

УДК 620.519.2

К.Ю. ГОЛУБ, О.В. ЗАБОЛОТНИЙ, О.В. ЧУМАЧЕНКО

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

## ОЦІНКА ТОЧІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОВІСТУ ПИЛУ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ АПАРАТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ДО ВПЛИВУ ПИЛУ

Проводиться оцінка точісних характеристик методики визначення вологовісту пилу при випробуваннях апаратури системи управління різного призначення на стійкість до впливу пилу. Визначено фактори, що мають найбільший вплив на процес вимірювання та знайдено рівняння зв'язку для визначення вологовісту пилу. Проведено повний факторний експеримент і отримано математичну модель вимірювального процесу. З метою визначення точісних характеристик методики проведено виміри проб пилу заданого складу. Отримано значення похибки і невизначеності математичної моделі. В результаті аналізу отриманих значень був зроблений висновок про придатність розробленої методики та можливість її застосування в якості зразкової при визначенні вологовісту твердих речовин, а також для калібрування вологомірів на заданий склад речовини.

*Ключові слова:* вологовіст, точісність, рівняння зв'язку, математична модель, повний факторний експеримент, метод найменших квадратів, похибка, невизначеність

K.YU. HOLUB, O.V. ZABOLOTNYI, O.V. CHUMACHENKO

National Aerospace University named after M. Zhukovskiy «Kharkiv Aviation Institute»

## ASSESSMENT OF ACCURACY CHARACTERISTICS OF METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF DUST MOISTURE CONTENT AT TESTS OF VARIOUS PURPOSES CONTROL SYSTEM EQUIPMENT TO RESISTANCE AGAINST DUST INFLUENCE

*Abstract – The aim of the research is assessment of accuracy characteristics of methodology for determination of dust moisture content at tests of various purposes control system equipment to resistance against dust influence, and also determination of possibility of its application as a reference.*

*Analysis of the last achievements and publications in the field of moisture meters is carried out, and need of receiving of reference methodology with high accuracy characteristics is estimated. For the purpose of determination of dust moisture content at tests of various purposes control system equipment to resistance against dust influence the methodology which describes this process is developed. As a method the drying method (thermogravimetric method) is chosen. Factors having the greatest impact on measuring process are defined and equation of dependence for determination of dust moisture content is obtained. Full factorial experiment is carried out and mathematical model of measuring process is obtained using least-squares method. Measurements of dust samples with given structure are carried out for the purpose of determination of accuracy characteristics of methodology. Errors and uncertainties values of mathematical model are received.*

*As result of the analysis of received values a conclusion about suitability of developed methodology and possibility of its application as a reference at determination of moisture content of solid substances, and also for calibration of moisture meters for specified structure of substance is drawn.*

*Keywords: moisture content, accuracy, equation of dependence, mathematical model, complete factorial experiment, least-squares method, error, uncertainty*

### Постановка проблеми

Контроль вологовісту є характерним для значної кількості операцій видобутку, переробки і виробництва широкого спектру речовин. Інформація про вологість використовується в численних автоматичних системах (системи управління та інформаційно-вимірювальні системи). Економічний ефект, який можна отримати від повсюдного і досить точного контролю вологості матеріалів, надзвичайно великий.

Задача метрологічного обслуговування вимірювань вологості є актуальною, оскільки вона є важливою складовою вимірювань в аналітичній техніці. При цьому основною метрологічною задачею є збереження і підтримання точності та єдності вимірювань [1]. Значення цієї задачі для вимірювань вологості особливо велике з наступних причин. По-перше, вологість менш досліджена величина, ніж ряд інших фізико-хімічних параметрів. По-друге, більшість сучасних вологомірів градуують не на основі точних математичних залежностей, а емпірично [1].

Широка сфера застосування та масовість вимірювань вологості зумовлюють економічне значення метрологічного забезпечення і високі вимоги, що пред'являються до нього.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

На даний час існує велика кількість різних методів і пристроїв для визначення вологовісту речовин. Найбільше поширення отримали непрямі методи, в яких оцінка вологості проводиться за рахунок зміни різних властивостей речовини [1]. Класифікація непрямих методів визначення вологовісту речовин представлена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація непрямих методів визначення вологовмісту речовин

Безперечно, найбільш важливими параметрами вологомірів є діапазон вимірюваної вологості і точність результатів. На сьогоднішній день кращі моделі вологомірів вимірюють вологість з такою точністю [2]:

- у діапазоні вологості (1...10) % –  $\pm 0,8$  %;
- у діапазоні вологості (10...20) % –  $\pm 1,0$  %;
- у діапазоні вологості (20...30) % –  $\pm 1,5$  %;
- у діапазоні вологості (30...45) % –  $\pm 2,0$  %.

У більшості випадків точності даних пристроїв вистачає для визначення кількості присутньої в речовині води.

Для перевірки та калібрування вологомірів найбільш важливою є та обставина, що точність аналітичних методів у багатьох випадках не вище точності повіреного приладу. Зазвичай значення похибок для різних методів взагалі не відомі. Діючі стандарти, як правило, нормують лише допустимі розходження між паралельними визначеннями вологості.

Таким чином, для проведення калібрування вологомірів на заданий склад речовини або для одержання більш точних оцінок необхідно використовувати зразкові методи. До таких методів можна віднести метод висушування (термогравіметричний метод).

Визначенню вологості твердих матеріалів за допомогою висушування притаманні такі методичні похибки [3]:

а) при висушуванні органічних матеріалів разом з втратами гігроскопічної води відбувається втрата летючих речовин; одночасно при сушінні в повітрі має місце поглинання кисню внаслідок окислення речовини, а іноді і термічне розкладання проби;

б) припинення сушіння відповідає не повному видаленню води, а рівновазі між тиском водяної пари в матеріалі і тиском водяної пари в повітрі;

в) видалення зв'язаної води в колоїдних матеріалах неможливо без руйнування колоїдальної частинки і не досягається при висушуванні;

г) в деяких речовинах в ході сушіння утворюється водонепроникна кірка, що перешкоджає подальшому видаленню води.

### Формулювання цілі статті

Метою даного дослідження є оцінка точнісних характеристик методики визначення вологовмісту пилу при випробуваннях апаратури системи управління різного призначення на стійкість до впливу пилу, а також визначення можливості використання даної методики в якості зразкової.

### Виклад основного матеріалу

З метою визначення вологовмісту пилу при випробуваннях апаратури системи управління різного призначення на стійкість до впливу пилу була розроблена методика, що описує даний процес. В якості методу був обраний метод висушування (термогравіметричний метод).

Суть методики полягає в наступному. Пробу пилу масою 5 г поміщають у бюкс, розрівнюють по його дну і зважують (висота шару пилу в бюксі не повинна перевищувати 5 мм [4]; склад пилу нормується згідно [5]: кварцовий пісок – 3,5 г, крейда – 0,75 г, каолін – 0,75 г). Бюкс з відкритою кришкою завантажують в сушильну шафу, нагріту до температури  $(110 \pm 5)$  °C і сушать протягом (1 – 1,5) год згідно з [5]. Потім бюкс закривають кришкою і охолоджують до кімнатної температури плюс 20 °C [5], тривалість процесу охолодження становить 1 год. Охолоджений бюкс зважують з точністю до 0,01 г. Результат

вимірювання фіксують. Після чого бюкс знову завантажують в сушильну шафу. Повторні висушування проводять до тих пір, поки маса проби для двох проведених один за одним вимірів буде незмінною.

Масову частку вологи ( $W$ , %) обчислюють за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса бюксу з пробною пилю до сушіння, г;  
 $m_2$  – маса бюксу з пробною пилю після сушіння, г;  
 $m_0$  – маса бюксу, г.

Дана методика є універсальною, тому може бути використана при проведенні випробувань твердих речовин на наявність в них вологи та визначення кількісної оцінки вологовмісту.

Для більш ретельного вивчення розробленої методики та оцінки її метрологічних характеристик необхідно провести повний факторний експеримент. Задача планування експерименту математично формулюється таким чином: потрібно отримати чітке уявлення про поверхню відгуку факторів, яку в загальному випадку можна аналітично представити у вигляді функції або математичної моделі.

Оскільки найбільший вплив на величину вологовмісту пилю мають температура сушіння, час сушіння і маса проби пилю до сушіння, рівняння зв'язку при визначенні вологовмісту може бути представлено функцією:

$$W = f(T^\circ, t, m), \quad (2)$$

де  $T^\circ$  – температура сушіння проби пилю, °С;  
 $t$  – час сушіння проби пилю, год;  
 $m$  – маса проби пилю до сушіння, г.

В якості вихідних даних для побудови моделі використовуються результати експерименту, який являє собою сукупність вимірювань, виконаних за певним планом. У плані наведено опис умов проведення вимірювань, тобто значення вхідних параметрів (факторів) під час вимірювання [6].

В якості факторів експерименту вибираються маса проби пилю до сушіння, температура і час сушіння, що входять в рівняння зв'язку (2). Таким чином, число факторів дорівнює трьом. Математична модель вимірювань є нелінійною внаслідок наявності ефектів взаємодії, що характеризуються тим, що ефект одного фактора залежить від рівня, на якому знаходиться інший. В нашому випадку мають три види ефектів взаємодії: температура і час сушіння; температура сушіння і маса проби пилю до сушіння; час сушіння і маса проби пилю до сушіння.

Найкращим умовам експерименту, визначеним на підставі аналізу апріорної інформації, відповідає комбінація рівнів факторів. Дана комбінація є багатовимірною точкою у факторному просторі і її можна розглядати як вихідну точку для побудови плану експерименту (так званий нульовий рівень). Побудова плану експерименту зводиться до вибору експериментальних точок, симетричних відносно нульового рівня [6].

У нашому випадку в якості меж інтервалів варіювання приймаються значення, при яких можлива зміна вихідного значення (вологовмісту пилю). З урахуванням цього, нижня та верхня межі інтервалів варіювання для температури сушіння складають 60 °С і 110 °С відповідно; для часу сушіння – 0,5 год і 1,5 год, для маси проби пилю до сушіння – 20 г і 100 г.

Для побудови повного факторного експерименту, в якому використані всі можливі комбінації рівнів факторів, слід провести вісім дослідів. Матриця планування даного експерименту наведена в табл. 1. Результати, отримані в ході проведення повного факторного експерименту, наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту

№ з/р	Рівні змінних						Відгук ( $y$ )
	Температура сушіння ( $x_1$ )	Час сушіння ( $x_2$ )	Маса пилю до сушіння ( $x_3$ )	Взаємодія ( $x_1x_2$ )	Взаємодія ( $x_1x_3$ )	Взаємодія ( $x_2x_3$ )	
1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	$y_1$
2	-1	+1	-1	-1	+1	-1	$y_2$
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	$y_3$
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_4$
5	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$y_5$
6	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$y_6$
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	$y_7$
8	+1	+1	-1	+1	-1	-1	$y_8$

**Результати повного факторного експерименту**

№ з/р	Рівні змінних			Відгук
	Температура сушіння ( $T^{\circ}$ ), °C	Час сушіння ( $t$ ), год	Маса проби пилу до сушіння ( $m$ ), г	Вологовміст ( $W$ ), %
1	60	0,5	100	9,564
2	60	1,5	20	3,636
3	110	0,5	20	3
4	110	1,5	100	2,455
5	60	0,5	20	6,182
6	60	1,5	100	8,782
7	110	0,5	100	2,855
8	110	1,5	20	0,909

Для отримання математичної моделі вимірювального процесу застосовується метод найменших квадратів. Функція залежності вологовмісту є нелінійною, тому для її апроксимації використовується поліном першого порядку з урахуванням ефектів взаємодії.

Шляхом введення фіктивної змінної  $b_0$  рівняння даної моделі може бути записано у вигляді:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3, \tag{3}$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  – коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії можуть бути визначені за формулою:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{1i}, \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{2i}, \quad b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{3i}, \quad b_{12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{1i} x_{2i},$$

$$b_{13} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{1i} x_{3i}, \quad b_{23} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_{2i} x_{3i}, \tag{4}$$

де  $N$  – число дослідів.

Математична модель вимірювального процесу при плануванні експерименту має вигляд:

– з кодованими значеннями факторів:

$$y = 4,673 - 2,368x_1 - 0,727x_2 + 1,241x_3 + 0,105x_1x_2 - 0,891x_1x_3 + 0,432x_2x_3 \tag{5}$$

– з натуральними значеннями факторів:

$$W = 4,673 - 2,368\left(\frac{T^{\circ} - 85}{25}\right) - 0,727\left(\frac{t-1}{0,5}\right) + 1,241\left(\frac{m-60}{40}\right) + 0,105\left(\frac{T^{\circ} - 85}{25}\right)\left(\frac{t-1}{0,5}\right) - 0,891\left(\frac{T^{\circ} - 85}{25}\right)\left(\frac{m-60}{40}\right) + 0,432\left(\frac{t-1}{0,5}\right)\left(\frac{m-60}{40}\right). \tag{6}$$

або

$$W = 12,962 - 0,043T^{\circ} - 3,454t + 0,032m + 0,008T^{\circ}t - 0,001T^{\circ}m + 0,022tm. \tag{7}$$

Отримана математична модель є адекватною. Відхилення значень вологовмісту, отриманих із застосуванням даної моделі, від експериментальних значень мають сотий порядок.

За результатами експерименту можна зробити висновок, що найбільший вплив на величину вологовмісту пилу має температура сушіння.

**Оцінка результатів вимірювань**

Для оцінки точнісних характеристик розробленої методики в випробувально-сертифікаційному центрі (ВСЦ) НВП ХАРТРОН-АРКОС були проведені виміри проб пилу заданого складу. З метою отримання достовірних результатів випробування проводили для трьох проб пилу. Спочатку були виміряні маси бюксів. Потім проби пилу масою 5 г кожна поміщали у бюкси і зважували. Таким чином були знайдені маси проб пилу до сушіння. Далі бюкси з відкритими кришками завантажували в термобарокамеру, нагріту до температури плюс 110 °C, і сушили протягом 1,5 год. Потім їх накривали кришками з метою запобігання попадання вологи і охолоджували в термобарокамері до температури плюс 20 °C протягом 1 год. Масу проб пилу вимірювали на точних аналітичних вагах. Процедура сушіння, охолодження та зважування пилу проводилася декілька разів. На третій раз результати зважування дали ті ж значення, що і для другого разу. Таким чином, маси залишаються незмінними, і можна зробити висновок, що в пробах пилу практично відсутня складова води. Після проведення випробувань визначали масу проб пилу після сушіння. Результати вимірювань маси представлені в табл. 3.

Згідно табл. 3 маса бюксу є незмінною величиною та однакова для трьох проб пилу, однак вимірювання маси пилу до сушіння і маси пилу після сушіння відрізняються для кожної із проб. Даний факт свідчить про наявність похибок при вимірюваннях.

Результати вимірювань маси

№ з/р	Маса бюксу, г	Маса проби пилу до сушіння, г	Маса проби пилу після сушіння, г
Проба 1	13,24	18,4	18,32
Проба 2	13,24	18,32	18,24
Проба 3	13,24	18,34	18,26

Блок-схема проведення оцінки результатів вимірювань представлена на рис. 2.

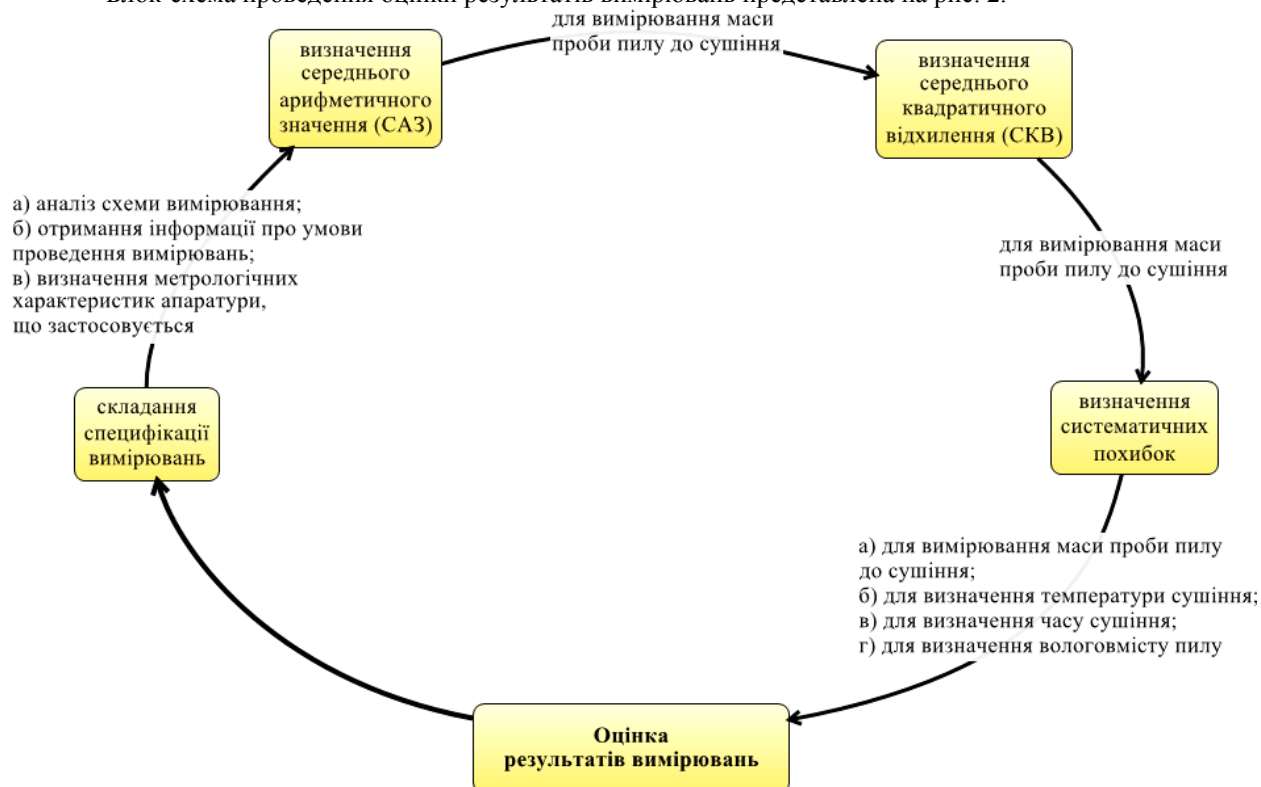


Рис. 2. Блок-схема проведення оцінки результатів вимірювань

Вимірювання проводилися на стенді кліматичних і механічних випробувань ВСЦ НВП ХАРТРОН-АРКОС відповідно до вимог, наведених в [7]:

- температура: 18 °С;
- відносна вологість повітря: 65 %;
- атмосферний тиск: 90 кПа.

Схема вимірювального каналу представлена вагами типу SNUG II-60. В якості сушильної шафи при проведенні випробувань використовується термобарокамера TBV-2000. Ваги і термобарокамера пройшли атестацію згідно з [8]. Основні характеристики цього обладнання та засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) наведені в табл. 4. Їх зовнішній вигляд представлений на рис. 3

Таблиця 4

## Основні характеристики ваг і термобарокамери, що використовуються при проведенні випробувань

Обладнання, ЗВТ	Діапазон вимірюваних значень	Тип	Похибка
Термобарокамера	Мінус 60°С – плюс 120°С	TBV-2000	±1 °С
Ваги	(0,01 – 600) г	SNUG-II-60	0,01 г

Вимірювання вологовмісту відносяться до непрямих вимірювань, оскільки результати можуть бути визначені за функціональною залежністю, що наведена у формулі (7). Для обробки даних результатів і оцінки їх похибок використовується методика непрямих багаторазових вимірювань.

Сумарна похибка вологовмісту пилу розраховується за формулою:

$$\Delta_{\text{сум.}}(\bar{W}) = + \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial T^{\circ}} \cdot \Delta_{\text{сум.}}(T^{\circ})\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial t} \cdot \Delta_{\text{сум.}}(t)\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{W}}{\partial m_1} \cdot (\Delta_{\text{вип.}}(m) + \Delta_{\text{сум.}}(m))\right)^2}, \quad (8)$$

де  $\Delta_{\text{вип.}}(\bar{m})$  – випадкова похибка вимірювань маси проби пилу до сушіння, що дорівнює середньому квадратичному відхиленню, г;

$\Delta_{сист.}$  – систематична похибка для вимірювань маси проби пилу до сушіння, температури та часу сушіння відповідно (вибирається згідно з паспортними даними на вимірювальний пристрій).

У табл. 5 наведено похибки визначення температури сушіння, часу сушіння, результатів вимірювання маси проби пилу до сушіння та похибки визначення вологовмісту пилу.



Рис. 3. Ваги і термобарокамера, що використовуються при проведенні випробувань для визначення вологовмісту пилу у ВСЦ НВП ХАРТРОН-АРКОС

Таблиця 5

**Похибки визначення температури сушіння, часу сушіння, результатів вимірювання маси проби пилу до сушіння та похибки визначення вологовмісту пилу**

Випадкова похибка ( $\Delta_{вип.}$ )	Систематична похибка ( $\Delta_{сист.}$ )	Сумарна похибка ( $\Delta_{сум.}$ )
Температура сушіння, °C		
–	±1	±1
Час сушіння, с		
–	0,1	0,1
Маса бюксу з пробю пилу до сушіння, г		
0,02	0,01	0,03
Вологовміст пилу, %		
–	–	0,26

Для температури і часу сушіння в якості сумарної похибки використовується систематична складова.

Виміряні значення маси містять у собі систематичну і випадкову похибку. Дані вимірювання відносяться до прямих багаторазових вимірювань.

Для визначення інтервалу навколо результату вимірювань, в межах якого знаходиться більша частина розподілу значень, необхідно провести оцінку невизначеності вимірювання вологовмісту пилу.

Невизначеність вимірювання являє собою параметр, пов'язаний з результатом вимірювання і характеризує розсіяння значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині [9].

Розширена невизначеність оцінки вологовмісту пилу визначається за формулою [9]:

$$U_p(\bar{W}) = k \cdot U_c(\bar{W}), \tag{9}$$

де  $U_c(\bar{W})$  – сумарна невизначеність вимірювань вологовмісту пилу, яка дорівнює сумарній похибці  $\Delta_{сум.}(\bar{W})$ , %;

$k$  – коефіцієнт охоплення, який визначається як коефіцієнт Ст'юдента для ефективного числа степенів свободи, і може бути отриманий з формули Велча-Саттерсвейта [11]:

$$V_{eff} = U_c^4(\bar{W}) / \left[ \frac{\left( \frac{\partial W}{\partial m} \cdot U_A(\bar{m}) \right)^4}{n-1} + \frac{\left( \frac{\partial W}{\partial T^\circ} \cdot U_B(T^\circ) \right)^4}{\infty} + \frac{\left( \frac{\partial W}{\partial t} \cdot U_B(t) \right)^4}{\infty} + \frac{\left( \frac{\partial W}{\partial m} \cdot U_B(m) \right)^4}{\infty} \right], \tag{10}$$

де  $U_A$  – невизначеність типу А вимірювань температури, часу сушіння та маси проби пилу до сушіння відповідно (дорівнює середньому квадратичному відхиленню від середнього арифметичного значення

результатів);

$U_B$  – невизначеність типу В вимірювань температури, часу сушіння та маси проби пилу до сушіння відповідно (дорівнює систематичній похибці, поділеній на корінь з трьох);

$n$  – число вимірювань.

Розрахункові значення невизначеності вимірювання вологовмісту пилу наведені в табл. 6.

Таблиця 6

**Розрахункові значення оцінки невизначеності вимірювання вологовмісту пилу**

Сумарна невизначеність ( $U_c$ ), %	Розширена невизначеність ( $U_p$ ), %	Число ступенів свободи ( $V_{eff}$ )	Коефіцієнт охоплення ( $k$ )
0,26	0,51	$\infty$	1,96

**Висновки**

У зв'язку з існуючою необхідністю контролю вологовмісту твердих речовин актуальною є розробка нових методів, методик та пристроїв для вирішення даної задачі. На сьогоднішній день вже існує велика кількість способів для визначення вологовмісту речовин. Проте всі вони є прийнятними, коли потрібна експрес-оцінка вологовмісту, і їх точність задовольняє необхідному значенню точності. Для отримання більш точних значень і здійснення калібрування пристроїв необхідно використовувати зразкові методи. Одним з таких методів є термогравіметричний метод.

У зв'язку з необхідністю постійного визначення вологовмісту пилу для випробувальних центрів і лабораторій під час випробувань апаратури на стійкість до впливу пилу розроблена методика, що дозволяє отримати цю величину. Методика є універсальною і може бути використана при визначенні вологовмісту будь-яких твердих речовин. Для підтвердження припущення, що представлена в статті методика є зразковою, проведена оцінка її точнісних характеристик. З цією метою отримана математична модель рівняння зв'язку величин, що впливають на величину вологовмісту, а також проведено повний факторний експеримент. В ході даного експерименту проводилася динамічна зміна факторів, в результаті чого вдалося з'ясувати вплив даних факторів на величину вологовмісту.

Математична модель вимірювального процесу отримана із застосуванням методу найменших квадратів і являє собою нелінійний поліном першого ступеня. В результаті аналізу отриманої математичної моделі встановлено, що найбільший вплив на процес вимірювання має температура сушіння.

Для оцінки метрологічних характеристик методики проведені оцінки похибки та невизначеності математичної моделі. Значення похибки вологовмісту пилу є прийнятним для того, щоб визнати розроблену методику зразковою, оскільки дана похибка менше ніж похибки вже існуючих методик і пристроїв для визначення вологовмісту речовини.

**Література**

1. Берлинер, М.А. Измерения влажности [Текст] / М.А. Берлинер – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
2. Кутов, В.А. Выбор влагомера [Электронный ресурс] / В.А. Кутов. – Режим доступа: [http://www.vlagomer.biz/stat/vybor\\_vlagomera.php](http://www.vlagomer.biz/stat/vybor_vlagomera.php) – 3.03.2014 г.
3. Кричевский, Е.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов [Текст] / Е.С. Кричевский, А.Г. Волченко. – М.: Энергоатомиздат., 1980. – 165 с.
4. ГОСТ Р 51063-97. Пыль инертная. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 24.06.1997. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 45 с.
5. ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP) [Текст]. – Взамен ГОСТ 14254-80; введ. 01.01.1997. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 36 с.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 280 с.
7. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Текст]. – Введ. 01.01.1971. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1971. – 76 с.
8. ГОСТ 24555-81 Система государственных испытаний продукции. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения [Текст]. – Введ. 01.07.2001. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 13 с.
9. Захаров, И.П. Теория неопределённости в измерениях [Текст] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: КОНСУМ, 2002. – 255 с.
10. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement/ First edition – ISO/ Switzerland. 1993 / – 101 p. Руководство по выражению неопределённости измерения. Русский перевод. Научный редактор Слаев В.А. – Санкт-Петербург. – НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999 г.: 134 с.
11. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределённости измерений» (РМГ 43-2001, IDT) [Текст]. – Чинний з 11.07.2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. –

## References

1. Berliner M.A. Izmereniya vlazhnosti. Moscow, Enerhiya, 1973, 400 p.
2. Kutov V.A. Vy'bor vlagomera. [http://www.vlagomer.biz/stat/vybor\\_vlagomera.php](http://www.vlagomer.biz/stat/vybor_vlagomera.php) – 3.03.2014.
3. Krichevskij E.S., Volchenko A.G. Kontrol' vlazhnosti tvyordy'x i sy'puchix materialov. Moscow, E'nergoatomizdat, 1980, 165 p.
4. GOST R 51063-97. Py'l' inertnaya. Metody' ispy'tanij. Entered 24.06.1997. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 1997, 45 p.
5. GOST 14254-96. Stepeni zashhity', obespechivaemy'e obolochkami (kod IP). Instead GOST 14254-80; entered 01.01.1997. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 1997, 36 p.
6. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. Planirovanie e'ksperimenta pri poiske optimal'ny'x uslovij. Moscow, Nauka, 1971, 280 p.
7. GOST 15150-69. Mashiny', pribory' i drugie texnicheskie izdeliya. Ispolneniya dlya razlichny'x klimaticheskix rajonov. Kategorii, usloviya e'kspluataczii, xraneniya i transportirovaniya v chasti vozdejstviya klimaticheskix faktorov vneshnej sedy'. Entered 01.01.1971. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 1971, 76 p.
8. GOST 24555-81 Sistema gosudarstvenny'x ispy'tanij produkcii. Poryadok attestaczii ispy'tatel'nogo oborudovaniya. Osnovny'e polozheniya. Entered 01.07.2001. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 2001, 13 p.
9. Zaxarov I.P., Kukush V.D. Teoriya neopredelyonnosti v izmereniyax. Kharkov, KONSUM, 2002, 255 p.
10. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement/ First edition – ISO/ Switzerland. 1993, 101 p. Rukovodstvo po vy'razheniyu neopredelyonnostej izmereniya. Russian translation. Scientific editor Slaev V.A. Saint-Petersburg, NPO VNIIM im. Mendeleeva, 1999, 134 p.
11. DSTU-N RMH 43:2006 Metrolohiia. Zastosuvannia «Rukovodstva po vy'razheniyu neopredelyonnosti izmerenij» (RMH 43-2001, IDT). Acting from 11.07.2006. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006, 19 p.

Рецензія/Peer review : 30.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 18.5.2014 р.

Рецензент: Чумаченко В.І., к.т.н., директор з наукової роботи НВП ХАРТРОН-АРКОС