; 5 – надвисокочастотні вологоміри

Вибору світових фірм-виробників на користь діелькометричних вологомірів сприяють простота конструкції даних вологомірів, доволі висока точність, можливість вимірювання вологості зерна в потоці, а також їх відносна дешевизна. Однак ці вологоміри не позбавлені недоліків, до числа яких можна віднести наявність так званої “сортової невизначеності”. Суть проблеми “сортової невизначеності” полягає в наступному. Як відомо, для діелькометричних вологомірів вологість речовини визначається за зміною ємності первинного вимірювального перетворювача (ПВП), заповненого досліджуваною речовиною, відносно ємності того самого ПВП зі зневодненим зразком речовини. Отже, ємність ПВП залежить від вологості поміщеної в нього речовини і, як виявилося, від початкової діелектричної проникності (тобто сорту) цієї речовини. Отже, для того, щоб визначити вологість досліджуваного зерна, необхідно точно знати його сорт, вид тощо, що не у всіх випадках можливо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений авторами аналіз робіт у цій області дослідження дав змогу виділити декілька способів вирішення проблеми “сортової невизначеності” вимірювань діелькометричними вологомірами. Одним з найпоширеніших є спосіб, оснований на вимірюванні ємності первинного перетворювача з досліджуваною речовиною у початковому і зневодненому станах. У патенті [5] пропонується оцінювати вологість рідких діелектриків розділенням потоку рідини в ультразвуковій стоячій хвилі і порівняння діелектричної проникності досліджуваної обводненої проби речовини з діелектричною проникністю зневодненої проби. Основна складність тут полягає в забезпеченні гарантовано повного зневоднення матеріалу. Найчастіше цей процес займає понад декілька десятків хвилин, що робить описаний вище спосіб абсолютно непридатним в умовах контролю вологості технологічного потоку.

Ще одним способом є вимірювання ємності первинного перетворювача з досліджуваною і зразковою речовинами. Приклад реалізації цього способу наведено в патенті [6], коли вологість визначають вимірюванням напруги змінного та постійного струму на зразковому опорі і ємнісному перетворювачі. Отже, цей спосіб дає змогу позбутися сортової залежності. Основна складність у цьому випадку полягає в отриманні зразкової речовини.

Відомим є спосіб визначення вологості за градувальними, калібрувальними та іншими залежностями (патент [7]). Цей принцип покладено в основу роботи більшості існуючих діелькометричних вологомірів. Завдання оператора полягає лише у виборі речовини (наприклад, ріпак, пшениця, ячмінь), вологість якої необхідно контролювати, а вологомір сам видає на дисплей значення вимірюваного параметра. Однак очевидним є той факт, що кількість речовин і сортів однієї і тієї самої речовини настільки велика, що врахувати їх практично неможливо. Саме тому є необхідність у пошуку нових способів компенсації “сортової невизначеності”.

Останнім часом підвищений інтерес викликають тестові методи визначення вологості речовини. У цьому випадку проводять декілька вимірів: вимірюють ємність ПВП з досліджуваним матеріалом; ємність ПВП після введення в досліджуваний матеріал відомої добавки води (один або декілька разів). Після цього розв'язують систему рівнянь відносно діелектричної проникності досліджуваного матеріалу і за отриманою величиною визначають вологість. Ці способи дають змогу добре компенсувати “сортову невизначеність”.

Формулювання цілі статті

Метою дослідження є вибір найпридатнішого способу визначення вологості діелькометричними вологомірами з погляду забезпечення високої точності вимірювань. При цьому складовою, що має

найбільший внесок у величину стандартної невизначеності вимірювань (тип В) дієлькометричними вологомірами, прийнято “сортову невизначеність”. Як об’єкт дослідження розглядають способи визначення вологості із застосуванням тестових методів.

Основний матеріал дослідження

Для досягнення мети дослідження розглянемо наявні тестові методи підвищення точності дієлькометричних вологомірів. Як джерела інформації використовуватимемо патенти, авторські свідоцтва, а також публікації за заданою тематикою.

За патентом [8] рідину, вологість якої контролюють, поділяють на два потоки, а саму величину вологості визначають вимірюванням діелектричної проникності першого потоку і діелектричної проникності другого потоку після введення в нього заданого об’єму води.

Тобто, після двох вимірювань отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} e_1 = e_n \left(1 + \frac{3W_1}{1-W_1} \right); \\ e_2 = e_n \left(1 + \frac{3W_2}{1-W_2} \right), \end{cases} \quad (1)$$

де e_1 – діелектрична проникність досліджуваної речовини; e_2 – діелектрична проникність досліджуваної речовини після додавання фіксованого об’єму води; e_n – діелектрична проникність зневодненого зразка речовини; $W_1 = V_{\delta 1} / (V_{\delta 1} + V_n)$ – вологість досліджуваної речовини (без додавання води); $V_{\delta 1}$ – кількість води, яка пройшла через ПВП; V_n – кількість речовини, яка пройшла через ПВП; $W_2 = (W_1 + k_1) / (1 + k_1)$ – вологість досліджуваної речовини після додавання води; $k_1 = V_{\delta 2} / (V_{\delta 1}' + V_n') = V_{\delta 2} / V_0$ – коефіцієнт, прийнятий для спрощення запису виразу; $V_{\delta 2}$ – кількість доданої води; $V_{\delta 1}'$ – кількість води в потоці з вологістю W_1 ; V_n' – кількість речовини в потоці з вологістю W_1 ; V_0 – кількість води і речовини в потоці з вологістю W_1 .

З урахуванням перетворень 2-го рівняння системи (1) отримаємо:

$$\begin{cases} e_1 = e_n \left(1 + \frac{3W_1}{1-W_1} \right); \\ e_2 = e_n \left(1 + \frac{1+2W_1+3k_1}{1-W_1} \right). \end{cases} \quad (2)$$

Розв’язуючи систему рівнянь (2) відносно W_1 , матимемо:

$$W_1 = \frac{1 - N + 3k_1}{2(N - 1)}, \quad (3)$$

де $N = e_2 / e_1$.

Перевіряють отриманий розрахунковий вираз (3) на інваріантність до зміни діелектричної проникності речовини за формулою Вінера, записаною в повній формі.

Тоді e_1 і e_2 можна визначити як:

$$e_1 = e_n \left(1 + \frac{3W_1}{\frac{e_{\delta} + 2e_n}{e_{\delta} - e_n} - W_1} \right); \quad e_2 = e_n \left(1 + \frac{3(W_1 + \Delta W)}{\frac{e_{\delta} + 2e_n}{e_{\delta} - e_n} - (W_1 + \Delta W)} \right),$$

де $\Delta W = V_{\delta 2}$ – додавання води у другий потік рідинного середовища, що контролюється.

Вихідні дані, необхідні для отримання числових значень вологості відповідно до формули (3), наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку вологості

V_0 , л	$V_{\text{в2}}$, л	e_v
0,5	0,05	80

Як контрольні точки для перевірки інваріантності виразу (1) задамо значення e_n , що дорівнюють 2; 2,5; 3 і 3,5. При цьому вологість змінюватимемо від 0 (0 %) до 0,3 (30 %) із кроком 0,1 (10 %).

Розрахункові значення діелектричних проникностей наведено в табл. 2, а значення вологості та нормовані значення вологості – у табл. 3.

Таблиця 2

Розрахункові значення діелектричних проникностей

e_n	W_1	Діелектричні проникності		e_n	W_1	Діелектричні проникності	
		e_1	e_2			e_1	e_2
2,0	0,0	2,0	2,614	3,0	0,0	3,0	3,385
2,0	0,1	2,614	3,368	3,0	0,1	3,385	4,963
2,0	0,2	3,368	4,317	3,0	0,2	4,963	6,305
2,0	0,3	4,317	5,545	3,0	0,3	6,305	8,022
2,0	0,4	5,545	7,2	3,0	0,4	8,022	10,295
2,5	0,0	2,5	3,252	3,5	0,0	3,5	4,512
2,5	0,1	3,252	4,173	3,5	0,1	4,512	5,741
2,5	0,2	4,173	5,324	3,5	0,2	5,741	7,262
2,5	0,3	5,324	6,806	3,5	0,3	7,262	9,197
2,5	0,4	6,806	8,784	3,5	0,4	9,197	11,738

Таблиця 3

Розрахункові значення вологості

e_n	W_1	$W_{1 \text{ розр}}$	e_n	W_1	$W_{1 \text{ розр}}$
2,0	0,0	-0,012	3,0	0,0	-0,0084
2,0	0,1	0,02	3,0	0,1	0,041
2,0	0,2	0,033	3,0	0,2	0,055
2,0	0,3	0,027	3,0	0,3	0,051
2,5	0,0	-0,0016	3,5	0,0	0,019
2,5	0,1	0,03	3,5	0,1	0,051
2,5	0,2	0,044	3,5	0,2	0,066
2,5	0,3	0,039	3,5	0,3	0,063

З аналізу табл. 2 видно, що зі збільшенням заданого значення вологості отримані нормовані значення поведуться хаотично (тобто відсутнє монотонне зростання результатів). Очевидно, що в цьому випадку немає сенсу говорити про інваріантність вимірювань. Також не забезпечено збіжності результатів. Крім того, недоліком описаного способу можна вважати складність технічної реалізації процесу безперервного додавання води із заданою витратою.

У патенті [9] для визначення вологості речовин проводять 3 виміри:

а) при заповненні простору ємнісного перетворювача досліджуваним матеріалом;

б) при розміщенні в робочому просторі ємнісного перетворювача з досліджуваним зразком матеріалу першої герметичної тонкостінної капсули (має фіксований об'єм і повністю заповнена водою);

в) при видаленні з простору ємнісного перетворювача з досліджуваним зразком матеріалу першої капсули і використанні замість неї другої капсули з фіксованим внутрішнім об'ємом, який удвічі більший за об'єм першої капсули.

Отже, після трьох вимірів отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} e_1 = a + b \cdot W_1; \\ e_2 = a + b \cdot W_2; \\ e_3 = a + b \cdot W_3, \end{cases} \quad (4)$$

де e_1 , e_2 , e_3 – результати першого, другого і третього вимірів відповідно; W_1 – початкове значення об'ємного вмісту води в матеріалі; W_2 – сумарне значення початкового об'ємного вмісту води в матеріалі і вмісту води в першій капсулі; W_3 – сумарне значення початкового об'ємного вмісту води в матеріалі і вмісту води в другій капсулі.

Коефіцієнти a і b можна визначати розв'язанням системи рівнянь (4) методом найменших квадратів. Підставивши ці коефіцієнти до першого рівняння системи (4), отримаємо вираз для розрахунку вологості речовини.

У нашому випадку відомі значення об'ємного вмісту води в капсулах (для першого тесту $\Delta W_1 = 0,1$, для другого тесту $\Delta W_2 = 0,2$). Тоді:

$$W_2 = W_1 + 0,1 \text{ і } W_3 = W_1 + 0,2.$$

Початкову вологість речовини W_1 можна визначити за формулою:

$$W_1 = \frac{0,17e_1 + 0,17e_3 - 0,33e_2}{10e_3}. \quad (5)$$

Для перевірки виразу (5) на інваріантність необхідно визначити значення e_1 , e_2 , e_3 :

$$e_1 = e_n \left(1 + \frac{3W_1}{\frac{e_\theta + 2e_n}{e_\theta - e_n} - W_1} \right); \quad (6)$$

$$e_2 = e_n \left(1 + \frac{3(W_1 + \Delta W_1)}{\frac{e_\theta + 2e_n}{e_\theta - e_n} - (W_1 + \Delta W_1)} \right); \quad (7)$$

$$e_3 = e_n \left(1 + \frac{3(W_1 + \Delta W_2)}{\frac{e_\theta + 2e_n}{e_\theta - e_n} - (W_1 + \Delta W_2)} \right). \quad (8)$$

Контрольні точки початкової діелектричної проникності і вологості обираємо такими самими, як і в раніше розглянутому патенті.

Підставивши вирази (6) – (8) в (5) при різних контрольних точках W_1 і e_n , отримаємо розрахункові значення вологості (табл. 4).

Розрахункові значення вологості

e_n	W_1	$W_{1\text{ розр}}$	W_n	e_n	W_1	$W_{1\text{ розр}}$	W_n
2,0	0,0	0,001483	0,04	3,0	0,0	0,001444	0
2,0	0,1	0,001545	0,104	3,0	0,1	0,001499	0,057
2,0	0,2	0,001637	0,198	3,0	0,2	0,00158	0,14
2,0	0,3	0,001776	0,341	3,0	0,3	0,001698	0,261
2,5	0,0	0,001463	0,02	3,5	0,0	0,001426	0,018
2,5	0,1	0,001521	0,079	3,5	0,1	0,001477	0,034
2,5	0,2	0,001608	0,168	3,5	0,2	0,001553	0,112
2,5	0,3	0,001736	0,3	3,5	0,3	0,001663	0,225

З табл. 4 видно, що при заданому значенні вологості 0 для діелектричних проникностей 2,0; 2,5; 3,0 і 3,5 отримаємо нормовані значення, які змінюються від 0 до 0,04, тобто розбіжність результатів становить 4 %. Якщо проаналізувати інші дані табл. 4, то видно, що максимальна розбіжність і 11,6 % спостерігається при вологості 0,3. Отже, можна зробити висновок, що спосіб визначення вологості згідно з [9] не забезпечує необхідної компенсації “сортової невизначеності” вимірювань діелектричними вологомірами.

Якщо говорити про збіжність отриманих результатів, то з табл. 4 видно, що для дійсного значення вологості 0 при різних діелектричних проникностях отримаємо нормовані значення вологості 0,04; 0,02; 0; 0,018; для вологості 0,1 отримаємо величини, що змінюються від 0,034 до 0,104 і т.д. Як видно, результати розрахунків дещо не збігаються з дійсними значеннями, тобто є розбіжності. Максимальна розбіжність в цьому випадку становить 8,8 %.

У статті [10] для визначення вологості речовин спочатку вимірюють діелектричну проникність досліджуваної проби речовини, а потім проводять два тестові впливи з подальшим визначенням параметрів отриманих емпіричних залежностей методом найменших квадратів.

Для першого тесту вимірюють діелектричну проникність досліджуваної проби речовини після додавання відомої кількості води, а для другого – після додавання до другої проби ще такої самої кількості води.

Отже, після трьох вимірів отримаємо систему рівнянь – таку саму, як і у патенті [9].

Для визначення вологості речовини автор запропонував дві формули. Перша розрахункова формула ідентична наведеній у патенті [9]. Другу формулу отримано напівемпіричним способом на підставі аналізу першої формули з погляду характеру зміни e_1 , e_2 і e_3 залежно від зміни вологості:

$$W_1 = \frac{100(0,17e_1 + 0,17e_3 - 0,33e_2)}{e_3 - 0,013e_3^2}. \quad (9)$$

Для перевірки (9) на інваріантність використаємо формули (6)–(8).

Розрахункові значення вологості наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Розрахункові значення вологості

e_n	W_1	$W_{1\text{ розр}}$	W_n	e_n	W_1	$W_{1\text{ розр}}$	W_n
2,0	0,0	1,551	0,007	3,0	0,0	1,544	0,002
2,0	0,1	1,637	0,068	3,0	0,1	1,633	0,066
2,0	0,2	1,765	0,16	3,0	0,2	1,763	0,158
2,0	0,3	1,959	0,298	3,0	0,3	1,961	0,299
2,5	0,0	1,547	0,004	3,5	0,0	1,541	0
2,5	0,1	1,634	0,066	3,5	0,1	1,631	0,064
2,5	0,2	1,764	0,159	3,5	0,2	1,764	0,159
2,5	0,3	1,96	0,299	3,5	0,3	1,962	0,3

У цьому випадку (табл. 5) видно, що при заданому значенні вологості для різних діелектричних проникностей нормовані значення вологості дещо відрізняються, наприклад, при

вологості 0 нормоване значення змінюється від 0 до 0,007, тобто розбіжність становить 0,7 % і т.д. При цьому істотними також є розбіжності між дійсними і отриманими результатами розрахунку вологості, так, наприклад, при дійсному значенні вологості 0,2 (діелектрична проникність $e_n = 3,0$) нормоване значення дорівнює 0,158 – розбіжність становить 4,2 %. Отже, для переважної більшості випадків рекомендувати спосіб визначення вологості згідно із статтею [10] не можна.

У статті [11] проводять 3 етапи вимірювань діелектричної проникності, аналогічні описаним вище в статті [10]. З метою отримання розрахункового виразу для визначення вологості автори запропонували використовувати інтерполяційний поліном Лагранжа другого порядку. В цьому випадку вологість матеріалу визначають за формулою:

$$W_1 = \frac{5 \cdot \left(\frac{0,5e_1 + 0,5e_2 - e_3}{e_2 - e_3} + \frac{(e_2 - e_1) \cdot (e_1 - e_2)}{(e_3 - e_1) \cdot (e_3 - e_2)} - 1 \right)}{1,2 - \frac{e_3^2 + e_1e_2 - e_3e_2 - e_1e_3}{(e_1 - e_3) \cdot (e_2 - e_3)}}, \quad (10)$$

де e_1, e_2, e_3 – результати першого, другого і третього вимірювань відповідно.

При перевірці (10) на інваріантність діелектричної проникності e_1, e_2, e_3 визначають за формулами (6) – (8) з подальшою їх підстановкою в (10). Результати перевірки наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Розрахункові значення вологості

e_n	W_1	$W_1 \text{ розр}$	W_n	e_n	W_1	$W_1 \text{ розр}$	W_n
2,0	0,0	1,042	0,042	3,0	0,0	1,009	0,014
2,0	0,1	1,134	0,121	3,0	0,1	1,095	0,087
2,0	0,2	1,242	0,213	3,0	0,2	1,196	0,174
2,0	0,3	1,371	0,323	3,0	0,3	1,317	0,277
2,5	0,0	1,025	0,027	3,5	0,0	0,993	0,000
2,5	0,1	1,114	0,103	3,5	0,1	1,077	0,072
2,5	0,2	1,219	0,193	3,5	0,2	1,174	0,155
2,5	0,3	1,344	0,300	3,5	0,3	1,29	0,254

Якщо проаналізувати отримані в табл. 6 дані, то видно, що при одному і тому самому заданому значенні вологості для різних діелектричних проникностей отримаємо різні нормовані значення вологості. Максимальна розбіжність між такими нормованими значеннями спостерігається при заданому значенні вологості 0,3 і сягає 6,9 %. Отже, інваріантності результатів вимірювань до зміни початкової діелектричної проникності немає. Крім того, великих значень досягають також розбіжності між дійсними значеннями вологості і отриманими (максимальна розбіжність – 4,6 %).

У роботі [12] пропонується ділити потік рідини, що контролюється, на дві частини. При цьому спочатку вимірюють діелектричну проникність першого потоку з невідомою вологістю, а потім – діелектричну проникність другого потоку із заданим додаванням води.

Так отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} e_1 = e_n (1 + 3W_1); \\ e_2 = e_n (1 + 3k_1(W_1 + q_1)), \end{cases} \quad (11)$$

де $q_1 = \Delta V_g / V_0$; ΔV_g – заданий об'єм доданої води; V_0 – початковий об'єм зразка, що контролюється; $k_1 = 1/(1 + q_1)$.

Вологість речовини можна визначити за формулою:

$$W_1 = \frac{(3k_1 \cdot q_1 + 1) \cdot e_1 - e_2}{3e_2(1 - k_1 \cdot e_1)}. \quad (12)$$

Для перевірки виразу (12) на інваріантність використовуємо формули:

$$e_1 = e_n \left(1 + \frac{3W_1}{\frac{e_g + 2e_n}{e_g - e_n} - W_1} \right); \quad e_2 = e_n \left(1 + \frac{3(W_1 + q_1)}{\frac{e_g + 2e_n}{e_g - e_n} - (W_1 + q_1)} \right).$$

Як вихідні дані задамо $V_0 = 0,5$ л, $\Delta V_g = 0,05$ л и $e_g = 80$. Отримані розрахункові значення вологості і нормовані значення наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Розрахункові значення вологості

e_n	W_1	W_1 розр	e_n	W_1	W_1 розр
2,0	0,0	0,011	3,0	0,0	0,00332
2,0	0,1	0,00297	3,0	0,1	0,00049
2,0	0,2	0,00111	3,0	0,2	-0,00017
2,0	0,3	0,00106	3,0	0,3	-0,00003
2,5	0,0	0,00569	3,5	0,0	0,00196
2,5	0,1	0,00136	3,5	0,1	-0,00004
2,5	0,2	0,0003	3,5	0,2	-0,00048
2,5	0,3	0,00038	3,5	0,3	-0,0003

Отримані в табл. 7 результати розрахунку вологості немонотонно зростають зі збільшенням вологості, тому немає сенсу розглядати питання про забезпечення інваріантності вимірювань.

Висновки

Для вибору найефективнішого способу підвищення точності дієлькометричних вологомірів складемо таблицю, в якій буде вказано основні характеристики за кожним із розглянутих у статті способів (табл. 8). Для способів, у яких є інваріантність і збіжність вимірювань, в таблиці вказано значення максимальних розбіжностей d_{max} .

Таблиця 8

Основні характеристики способів визначення вологості речовин

Спосіб	Характеристики		
	Наявність інваріантності	Наявність збіжності	Труднощі реалізації
Патент [8]	немає	немає	є
Патент [9]	є ($d_{max} = 11,6 \%$)	є ($d_{max} = 8,8 \%$)	немає
Стаття [10]	є ($d_{max} = 0,7 \%$)	є ($d_{max} = 4,2 \%$)	немає
Стаття [11]	є ($d_{max} = 6,9 \%$)	є ($d_{max} = 4,6 \%$)	немає
Робота [12]	немає	немає	є

Як видно з табл. 8, найбільш вдалим способом серед розглянутих є спосіб, описаний у статті [10], оскільки в цьому випадку розбіжності результатів розрахунку вологості мають найменші значення як у разі забезпечення інваріантності, так і у разі збіжності отриманих результатів з дійсними значеннями. Однак говорити про повну компенсацію “сортової невизначеності” для цього методу не можна. Отже, питання забезпечення інваріантності з використанням тестових методів не можна вважати вичерпаним.

1. *Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, повреждённых клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси : ГОСТ 30483-97. – [Введен от 1998-*

07-01]. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации 1997. – 17 с. – (Межгосударственный стандарт). 2. Зерно. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями : ГОСТ 13586.4-83. – [Введен от 1984-07-01]. – М. : Стандартинформ 2009. – 4 с. – (Межгосударственный стандарт). 3. Оносова І. А. Особливості визначення показників клейковини зерна пшениці різними методами / І. А. Оносова // Товарознавство та інновації : зб. наук. пр. ДонНУЕТ. – Вип. 4. – Донецьк, 2012. – С. 258–263. 4. Жито. Технічні умови : ДСТУ-4522:2006. – [Чинний від 2006-02-28]. – К. : Держспоживстандарт України 2009. – 18 с. – (Національний стандарт України). 5. Пат. SU 744307 СССР, МПК² G 01 N 27/22. Способ определения содержания воды в жидких диэлектриках / Кугаевский А. Ф., Гераськов В. Л. ; заявитель и патентообладатель Рижск. Краснознам. ин-т инженеров гражд. авиации им. Ленинского комсомола. – № 2694388/18-25 ; заявл. 06.12.78 ; опубл. 30.06.80, Бюл. № 24. – 2 с. 6. Пат. UA 75699 C2 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / заявник і патентовласник Вінницький націон. техніч. ун-т. – № 2004031999 ; заявл. 18.03.2004 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 3 с. 7. Пат. SU 1822963 A1 СССР, МПК G 01 N 27/22. Способ определения влажности сыпучих материалов / Одинокоев Г. М., Комаров П. И., Овчинников В. В. ; заявитель и патентообладатель Ленинградский технологич. ин-т им. Ленсовета. – № 4759869/25 ; заявл. 20.11.89 ; опубл. 23.06.93, Бюл. № 3. – 3 с. 8. Пат. SU 1423952 A1 СССР, МПК G 01 N 27/22. Способ определения влажности жидких сред в потоке / А. В. Кудрявцев, В. Н. Шевченко ; заявитель и патентообладатель ин-т автоматики АН КиргССР. – № 3987554/24-25 ; заявл. 11.12.85 ; опубл. 15.09.88, Бюл. № 34. – 3 с. 9. Пат. UA 104201 C2 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості матеріалів / О. В. Заболотний ; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”. – № a201201992 ; заявл. 21.02.2012 ; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. – 9 с. 10. Заболотний О. В. Забезпечення задовільного рівня інваріантності адаптивних вологомірів з використанням методу найменших квадратів / О. В. Заболотний // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2012. – №4. – С. 13–17. 11. Голуб К. Ю. Забезпечення інваріантності діелькометричних вологомірів до зміни сорту матеріалу з використанням поліномів Лагранжа / К. Ю. Голуб, О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий // Вісник НТУ “КПІ”. – 2013. – №45. – С. 7–13. 12. Кудрявцев А. В. Емкостные измерители влажности жидких сред / А. В. Кудрявцев, В. И. Шевченко. – Фрунзе : “Илим”, 1989. – 53 с.