

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,  
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ  
(повне найменування інституту, назва факультету )

Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему:

**Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів  
вимірювання вологості**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5  
напряму Метрологія та інформаційно-  
вимірювальна техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Корж Богдан Миколайович

(прізвище та ініціали)

Керівник доцент каф. ІВТ кандидат  
технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Житомир 2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і**  
**робототехніки**  
**Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки**  
**Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та  
інформаційно-вимірювальної техніки  
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент \_\_\_\_\_ Корж Богдан Миколайович

1. Тема роботи: Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання вологості

Керівник роботи: доцент каф. ІВТ кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 22 » квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 18 » червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз методів вимірювання вологості, аналіз нормативної документації про калібрування приладів для вимірювання вологості

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз методів вимірювання вологості, розробка методики калібрування приладів для вимірювання вологості, розробка процедури калібрування приладів для вимірювання вологості

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень) Протоколи проведення калібрування приладів для вимірювання вологості

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

| Розділ | Консультант | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------|----------------|------------------|
|        |             | Завдання видав | Завдання прийняв |
|        |             |                |                  |
|        |             |                |                  |
|        |             |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                           | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Огляд та аналіз джерел інформації                             | 10.04.26 – 14.04.26            | Виконано |
| 2     | Формулювання завдань кваліф. роботи                           | 15.04.26 – 20.04.26            | Виконано |
| 3     | Аналітичний огляд методів і засобів вимірювання вологості     | 21.04.26 – 05.05.26            | Виконано |
| 4     | Вибір технічних засобів калібрувальної лабораторії            | 06.05.26 – 14.05.26            | Виконано |
| 5     | Розробка алгоритму проведенні калібрування                    | 15.05.26 – 25.05.26            | Виконано |
| 6     | Розробка протоколу калібрування                               | 26.05.26 – 08.06.26            | Виконано |
| 7     | Проведення експериментальних досліджень                       | 09.06.26 – 15.06.26            | Виконано |
| 8     | Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу | 16.06.26 – 22.06.26            | Виконано |

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Корж Б.М.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## **АНОТАЦІЯ**

В даній кваліфікаційній роботі розроблено метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання вологості.

Метою даної роботи є розробка алгоритмічно-програмного забезпечення, що реалізує створення методологічної та нормативної документації для роботи випробувальних центрів та калібрувальних лабораторій.

В процесі роботи було розроблено алгоритми оцінювання збіжності та відтворюваності результатів випробування для оцінювання якості роботи лабораторії та методика калібрування засобів вимірювання вологості. Нова наукова ідея, що реалізується в роботі, полягає в аналізуванні критеріїв для оцінювання збіжності та відтворюваності, та вибір для роботи лабораторії найбільш оптимальних та чутливих методів з метою відслідковування відхилень в роботі лабораторії, еталонного обладнання, помилок операторів при проведенні випробувань та розробці нових алгоритмічно-програмних комплексів для реалізації методології оцінювання правильності роботи лабораторій. Одержані теоретичні і практичні результати роботи впроваджені в випробувальному центрі та калібрувальній лабораторії КЛ ТОВ "Тестметрстандарт" і використовуються в повсякденній роботі випробувального центру в якості робочих документів.

## **ANNOTATION**

In this qualification work, the metrological support of the calibration laboratory of humidity measuring instruments is developed.

The purpose of this work is to develop algorithmic and software that implements the creation of methodological and regulatory documentation for the work of testing centers and calibration laboratories.

In the process of work, algorithms for assessing the convergence and reproducibility of test results were developed to assess the quality of laboratory work and the methodology for calibrating humidity measuring instruments. The new scientific idea implemented in the work is to analyze the criteria for assessing convergence and reproducibility, and select the most optimal and sensitive methods for laboratory work in order to track deviations in the work of the laboratory, reference equipment, operator errors during testing, and develop new algorithmic and software complexes for implementing the methodology for assessing the correctness of laboratory work. The obtained theoretical and practical results of the work have been implemented in the testing center and calibration laboratory of the CL LLC "Testmetrstandart" and are used in the daily work of the testing center as working documents.

## ЗМІСТ

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                            | 8  |
| 1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....                                                             | 10 |
| 1.1 Підстава для розробки, призначення та галузь застосування .....                   | 10 |
| 1.2 Умови експлуатації.....                                                           | 10 |
| 1.3 Вимоги до технічних характеристик .....                                           | 10 |
| 2. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ.....                     | 11 |
| 2.1 Загальні відомості про вологість.....                                             | 11 |
| 2.2 Основні характеристики вологості повітря.....                                     | 12 |
| 2.3 Вимірювання вологості повітря психрометричним методом .....                       | 14 |
| 2.4 Вимірювання вологості повітря гігрометричним (сорбційним) методом .....           | 22 |
| 2.5 Вимірювання абсолютної вологості газів кулонометричним методом .....              | 29 |
| 2.6 Вимірювання абсолютної вологості газів методом точки роси.....                    | 30 |
| 2.7 Методи вимірювання вологості сипучих матеріалів.....                              | 32 |
| 2.8 Вимірювання вологості кондуктометричним та діелектричним (ємнісним) методами..... | 34 |
| 3. ПРИКЛАДИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ.....                                 | 35 |
| 3.1 Обладнання для вимірювання вологості зерна.....                                   | 35 |
| 3.2 Аналізатор вологості Joanlab MBA1103 .....                                        | 39 |
| 3.3 Аналізатор вологості OHAUS MB 27 .....                                            | 41 |
| 4. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ .....                         | 43 |
| 4.1 Законодавчі вимоги до діяльності системи технічного регулювання                   | 43 |
| 4.2 Акредітація випробувальних лабораторій .....                                      | 44 |

|                  |             |                 |               |           |                                                                                    |                                    |             |                 |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------|
|                  |             |                 |               |           | МММТ 480.013.013- ПЗ                                                               |                                    |             |                 |
| <b>Зм.</b>       | <b>Дрк.</b> | <b>№ докум.</b> | <b>Підпис</b> | <b>Дя</b> |                                                                                    |                                    |             |                 |
| <b>Розробив</b>  |             | Корж Б.М.       |               |           | Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання вологості | <b>Лім.</b>                        | <b>Дрк.</b> | <b>Дрк.шіфр</b> |
|                  |             | Чепюк Л.О.      |               |           |                                                                                    |                                    | 5           | 86              |
| <b>Рецензент</b> |             |                 |               |           |                                                                                    | ДУ «Житомирська політехніка», МТ-5 |             |                 |
| <b>Н.</b>        |             |                 |               |           |                                                                                    |                                    |             |                 |
| <b>Затверд.</b>  |             | Подчашинськи    |               |           | Повноважена записка                                                                |                                    |             |                 |

## 5. МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВОЛОГОСТІ.....                                                                                                                                                                     | 47 |
| 5.1 Сфера призначення.....                                                                                                                                                         | 47 |
| 5.2 Операції за засоби калібрування.....                                                                                                                                           | 48 |
| 5.3 Умови проведення калібрування.....                                                                                                                                             | 50 |
| 5.4 Вимоги безпеки.....                                                                                                                                                            | 50 |
| 5.5 Вимоги до кваліфікації персоналу.....                                                                                                                                          | 51 |
| 5.6 Підготовка до калібрування.....                                                                                                                                                | 51 |
| 5.6.1 Зовнішній огляд ваг вологомірів.....                                                                                                                                         | 51 |
| 5.6.2 Зовнішній огляд вологомірів зерна та його продуктів<br>переробки, вологомірів деревини, стандартних зразків.....                                                             | 51 |
| 5.6.3 Перевірення функціонування ваг-вологомірів, вологомірів<br>зерна та його продуктів переробки, вологомірів деревини .....                                                     | 52 |
| 5.7 Опис процедури калібрування.....                                                                                                                                               | 53 |
| 5.7.1 Визначення середнього квадратичного відхилення<br>збіжності показів.....                                                                                                     | 53 |
| 5.7.1.1 Визначення похибки показів ваг .....                                                                                                                                       | 54 |
| 5.7.1.2 Визначення похибки ваг від нецентрованості .....                                                                                                                           | 56 |
| 5.7.1.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.....                                                                                                                            | 57 |
| 5.7.1.4 Побудова калібрувальної характеристики ваг (для ваг І та<br>ІІ класів точності за ДСТУ EN 45501 та 1, 2, 3 класів точності за<br>ГОСТ 24104) крутильних та торсійних ..... | 60 |
| 5.7.1.5 Невизначеність градуювальної характеристики знаходять<br>за формулою .....                                                                                                 | 61 |
| 5.7.1.6 Розрахунок невизначеності результату зважування на<br>вагах .....                                                                                                          | 61 |
| 5.7.2 Проведення вимірювань і визначення показань ваг-<br>вологомірів при вимірюванні вологості.....                                                                               | 61 |
| 5.7.2.1 Перевірення основної абсолютної похибки вологомірів ...                                                                                                                    | 62 |
| 5.7.2.2 Оброблення результатів вимірювання .....                                                                                                                                   | 63 |

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 6    |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.7.2.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.....                      | 64 |
| 5.7.3 Визначення метрологічних характеристик вологомірів<br>вологості .....  | 65 |
| 5.7.3.1 Визначення абсолютної похибки вологоміра деревини .....              | 65 |
| 5.7.3.1.1 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.....                    | 66 |
| 5.7.3.2 Визначення абсолютної похибки вологоміра з<br>застосуванням CRM..... | 68 |
| 5.7.3.2.2 Перевірення абсолютної похибки з застосуванням CRM                 | 69 |
| 5.7.3.2.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.....                    | 69 |
| ВИСНОВКИ .....                                                               | 71 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                 | 72 |
| ДОДАТКИ .....                                                                | 74 |

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 7    |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Однією зі складових системи технічного регулювання є метрологічна система України, яка забезпечує єдність вимірювань у державі і створює умови для захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Нормативно-правова база метрологічної системи чинний Закон України „Про метрологію та метрологічну діяльність”. Метрологічним наглядом є діяльність, яка провадиться у сфері законодавчо регульованої метрології з метою перевірки додержання суб'єктами господарювання вимог цього Закону, технічних регламентів та інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності.

**Метою даної роботи є** розробка алгоритмічно-програмного забезпечення, що реалізують створення методологічної та нормативної документації для роботи випробувальних центрів та калібрувальних лабораторій.

В процесі роботи було розроблено

- алгоритми оцінювання збіжності та відтворюваності результатів випробування для оцінювання якості роботи лабораторії.
- методика калібрування засобів вимірювання вологості.

Об'єктом дослідження є методологічна база для проведення випробування засобів вимірювальної техніки .

Предметом дослідження є нормативна база, що використовуються у роботі випробувального центру та калібрувальної лабораторії.

Методи дослідження – загальнонаукові: аналіз, синтез, узагальнення, порівняння, систематизація, індукція, дедукція; історичні: історико-структурний (членування досліджуваних феноменів минулого), конструктивно-генетичний (спостереження за зміною феномена у просторі і часі, встановлення його науково обґрунтованої періодизації), історико-компаративістський (визначення регресу і прогресу різних явищ минулого); статистичні.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 8    |

Нова наукова ідея, що реалізується в роботі, полягає в аналізуванні критеріїв для оцінювання збіжності та відтворюваності, та вибір для роботи лабораторії найбільш оптимальних та чутливих методів з метою відслідковування відхилень в роботі лабораторії, еталонного обладнання, помилок операторів при проведенні випробувань. Розробка нових алгоритмічно програмних комплексів для реалізації методології оцінювання правильності роботи лабораторій.

Одержані теоретичні і практичні результати роботи впроваджені в випробувальному центрі та калібрувальній лабораторії КЛ ТОВ "Тестметрстандарт" і використовуються в повсякденній роботі випробувального центру в якості робочих документів.

Галуззю використання результатів кваліфікаційної роботи, представлених в виді програмних розробок, є лабораторії, що потребують в своїй діяльності проводити періодичну перевірку правильності результатів роботи. Отримані результати є важливим для підвищення якості продукції та послуг, параметри якої контролюються на основі процедур вимірювань фізичних величин, автоматизації вимірювальних процедур та створення швидкодіючих прецизійних засобів вимірювання фізичних величин, що можуть бути використані в промисловості, транспорті та для контролю екологічних параметрів довкілля.

**Структура та обсяг роботи.** Дана робота складається з анотації, вступу, 5 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатків. Робота викладена на 73 сторінках основного тексту і містить 16 рисунків та 8 таблиць.

|     |      |          |        |     |                      |      |
|-----|------|----------|--------|-----|----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |     |                      | 9    |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп. |                      |      |

## 1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1.1 Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Метою роботи є розробка методологічних заходів та алгоритмічно-програмного забезпечення, що реалізують створення методологічної та нормативної документації для роботи лабораторії з калібрування ваг-вологомірів та вологомірів різних типів..

Початок розробки – квітень 2026 р. Кінець розробки – червень 2026 року.

### 1.1 Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 5 до +35 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.

### 1.3 Вимоги до технічних характеристик

Розробити методику калібрування приладів для вимірювання рівня вологості об'єктів:

- вибрати засоби калібрування;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні ваг-вологомірів;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні вологомірів різних типів;

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 10   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Да |                      |      |

## 2. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

### 2.1 Загальні відомості про вологість

Вологість газів, твердих і сипучих матеріалів є одним з найважливіших показників цілого ряду технологічних процесів у хемічній, текстильній, металургійній та інших галузях промисловості.[2]

Вологість повітря визначається кількістю водяної пари, що знаходиться в повітрі. Кількість водяної пари дуже мінлива і коливається від майже нуля і до 4% по об'єму (відповідно при холодних полярних умовах і при теплій вологій погоді). Кількість водяної пари дуже швидко змінюється з висотою.

Водяна пара має пружність (тиск). Тиск водяної пари пропорційний її густині (масі в одиниці об'єму) і її абсолютній температурі. Пружність водяної пари, як і атмосферний тиск, виражають в гектопаскалях (гПа) або мілібарах (мб). 1 гПа = 1 мб. Чим більше водяної пари в одиниці об'єму повітря, тим більша її пружність. Вона при даній температурі може збільшуватися тільки до деякого граничного значення, яке називають максимальною пружністю водяної пари ( $E$ ) або пружністю насиченої водяної пари (пружністю насичення). Вона залежить від температури повітря, від фазового стану випарної поверхні, тобто від агрегатного стану води, кривизни випарної поверхні та від інших факторів. В табл. 2.1 наведені значення пружності насичення водяної пари над плоскою поверхнею води ( $E_B$ ) і льоду ( $E_L$ ) при різних значеннях температури повітря.[3]

табл. 2.1

Максимальна пружність водяної пари

| t, °C      | -30  | -20  | -15  | -12  | -10  | -5   | 0    | 10    | 20    |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| $E_B$      | 0,51 | 1,25 | 1,91 | 2,44 | 2,86 | 4,21 | 6,11 | 12,27 | 23,37 |
| $E_L$      | 1,38 | 1,03 | 1,65 | 2,17 | 2,60 | 4,01 | 6,11 | -     | -     |
| $\Delta E$ | 0,13 | 0,22 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,20 | 0,00 | -     | -     |

|     |      |          |        |    |                      |  |  |  |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|--|--|--|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ |  |  |  | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |  |  |  | 11   |

При температурі повітря нижче 0°C,  $E_B > E_L$ . Різниця пружності  $\Delta E$  дорівнює нулю при температурі повітря 0°C і більше; із зниженням температури повітря  $\Delta E$  швидко зростає і досягає максимуму при  $t = 12^\circ\text{C}$ , а надалі повільно зменшується.[3]

## 2.2 Основні характеристики вологості повітря

Вологість повітря може бути виражена такими основними характеристиками.

Парціальний тиск водяної пари ( $e$ ) або пружність водяної пари - це тиск, який мала б водяна пара, що знаходиться в газовій суміші повітря, якби вона одна займала об'єм, що дорівнює об'єму суміші при цій же температурі. Одиниці вимірювання в гПа і мб. Для стану насичення  $e = E$ .[3]

Абсолютна вологість або густина водяної пари ( $a$ ) – це маса водяної пари в одиниці об'єму повітря. Визначається в гПа, в кг/м<sup>3</sup> або г/м<sup>3</sup>. Коли відома пружність водяної пари в гПа ( $e$ ) і абсолютна температура повітря в Кельвінах ( $T$ ), то

$$a = 0,217 \frac{e}{T} \text{ або } a = 217 \frac{e}{T} \quad (2.1) \quad (2.2)$$

У першому випадку ( $a$ ) виражено в кг/м<sup>3</sup>, а в другому – в г/м<sup>3</sup>.

Масова частка водяної пари або питома вологість повітря ( $S$ ) - це відношення маси водяної пари ( $m_p$ ) до маси вологого повітря ( $m_p + m_c$ , де  $m_c$  - маса сухого повітря) в тому ж об'ємі. Одиниці вимірювання в г/кг або в г/г і в кг/кг.

$$S = \frac{m_p}{m_p + m_c} = \frac{a}{\rho_B} = 622 \frac{e}{P} \quad (2.3)$$

або

$$S = 0,622 \frac{e}{P}, \quad (2.4)$$

де  $\rho_B$  – густина вологого повітря,  $P$  – атмосферний тиск в гПа. У першому випадку ( $S$ ) виражається в г/кг, а в другому – в кг/кг і г/г.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 12   |

Відношення суміші (W) – це відношення маси водяної пари ( $m_{\text{п}}$ ) до маси сухого повітря ( $m_{\text{с}}$ ), з яким водяна пара перемішана в даному об'ємі, тобто

$$W = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{с}}} = 622 \frac{e}{P-e} \quad (2.5)$$

або

$$W = 0,622 \frac{e}{P-e}, \quad (2.6)$$

У першому випадку (W) визначається в г/кг, в другому – в г/г в кг/кг.

Відносна вологість повітря (f) – це відношення фактичної пружності водяної пари (e) до пружності насиченої водяної пари (E) при даній температурі, тобто

$$f = \frac{e}{E} 100\%, \quad (2.7)$$

Визначається у відсотках, %. [3]

Дефіцит тиску (вологи) або дефіцит насичення (вологості повітря), (d) – це різниця між пружністю насиченої водяної пари (E) при даній температурі і фактичною пружністю (e), тобто

$$D = E - e, \quad (2.8)$$

Визначається в гПа і мб.[3]

Точка роси (td) – це температура, при якій водяна пара, що є в повітрі, досягає стану насичення при постійному тиску та її масовій частці, тобто – це температура, при якій відносна вологість повітря досягає 100%. Визначається точка роси за значеннями пружності водяної пари.

Між розглянутими характеристиками вологості повітря існують визначені зв'язки. Тому за допомогою формул (або спеціальних таблиць, які називаються психрометричними) визначають одну із них, знаючи іншу.

Для вимірювання вологості повітря застосовують різні методи: абсолютний (або ваговий); за точкою роси; психрометричний; гігрометричний (або сорбційний). У метеорології застосовують останні два методи.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 13   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

## 2.3 Вимірювання вологості повітря психрометричним методом

У психрометричному методі визначення вологості повітря засновано на показах двох однакових термометрів. Резервуар одного з термометрів увесь час (або на період спостережень) підтримується в змоченому (водою) стані (змочений термометр). З поверхні резервуара цього термометра проходить випаровування води. Його інтенсивність залежить від вологості, оточуючого повітря. Чим більш сухе повітря, тим інтенсивніше випаровування з резервуара «змоченого» термометра і тим нижче його покази. Різниця показів «сухого» і «змоченого» термометрів залежить від вологості повітря. За цією різницею можна визначити характеристики вологості повітря.

Сухий термометр показує температуру повітря, а змочений – власну температуру, яка залежить від інтенсивності випаровування вологи з поверхні його резервуара.[3]

Вологість повітря психрометричним методом визначається за психрометричною формулою. Вона виводиться з рівності між надходженням і витратою тепла з поверхні змоченого термометра.

Витрату тепла, що витрачається на випаровування з поверхні змоченого термометра, визначають за формулою Дальтона

$$Q_1 = \frac{C(E_1 - e)}{P}, \quad (2.9)$$

де  $Q_1$  – кількість тепла, втраченого на випаровування з поверхні резервуара термометра в одиницю часу;  $E_1$  – максимальна пружність водяної пари при температурі випарної поверхні, тобто змоченого термометра;  $e$  – пружність водяної пари, що знаходиться в повітрі;  $P$  – атмосферний тиск;  $C$  – коефіцієнт пропорційності.[3]

Витрачаючи тепло на випаровування, термометр охолоджується. Виникає різниця температур резервуара термометра і оточуючого повітря. В результаті до резервуара змоченого термометра з повітря починає надходити тепло. Його кількість ( $Q_2$ ) можна підрахувати за формулою Ньютона

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 14   |

$$Q_2 = B(t - t'), \quad (2.10)$$

де  $t$  – температура сухого термометра;  $t'$  – температура змоченого термометра;  $B$  – коефіцієнт пропорційності.

Визначення вологості повітря виконують при сталих показках змоченого термометра. Тому можна вважати, що надходження тепла до нього дорівнює витраті тепла на випаровування, тобто  $Q_1 = Q$  і звідки

$$\frac{c(E_1 - e)}{p} = B(t - t'), \quad (2.11)$$

З даної рівності визначають пружність водяної пари, тобто

$$e = E_1 - \frac{B}{c} P(t - t'), \quad (2.12)$$

Якщо позначити  $\frac{B}{c}$  через  $A$ , то отримаємо психрометричну формулу, за якою визначають вологість повітря психрометричним методом, тобто

$$e = E_1 - AP(t - t'), \quad (2.13)$$

де  $A$  – постійна психрометра (психрометричний коефіцієнт), яка залежить головним чином від швидкості руху повітря біля резервуару термометра, а також від конструкції приладу.[3]

В залежності від характеру випарної поверхні, тобто в залежності від того, що буде на поверхні змоченого термометра, або вода, або лід, психрометричну формулу записують у вигляді

$$e = E_{1B} - AP(t - t')(1 + 0,0015t'), \quad (2.14)$$

коли на поверхні резервуару змоченого термометра буде вода і у вигляді

$$e = E_{1л} - 0,88229AP(t - t'), \quad (2.15)$$

коли на поверхні резервуара змоченого термометра буде лід.

У формулах (2.14) і (2.15)  $E_{1B}$  і  $E_{1л}$  – відповідно, максимальні пружності водяної пари над плоскою поверхнею чистої води і льоду при температурі змоченого термометра, які розраховані за залежностями відповідно до «Технического регламента Всемирной Метеорологической Организации»;  $A$  – психрометричний коефіцієнт, який дорівнює  $7,947 \cdot 10^{-4} \text{град}^{-1}$ , що відповідає психрометричному термометру ГОСТ 15055–69, при швидкості вентиляції змоченого термометра 0.8 м/с.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Днк. |
| Зм. | Днк. | № докum. | Підпис | Дл |                      | 15   |

Додатковий член  $(1 + 0,0015t')$  у формулі (2.14) враховує залежність прихованої теплоти пароутворення від температури, а коефіцієнт 0,88229 у формулі (2.15) – відмінність питомої теплоти сублімації від питомої теплоти конденсації.

Для вимірювання вологості повітря психрометричним методом використовують станційний і аспіраційний психрометри.

Станційний психрометр складається з двох психрометричних термометрів ТМ – 4 з ціною поділки  $0,2^{\circ}\text{C}$ , з якомога близькими характеристиками. Термометри розміщують поряд у вертикальному положенні і закріплюють на штативі в психрометричній будці. Лівий термометр «сухий», а правий – «змочений» (рис. 2.1).[3]

Резервуар змоченого термометра 3 щільно огорнутий шматочком батисту, нижній кінець якого занурений в стаканчик 7 з дистильованою водою. Стаканчик встановлюють в дротяному кільці, яке закріплено гвинтом на штативі. Для того, щоб краї стаканчика не заважали вільному обміну повітря і була виключена можливість утворення біля резервуару термометра повітря з підвищеною вологістю повітря, нижня поверхня резервуару повинна бути на 2 - 3 см над рівнем води в стаканчику, і на 2 см над кришкою стаканчика. Кришка повинна мати проріз, через який пропускають кінець батисту. Кришка виготовлена з цинку або скла і необхідна для захисту води від забруднення.[3]

Важливим для забезпечення правильних показів психрометра є якість і стан батисту. Він дозволяє забезпечити випаровування вологи з поверхні змоченого термометра. Батист повинен мати необхідні психрометричні властивості. В психрометрі застосовують батист, який підіймає воду на 7-8 см за 15 хвилин.

Для забезпечення точних вимірювань необхідно правильно пов'язувати батист (рис 2.1). Для цього термометр закріплюють нерухомо (наприклад, вкладають в книгу). Надалі, підбирають шматок батисту і приміряють його до резервуару термометра. Батист повинен обгортати резервуар термометра

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 16   |

тільки раз, при чому краї батисту повинні заходити один на одного не більше  $\frac{1}{4}$  кола резервуару. Після цього батист змочують дистильованою водою і в мокрому стані обгортають навколо резервуара термометра. Батист закріплюють петлями з ниток в двох місцях. Петлю міцно затягують над резервуаром і слабо зав'язують під резервуаром (рис.1.1) для того, щоб не порушити тягу води. При спостереженнях необхідно постійно слідкувати за чистотою батисту. Його рекомендують змінювати два рази на місяць, а у запилених місцях - значно частіше.[3]

Після пов'язки батисту термометр встановлюють у психрометричній будці на штативі. Вільний кінець батисту опускають у стаканчик з дистильованою водою. Її необхідно підливати в стаканчик не пізніше, ніж за 30 хв. до спостереження для того, щоб до моменту відліку по психрометру вона мала температуру зовнішнього повітря і не впливала на покази змоченого термометра. В літній період, при високих температурах повітря, батист іноді не встигає подавати достатню кількість води до резервуару. В цьому випадку необхідно за 10-15 хв. до відліку зняти кришку, підняти стаканчик і занурити у воду резервуар термометра. Надалі знову помістити стаканчик на попереднє місце.

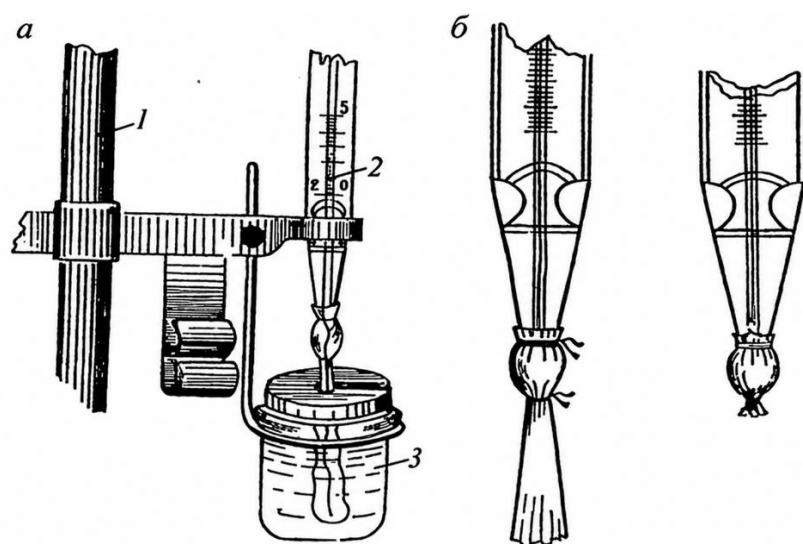


Рис. 2.1. Установка термометра в штативі станційного психрометра: а – установка термометра: 1 – штатив, 2 – термометр, 3- стаканчик з дистильованою водою; б - обв'язка резервуару термометра батистом при додатній температурі (зліва) і від'ємній температурі (справа)

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 17   |

Восени, із настанням приморозків, батист змоченого термометра туго затягується ниткою під резервуаром. Його вільний кінець обрізають на 2-3 мм нижче резервуара (рис 2.1). Психрометричний стаканчик прибирають з будки в приміщення. Пов'язка батисту повинна бути обрізаною, поки спостерігаються від'ємні температури. Відлік за змоченим термометром проводять при температурах не нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ . За 30 хв. до спостереження стаканчик з водою кімнатної температури приносять у психрометричну будку. Занурюють у воду резервуар термометра, обтягнутий батистом. Необхідно, щоб температура змоченого термометра піднялася на  $2-3^{\circ}\text{C}$  вище нуля. Це говорить, що уся стара льодова корка на батисті розтанула. Після цього стаканчик прибирають, будку закривають і через 30 хв. проводять відлік.[3]

Коли вимірювання проводять при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$ , то необхідно визначити, в якому стані знаходиться вода на батисті термометра. Вона може бути в твердому стані (лід) або в рідкому (переохолоджена вода). Для того, щоб визначити це, необхідно доторкнутися до батисту олівцем, на кінці якого є шматок льоду або снігу, і слідкувати за показами термометра. На батисті буде переохолоджена вода, якщо в момент дотику покази термометра змінюються (підвищаються). Від дотику з льодом вода перейшла в твердий стан (лід), при цьому виділилась теплота плавлення льоду, яка підвищила покази термометра. На батисті буде лід, якщо в момент дотику покази термометра не зміняться. В книжці спостережень обов'язково треба відмітити «лід» або «вода».

При температурі повітря нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  відлік за змоченим термометром взагалі не виконують. При низьких температурах пружність водяної пари стає незначною. Найменші похибки у визначенні показів за змоченим термометром призводять до дуже великих похибок у визначенні характеристик вологості повітря. Якщо у відлік допущена похибка в  $0,1^{\circ}\text{C}$ , то при температурі повітря  $-30^{\circ}\text{C}$  похибка у визначенні відносної вологості повітря складає 18%; при  $-20^{\circ}\text{C}$  – 8%; при  $-10^{\circ}\text{C}$  – 4%; при  $0^{\circ}\text{C}$  – 2% і при  $10^{\circ}\text{C}$  – 1%.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 18   |

Обчислення характеристик вологості повітря за показами психрометра можна виконувати за допомогою психрометричних формул при психрометричному коефіцієнті  $A = 0,0007947 \approx 0,0008$  град-1. Враховуючи грімідзкість розрахунків максимальної пружності водяної пари за залежностями «Технического регламента.....», у кожному конкретному випадку на метеорологічних станціях використовують психрометричні таблиці. Вони складені на основі цих формул.[3]

Аспіраційний психрометр МВ-4М призначений для вимірювання температури і вологості повітря в стаціонарних, експедиційних умовах, а також у промислових і побутових приміщеннях. Його застосовують при вимірюваннях серед рослин. Вологість можна вимірювати на будь-якому рівні без спеціальних захисних установок (будки).

Принцип дії аспіраційного психрометра такий же, як і у станційного. Але він має аспіратор (вентилятор), який утворює протяжку повітря біля резервуарів з постійною швидкістю 2 м/с.

Прилад має два однакових ртутних термометра 1 (рис.2.2) з резервуарами циліндричної форми. Межі шкал термометрів - від  $-31^{\circ}\text{C}$  до  $+51^{\circ}\text{C}$ , ціна поділки шкали –  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Термометри закріплені в спеціальній оправі, яка складається з трубки 5, планок 6, аспіратора 4. Трубка 5 роздвоюється донизу на дві трубки 8, в яких розміщені трубки 9. У них розміщені резервуари термометрів. Ці подвійні трубки захищають резервуари від нагрівання сонячними променями. Пластмасові кільця 7 ізолюють трубки від корпусу для того, щоб тепло від нього не передавалося резервуарам.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 19   |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |                      |      |

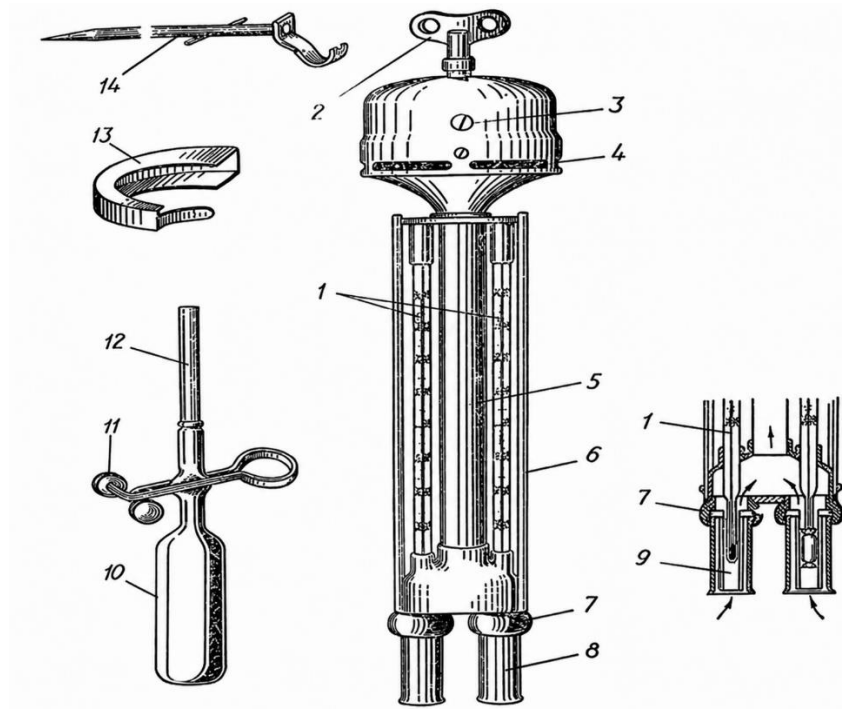


Рис. 2.2. Аспіраційний психрометр

Аспіратор 4 насаджений на верхній кінець трубки 5. В середині аспілятора знаходиться пружинний механізм вентилятора, який утворює рух повітря через трубки і біля резервуарів. Пружина заводиться ключем 2. У результаті роботи аспілятора зовнішнє повітря просмоктується біля резервуарів з постійною швидкістю.

Для вимірювання вологості повітря в замкнутих малодоступних камерах застосовують аспіратор М-34 з електродвигуном перемінного струму (127 в і 220 в). Розміри і зовнішній вигляд такий же, як і у звичайного психрометра, електродвигуном.

Для кращого відбиття сонячних променів металеві частини аспіраційного психрометра нікельовані і відполіровані.

Психрометр підвішують на залізний крюк-підвіс 14, який вгвинчують на потрібну висоту у дерев'яний стовп.

При роботі з аспіраційним психрометром необхідно слідкувати за збереженням його полірування, за справністю трубок, що закривають резервуари і постійністю аспірації.[3]

Для перевірки швидкості аспірації визначають швидкість обертання барабана пружини, встановленого в головці психрометра. Для цього заводять

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |                      | 20   |

пружину і очікують, коли у віконечку 3 аспіратора з'явиться мітка, нанесена на барабан пружини. В цей момент вентилятор затримують шматочком картону. Після цього пружину заводять ще раз і аспіратор пускають одночасно із секундоміром. Коли у віконечку повторно з'явиться мітка, секундомір зупиняють і фіксують час повного обороту. Якщо час оберту відповідає часу, вказаному в повірочному свідоцтві, то прилад справний. В середньому барабан робить повний оберт за 80-95 с. Тривалість дії механізму, який обертає вентилятор, складає 8-10 хв.

Пов'язка батисту на резервуар правого термометра, який є «змоченим», виконується таким же чином, як і для станційного психрометра для зимового періоду, тобто батист підрізають безпосередньо під резервуаром термометра.

Прилад найкраще встановлювати на окремому стовпі, завжди з навітряної сторони, щоб повітря йшло від приладу до стовпа. Для цього на чотирьох діаметрально розташованих сторонах стовпа роблять отвори, в які можна вгвинчувати крюк-підвіс. Спостережник при відліку повинен знаходитися з підвітряної сторони. Для вимірювань психрометр встановлюють на стовпі вертикально так, щоб резервуар знаходився на висоті двох метрів над поверхнею землі. При деяких спеціальних дослідженнях психрометр можна розташувати в горизонтальному положенні і на іншій висоті. В такому випадку психрометр повинен бути завжди однаково повернутим до вітру, а трубки затінені екраном від сонячних променів.[3]

При вітрі зі швидкістю понад 4 м/с під час спостережень на аспіратор надягають з навітряної сторони захист 13, який запобігає дії вітру на швидкість аспірації.

Перед вимірюванням психрометр виносять з приміщення і встановлюють у тому місці, де визначають вологість повітря. Зимом – за 30 хв., влітку - за 15 хв. до моменту відліку. Після цього, за 30 хв. до відліку взимку і за 4 хв. до відліку влітку, змочують термометр, обгорнутий батистом. Для змочування беруть гумову грушу 10 і наповнюють її дистильованою водою. Легким натискуванням доводять воду в скляній піпетці до риски і

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 21   |

утримують її на цьому рівні за допомогою затискувача 11. Якщо риска відсутня, то підводять воду не ближче, ніж на один сантиметр до краю. Потім обережно вводять піпетку в трубку, в якій знаходиться резервуар термометра, обернений батистом. Очікують деякий час (3 - 5 с) для того, щоб батист набрав воду і після цього відкривають затискувач.[3]

При відліку вентилятор повинен працювати на повну силу. Тому його заводять одразу після змочування термометра. В зимовий період за 4 хв. до відліку вентилятор заводять повторно. При відліку визначають температуру по сухому і змоченому термометрах.

При від'ємних температурах, після відліку визначають, у якому стані знаходиться батист (на ньому лід або вода). Цю перевірку виконують так само, як і для станційного психрометра. При температурі повітря нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  вимірювання не проводять.

Характеристики вологості повітря за показами аспіраційного психрометра обчислюють за допомогою психрометричних таблиць або за психрометричними формулами з психрометричним коефіцієнтом

$$A = 0,0006620 \approx 0,0007 \text{ град}^{-1}.[3]$$

## 2.4 Вимірювання вологості повітря гігрометричним (сорбційним) методом

Гігрометричний метод заснований на здатності тіл адсорбувати (поглинати) водяну пару з повітря і в результаті цього деформуватися або змінювати фізичні властивості. Прилади, які засновані на психрометричному методі, називаються гігрометрами. Виділяють гігрометри деформаційні, вагові (абсолютні), дифузійні, конденсаційні, електролітичні та інші. Найбільш широко в метеорології використовують волосяний і плівковий гігрометри.

Гігрометр волосяний метеорологічний М-19 (МВ-1) використовують для вимірювання відносної вологості повітря. Дія приладу базується на

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 22   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

властивості знежиреного людського волоса змінювати свою довжину в залежності від відносної вологості повітря.[3]

Прийомною частиною цього гігрометра (рис.2.3) є знежирений людський волос 1, який натягнутий на металеву рамку 2. Верхній кінець волоса закріплений регулюючим гвинтом 11 з контргайкою 12. Цей гвинт дозволяє змінювати натяг волоса в рамці. Нижній кінець волоса з'єднаний з блоком 6 у вигляді металевої дужки 10, посадженої на стержень 8. Стрілка 4 і стержень закріплені на одній осі 9. Зміна довжини волоса в результаті зміни вологості повітря викликає поворот стрілки навколо осі і зміщення її вільного кінця за шкалою 3 з поділками від 0 до 100%. При підвищенні вологості повітря волос подовжується і стрілка відходить вправо. При зменшенні вологості повітря волос скорочується і стрілка відходить вліво. Обертанням регулюючого гвинта стрілку можна встановити на потрібну поділку шкали. Натяг волоса утворюється вагою 5, якою закінчується стержень.

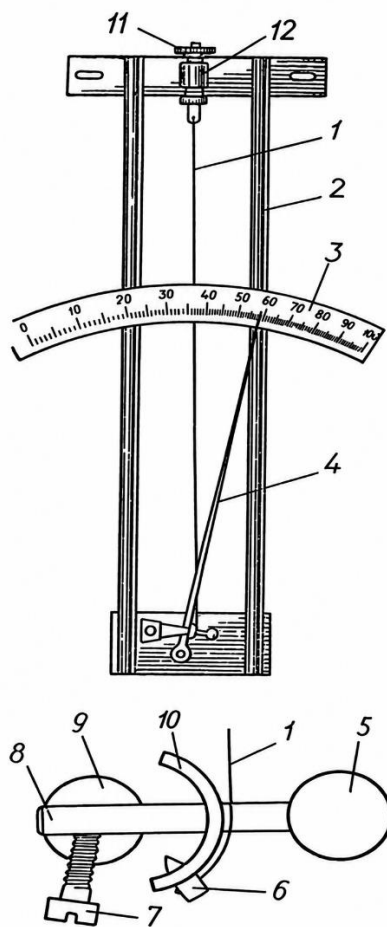


Рис 2.3 Волосяний гігрометр

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 23   |

Зв'язок між довжиною волоса і відносною вологістю повітря нелінійний, тому шкала гігрометра нерівномірна. Гігрометр розрахований на роботу при температурах від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Межі вимірювання відносної вологості повітря - від 30% до 100%; похибка вимірювання  $\pm 10\%$ . Ціна поділки шкали - 1%. Відлік роблять до цілої поділки шкали.

Волосний гігрометр встановлюють в психрометричній будці на спеціальному штативі (рис. 2.4) між сухими і змоченим термометрами.[3]

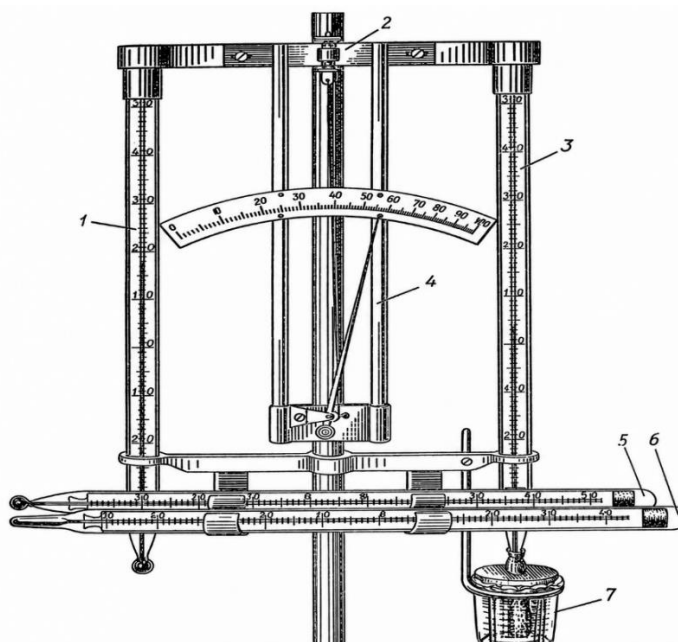


Рис. 2.4 Установка термометрів та волосного гігрометра в психрометричній будці

Чутливість гігрометра з часом змінюється, тому його покази необхідно порівнювати з відносною вологістю, визначеною за допомогою психрометра. При температурі  $-10^{\circ}\text{C}$  гігрометр є основним приладом для вимірювання вологості повітря. Прилад є відносним, і тому для отримання дійсних значень відносної вологості повітря в зимовий період (при температур нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ ) в покази гігрометра вводять поправки.

Вони визначаються на основі паралельних і одночасних вимірювань за станційним психрометром і гігрометром протягом 1 – 1,5 місяця до настання стійких температур нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ . На основі цих вимірювань будують графік зв'язку між показами психрометра і гігрометра, який використовують для переводу показів гігрометра в покази психрометра.[3]

|     |      |           |        |    |                      |      |
|-----|------|-----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |           |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № док.ум. | Підпис | Дп |                      | 24   |

Для цього на міліметровому папері на вертикальній осі відкладають відносну вологість за психрометром, а на горизонтальній осі – покази гігрометра. Значення відносної вологості за психрометром і гігрометром, які виміряні одночасно, відмічають на графіку точкою, що лежить на перетині ліній, що відповідають цим значенням (рис.2.5). Коли усі точки нанесені, вони утворюють (якщо гігрометр справний) відносно вузьку смугу, яка розташована під кутом приблизно  $45^\circ$  до осі координат. Посередині цієї смуги проводять лінію (її рівняння можна визначити методом найменших квадратів), за якою переводять покази гігрометра в покази психрометра. Для зручності на основі графіка складають перевідну таблицю (рис.2.5), за якою легко знайти відповідні значення. В цій таблиці знаходяться покази гігрометра у лівому вертикальному стовпці (десятки % відносної вологості) і у верхньому горизонтальному рядку (одиниці %). Виправлені значення відносної вологості визначають за перетином десятків і одиниць відсотків відносної вологості за гігрометром. Виправлені величини відносної вологості, а також температура повітря дозволяють одержати інші характеристики вологості повітря, використовуючи психрометричні таблиці.[3]

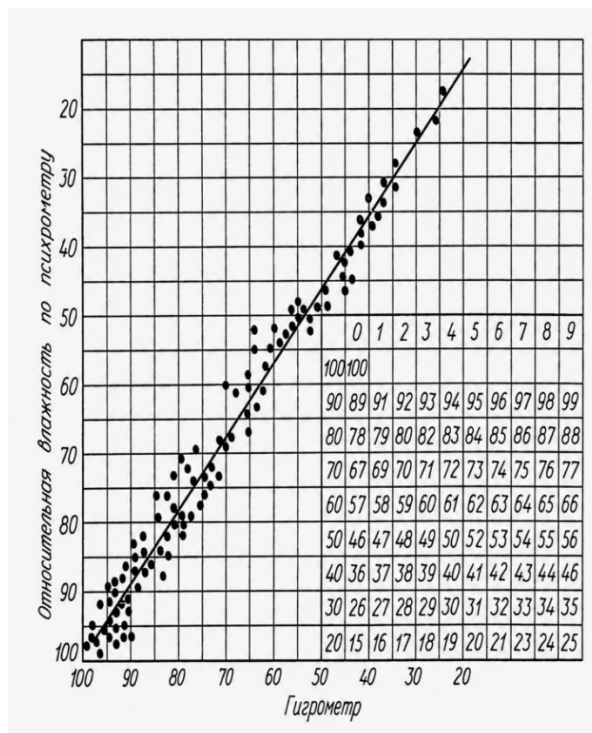


Рис 2.5 Графік поправок для волосяного гігрометра

Плівковий метеорологічний гігрометр М-39 застосовують для вимірювання відносної вологості повітря. Принцип дії приладу заснований на властивості гігроскопічної органічної плівки змінювати свої лінійні розміри в залежності від відносної вологості повітря.

Прийомною частиною гігрометра (рис.2.6) є натягнута на металеве кільце гігроскопічна тваринна плівка 1 (мембрана), в центрі якої знаходиться металева шайба. Кільце кріпиться гвинтами 2 до металевої рамки 3. Мембрана за допомогою тяги з'єднана з передаточним механізмом приладу, який складається з осі, стрілки 4 і гирі 7. Гиря забезпечує постійний натяг плівки. Через передаточний механізм деформація мембрани, яка проходить в результаті зміни вологості повітря, передається на стрілку. При збільшенні вологості повітря плівка розширюється, тому вісь і закріплена на ній стрілка під дією гирі повертаються за годинниковою стрілкою. При зниженні вологості плівка стискається і за допомогою тяги повертає вісь і стрілки проти годинникової стрілки.[3]

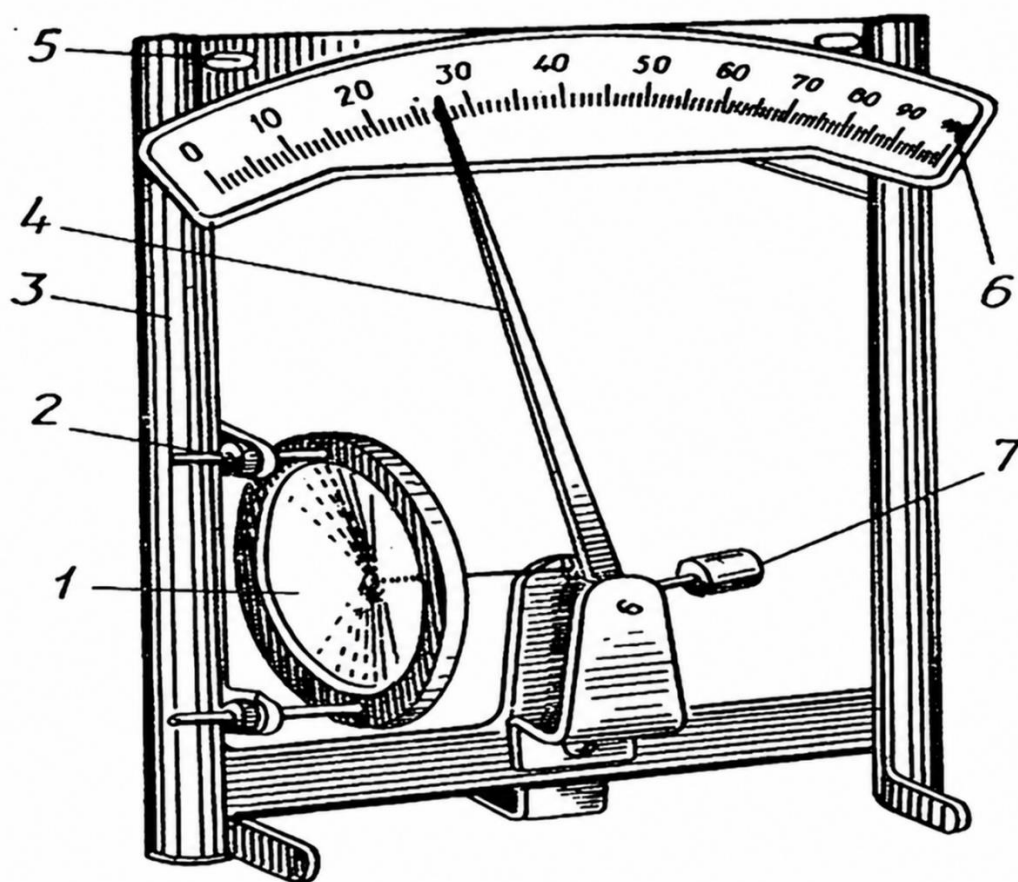


Рис. 2.6 Плівковий гігрометр

|     |      |          |        |    |
|-----|------|----------|--------|----|
|     |      |          |        |    |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |

МММТ 480.013.013- ПЗ

Дпк.

Гігрометр розрахований на роботу при температурах повітря від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . Відлік вологості повітря виконують за шкалою 6. Межі вимірювання - від 30% до 100%, похибка вимірювання  $\pm 10\%$ , ціна поділки шкали - 1%. Шкала рівномірна, на відміну від волосяного гігрометра.

Відлік по гігрометру виконують одразу після відліку за психрометричним термометром для того, щоб різниця в часі між спостереженнями була якомога меншою. Початкова установка стрілки приладу на потрібну поділку шкали здійснюється обертанням гвинтів 2.

Плівковий гігрометр – це відносний прилад. В його покази, як і в покази волосяного гігрометра, вводять поправки, які одержані за графіком зв'язку показів плівкового гігрометра і психрометра.

Гігрограф метеорологічний М-21 застосовують для безперервної реєстрації змін відносної вологості повітря в часі. Гігрографи бувають волосяними і плівковими (М-39).[3]

Прийомною частиною волосяного гігрографа (рис.2.7) є жмут знежиреного людського волосся 4, кінці якого закріплені до ебонітових втулок на металевому кронштейні. В середній частині жмут волосся зачеплений гачок 3. Зміна довжини волосся через систему важелів 1 і 2 та двох колінчатих валиків передається на стрілку 6 з пером 7. Криволінійні важелі компенсують нерівномірність подовження волосся. Кривизна важелів спеціально розрахована. Вони забезпечують рівномірність переміщення пера при нерівномірних змінах довжини жмута волосся у зв'язку зі зміною вологості.

Волос гігрографа завжди знаходиться в натягнутому стані завдяки протизазі, якою закінчується важіль 2. На задану поділку вологості повітря перо гігрографа виводять спеціальним встановлювальним гвинтом 5. Його обертання змінює натяг волосся.[3]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 27   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

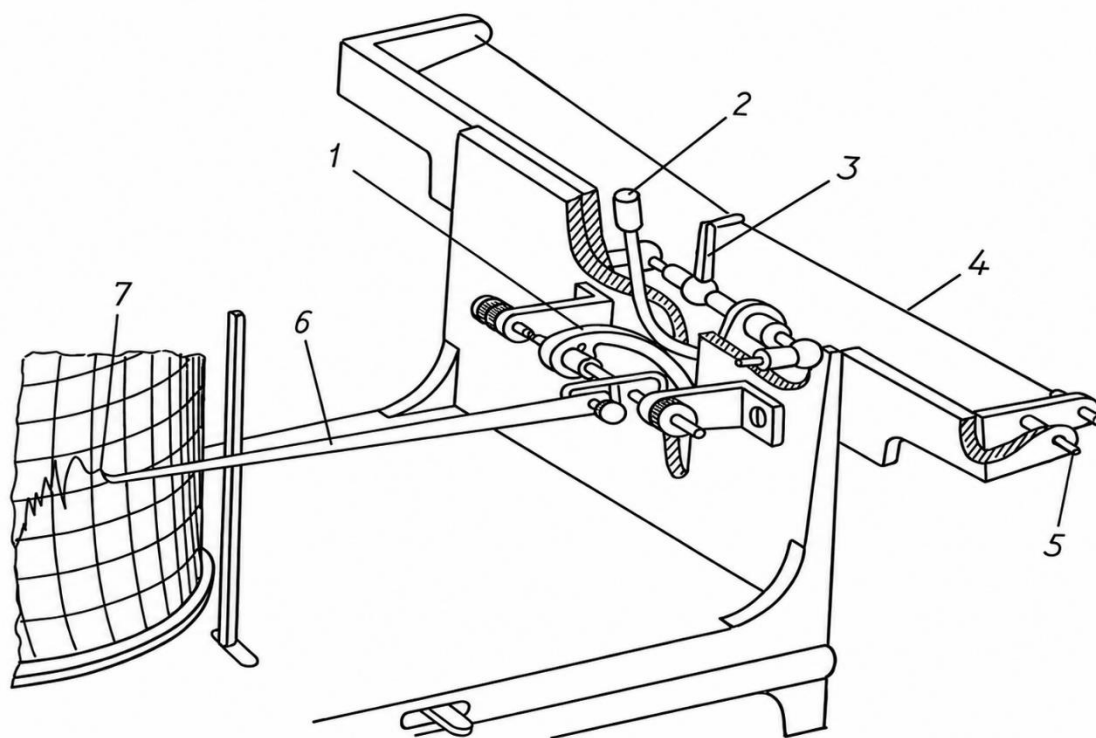


Рис. 2.7 Схема гігрографа

Реєстровальна частина гігрографа улаштована так само, як і в інших самописців. Гігрографи можуть бути добовими та тижневими в залежності від швидкості обертання барабана. Стрічка гігрографа розграфлена паралельними горизонтальними лініями і вертикальними дугами. По дугах визначають час, а по лініях – відносну вологість повітря. Кожна поділка на стрічці за вологістю повітря відповідає 1%, а за часом – 15 хв. для добового та двом годинам для тижневого гігрографа.

Гігрограф встановлюють в одній будці з термографом. Перед роботою приладу барабан заводять до упору і натягають стрічку, на звороті якої вказують час установки. Перо встановлюють на поділку, яка відповідає фактичній відносній вологості, визначеній за психрометром.[3]

Гігрограф є відносним приладом, тому результати вимірювання вологості повітря порівнюють з показами психрометра. Для цього під час відліку за психрометром роблять помітки на стрічці гігрографа легким підйомом пера.

Стрічку гігрографа оброблюють графічним методом. Будують графік і таблицю за відліком психрометра і відліком, знятим із стрічки гігрографа,

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 28   |

аналогічно тому, як це виконують для гігрометра. Подальша обробка стрічки полягає в тому, що використовуючи одержаний графік для кожного відліку за гігрографом, знятого зі стрічки, знаходять відповідний відлік за психрометром, який і буде виправленим відліком гігрографа.[3]

## 2.5 Вимірювання абсолютної вологості газів кулонометричним методом

Для вимірювань абсолютної вологості газів використовується кулонометричний метод. Принцип дії кулонометричних гігрометрів оснований на вимірюванні струму електролізу води, яка неперервно поглинається з аналізованого вологого газу гігроскопічною речовиною.

На рис. 2.8 показана схема кулонометричного гігрометра для вимірювання вологості газів. Давач гігрометра виконаний у вигляді ізоляційної трубки 1, всередині якої розташовані платинові електроди 2 і 3, виконані у вигляді двох паралельних спіралей, які підімкнені до джерела постійного струму 5.[2]

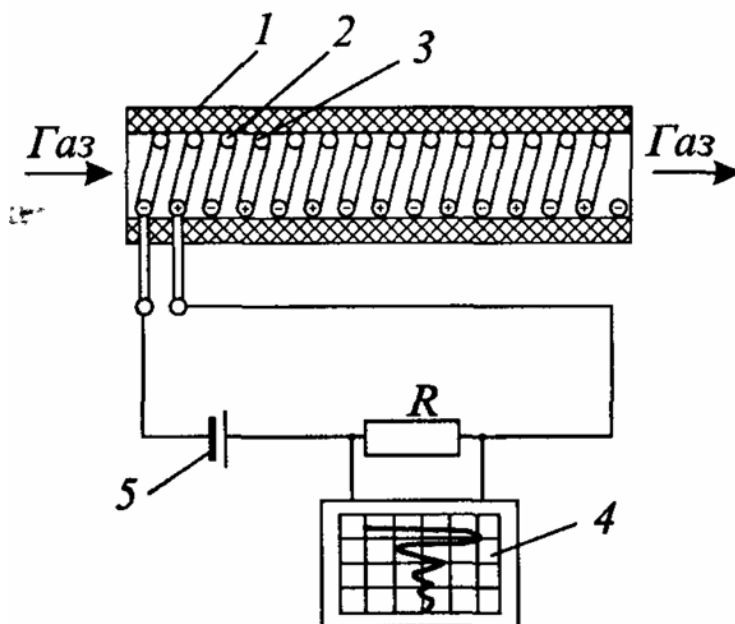
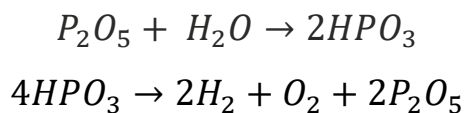


Рис. 2.8 Схема кулонометричного гігрометра

Електроди утворюють спіральний проміжок, який покритий тонкою плівкою з фосфорного ангідриду, який є вискоєфективним сорбентом і не

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |                      | 29   |

розкладається під час електролізу. Плівка поглинає вологу із газу, який пропускається через давач зі сталою швидкістю. При цьому безперервно проходять два процеси: утворення фосфорної кислоти і електроліз із регенерацією фосфорного ангідриду:



Струм електролізу, який вимірюється за спадом напруги на резисторі R за допомогою автоматичного компенсатора 4, пропорційний абсолютній вологості газу:

$$I = \frac{F * z}{m} Q_v a_v$$

де F - стала Фарадея; z - основність; m - молекулярна маса води;  $Q_v$  - об'ємні витрати газу  $m^3/c$ ;  $a_v$  - абсолютна вологість,  $г/м^3$ .

Існує ряд модифікацій кулонометричних гігрометрів, які дають змогу вимірювати вологість в діапазоні від  $2 * 10^6$  до 10 % (об'ємних) з основною зведеною похибкою  $\pm(1,5... 5)\%$  при температурі аналізованого газу від -10 до +60 °C і тиску  $10^4... 6 * 10^6$  Па.[2]

## 2.6 Вимірювання абсолютної вологості газів методом точки роси

Вимірювання абсолютної вологості газів методом точки роси полягає у визначенні температури, до якої необхідно охолодити при сталому тискові ненасичений газ, для того, щоб він став насиченим. Якщо додатково виміряти температуру газу, то можна визначити і відносну вологість.[2]

У сучасних дзеркальних гігрометрах точки роси (рис. 2.9) в потоці аналізованого газу розташовують металеве дзеркальце 1, яке охолоджується за допомогою напівпровідникового елемента Пельтьє (термопари 2). На дзеркальце від джерела світла через лінзу спрямовується промінь світла, який, відбившись від нього, через другу лінзу потрапляє на фотоелемент. Викликаний у фотоеlementі струм підсилюється і через регулятор струму (РС)

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 30   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

живить елемент Пельтьє. Якщо на дзеркалі відсутня волога, то промінь світла від дзеркала практично повністю відбивається і потрапляє на фотоелемент, викликаючи струм зворотного зв'язку  $i$ , відповідно, охолодження дзеркала. Температура дзеркала буде зменшуватися доти, доки на дзеркалі не випаде роса. В цьому випадку на фотоелемент буде потрапляти ослаблений потік світла, струм через елемент Пельтьє буде зменшуватися, а температура дзеркала почне зростати внаслідок нагрівання досліджуванним газом. Це призведе до випаровування роси, збільшення світлового потоку, струму зворотного зв'язку  $i$  до охолодження дзеркала. Отже, температура дзеркала буде підтримуватися близькою до температури точки роси, яка вимірюється контактним термоелектричним термометром.[2]

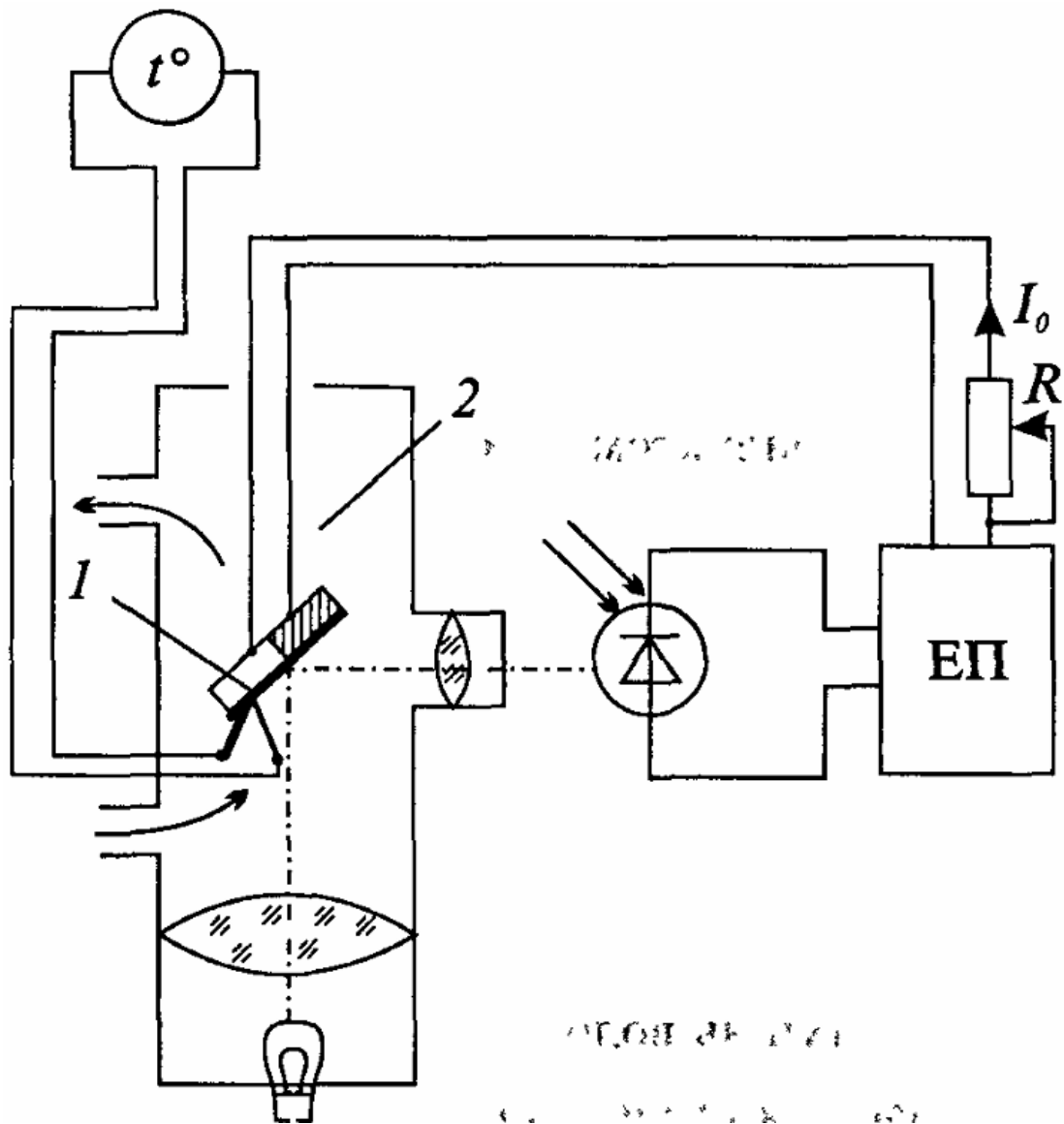


Рис. 2.9 Схема автоматичного вологоміра точки роси

Час встановлення показів такого гігрометра становить декілька секунд. Автоматичні дзеркальні гігрометри точки роси є порівняно дорогими, але їх можна використовувати і при дослідженні вологості агресивних газів. Похибка вимірювання при температурах точки роси вище від 0 °С знаходиться в границях  $\pm 0,5$  град, а при від'ємних точках роси може досягати декількох градусів.

До недоліків методу точки роси належить складність фіксації моменту ви падання роси, залежність температури точки роси від стану поверхні дзеркала тощо.[2]

## 2.7 Методи вимірювання вологості сипучих матеріалів

Для визначення вологості сипучих матеріалів розроблені різні методи, які поділяються на дві групи - прямі і непрямі. До прямих відносяться методи, в яких відбувається поділ матеріалу на суху речовину і воду. До непрямих відносяться методи, в яких вимірюються величини або властивості, функціонально пов'язаних з вологістю матеріалів. Прямі методи визначення вологості за принципом дії можна розбити на ряд груп. Теплофізичні методи засновані на випаровуванні води з навішування аналізованого матеріалу. По різниці між масою матеріалу до висушування і залишеною масою сухої речовини обчислюють масу води, що випарувалася. Для висушування використовують різні прилади, що відрізняються як по конструкції, так і за формою передачі тепла матеріалу. Дистиляційні методи засновані на спільній відгонці з аналізованої речовини води і органічного розчинника, що не змішується з водою. Хімічні методи - засновані на хімічній взаємодії води з деякими реактивами (металевим натрієм, реактивом Фішера). Вміст води в аналізованій пробі визначають по еквівалентній кількості речовини, що утворилась в результаті реакції.[4]

З непрямих методів практичне застосування в харчовій промисловості отримали електрометричні методи, в яких вимірюються електропровідність і

|     |      |          |        |    |                      |     |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|-----|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 32  |

діелектрична проникність. У ході механічних вимірюють характеристики, що залежать від кількості вологи у матеріалі. Наприклад, визначають опір пшеничного зерна роздавлюванню. Або усадку матеріалу під тиском поршня, опір деформації або вдавлювання конуса та інші. Механічні технології відрізняються простотою виконання та низькою точністю результатів, тому великого поширення вони не набули.

Набагато ширше використовуються фізичні методи. У ході їх проведення, вологість матеріалу перетворюється на іншу величину, зручнішу для вимірювання. Всі вони відносяться до двох категорій: електричні та неелектричні. У першому випадку вимірюються електричні параметри зразка, що залежать від кількісного вмісту вологи. У другому – інші характеристики.[4]

Серед неелектричних технологій найбільш популярними є способи, основою яких є застосування або вивчення:

застосування або вивчення:

- теплофізичні характеристики речовини,
- акустичні властивості матеріалу,
- нейтронів та гамма-променів (радіометричні методи),
- рентгенівського випромінювання,
- магнітний ядерний резонанс,
- інфрачервоного випромінювання та видимого світла (спектральні способи)

У групі електричних методів найпопулярнішими є кондуктометричний та діелькометричний (ємнісний). Крім них, є й інші, засновані на вивченні інших характеристик вологовмісних речовин – електростатичного заряду, ЕРС гальванічної пари тощо. Але їхня поширеність вкрай низька.[4]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 33   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

## 2.8 Вимірювання вологості кондуктометричним та діелекметричним (ємнісним) методами

Кондуктометричний метод оснований на залежності питомої провідності (активного опору), вимірюваної на постійному струмі, від вмісту вологи. Вимірявши провідність чи опір за допомогою відповідних графіків залежності опору від вологості, визначених попередньо експериментально для різних матеріалів, оцінюють ступінь вологості даного матеріалу. Перевагою методу є висока чутливість, що визначається степеневою залежністю опору від вологості. Однак зміна опору зумовлена великою кількістю чинників, таких, як температура, структура матеріалу, наявність електролітів. Тому кондуктометричний метод використовують лише в лабораторних умовах.[2]

Діелекметричний або ємнісний метод оснований на залежності діелектричних властивостей матеріалу від вологості. Оскільки для сухих речовин діелектрична проникність  $\epsilon = 2,0 \dots 5,0$ , а для води  $\epsilon_v = 81,0$ , то невелика зміна вологості матеріалу призводить до значної зміни результативної діелектричної проникності. Як вимірювальні кола в ємнісних вологомірах найчастіше використовуються трансформаторні мости з тісним індуктивним зв'язком плеч, а також резонансні вимірювальні кола.[2]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 34   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

### 3. ПРИКЛАДИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

#### 3.1 Обладнання для вимірювання вологості зерна

Ці ваги-вологоміри є ефективною альтернативою сушильним шафам, особливо коли необхідно провести перевірку вологості зразка за короткий час. Вони дозволяють скоротити час дослідження до десяти разів, що значно підвищує продуктивність. Основною перевагою таких пристроїв є вбудовані ваги та нагрівальний елемент, які дозволяють швидко і точно визначити вологість зразка. Це забезпечує високий рівень точності результатів при значно меншому часу для аналізу, що робить їх ідеальними для використання в будь якій лабораторії, де важлива оперативність і ефективність вимірювань вологості.

Аналізатори вологості (ваги-вологоміри), Ohaus. Ці ваги-вологоміри служать як ефективна альтернатива традиційним сушильним шафам, ідеально підходять для ситуацій, коли потрібно швидко визначити вологість зразка. Вони здатні зменшити час дослідження до десяти разів, що значно покращує продуктивність лабораторної роботи. Головною перевагою таких пристроїв є вбудовані ваги та нагрівальний елемент, які дають можливість точно та швидко визначити вологість зразка. Це забезпечує високу точність вимірювань і значно скорочує час аналізу, що робить ці ваги-вологоміри ідеальним рішенням для лабораторій, де важлива оперативність та ефективність вимірювань вологості.[5]

Ваги-вологоміри оснащені галогенною системою нагріву, яка забезпечує високу швидкість роботи та повторюваність результатів до 0,01%. Це гарантує стабільність і точність вимірювань. Винятком є модель MB23, яка обладнана інфрачервоною лампою.

Міцний корпус і конструкція з литих елементів забезпечують довговічність вагів-вологомірів та легкість в очищенні без потреби у додаткових інструментах. Зрозуміле меню на дисплеї спрощує навігацію і допомагає оператору на кожному етапі робочого процесу. Завдяки цьому

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 35   |

прилади надзвичайно прості та зручні в управлінні, що підвищує ефективність їх використання.

Основні особливості: Висока точність і відтворюваність результатів забезпечують надійність вимірювань. Просте управління процесом робить роботу з приладом зручною та зрозумілою. Великий дисплей відображає масу, температуру та вологість у режимі реального часу, що дозволяє оперативно відстежувати всі параметри. Широкий температурний діапазон і можливість зміни температури з кроком 1–5 °C забезпечують гнучкість налаштувань для різних типів зразків.[5]



Рис. 3.1 Аналізатори вологості серії MB

Вологість зерна та борошна вимірюють за допомогою автоматичного вологоміра SuperPro (рис. 3.2), виробництва Данія, або за допомогою напівавтоматичної сушильної шафи Брабендера.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 36   |



Рис. 3.2 Вологомір SuperPro

Вологомір SuperPro – це портативний електронний прилад для вимірювання вологості, який працює на основі вимірювання ємності та високої частоти в поєднанні зі стискуванням і автоматичною температурною компенсацією. Цей вологомір використовується для експрес-аналізу вологості зерна як у лабораторних, так і в польових умовах, зокрема: під час збору, зберігання та переробки зерна; при післязбиральній обробці та сушінні зерна; на токах, під час розміщення зерна в сховищах; при зволоженні зерна перед помелом. Результати вимірювання вологості відображаються у відсотках на електронному русифікованому дисплеї. SuperPro – універсальний прилад, який підходить для роботи з багатьма видами зерна, насінням трав (без попереднього подрібнення), а також з борошном у широкому діапазоні вологості та з високою точністю. Процес вимірювання вологості зерна складається з таких етапів: увімкнення приладу та вибір на дисплеї шкали, що відповідає вимірюваній культурі або продукту; відбір необхідної проби та засипання її в прилад; закручування кришки пресу до упору; натискання кнопки «ТЕСТ»; отримання результату вимірювань вологості у відсотках через 20 секунд. SuperPro має вбудовані калібрування для таких продуктів: овес, пшениця, ячмінь, жито, конюшина, сорго, кукурудза, рапс, горох, соняшник, соя, гречка, рис, просо, льон, пшеничне борошно, костриця

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 37   |

червона, костриця лучна, манка/макарони. Також можливе налаштування приладу для роботи з іншими культурами та харчовою сировиною. [5]

Вологість зерна та борошна також визначають методом висушування. Для цього використовують 10 г розмеленого на млині (ЛЗМ, ЛЗМК, ЛМТ-2, «Пірует» або іншої марки) зерна або борошна, які висушують в електричній напівавтоматичній сушильній шафі Брабендера (рис. 3.4) за температури 130 °С протягом 40 хвилин. Шафа Брабендера для швидкого визначення вологості обладнана: 10 гніздами для розміщення 10 проб; нагрівальними елементами для забезпечення необхідної температури; біметалевим та контактним термометрами для контролю температурного режиму; торсіонними терезами для точного зважування проб. Процес визначення вологості: розмелювання зразка зерна або борошна на млині; зважування наважки 10 г у бюксах за допомогою технічних ваг; розміщення проб у гніздах сушильної шафи; висушування при температурі 130 °С протягом 40 хвилин; зважування висушених проб для визначення втрати маси, яка відповідає вмісту води в зразку.[5]



Рис. 3.3 Лабораторний млин ЛМТ-2

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 38   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |



Рис. 3.4 Електрична напіваавтоматична сушильна шафа Брабендера

Після встановлення температури вставляють бюкс із пробою в камеру. Ручкою-колесом обертають 10-гніздову тарілку для розміщення наступних проб. Тарілку можна повертати лише коли важіль терезів піднятий (терези не працюють). Правильне положення тарілки підтверджується клацанням при опусканні важеля.[5]

### 3.2 Аналізатор вологості Joanlab MBA1103

Аналізатори вологості MBA1103 (Рис 3.5) (ваги з функцією вимірювання вологості зразка) використовуються для точного визначення відсотка вмісту води у різних матеріалах у лабораторних умовах, на виробництві, у сільському господарстві, навчальних закладах, дослідницьких інститутах, харчовому виробництві, екологічному контролю тощо. Аналізатор дозволяє швидко (7 - 15 хв) визначити рівень води в порошкоподібних, листових зразках, нелетких рідинах, що значно спрощує аналіз. [8]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 39   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |



Рис 3.5. Аналізатор вологості Joanlab MBA1103

### Технічні характеристики

|                                           |                               |
|-------------------------------------------|-------------------------------|
| Марка аналізатора                         | MBA1103                       |
| Максимальне навантаження, г               | 110                           |
| Дискретність зважування, г                | 0,001                         |
| Мінімальне навантаження, г                | 0,02                          |
| Сенсор                                    | HBM                           |
| Розмір чашки, д. мм                       | 96                            |
| Дисплей                                   | 5-ти дюймовий сенсорний екран |
| Джерело нагріву                           | Галогенная лампа              |
| Термодатчик                               | PT-100-2                      |
| Діапазон температур, °C                   | 40 - 160                      |
| Дискретність відображення температури, °C | 1                             |
| Температура експлуатації, °C              | від 5 до 35                   |
| Діапазон вимірювання вологості, %         | 0,00 - 100,00                 |

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 40   |

|                                        |                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Дискретність відображення вологості, % | 0,01                                    |
| Кількість комірок пам'яті              | 20                                      |
| Аналітична Крива                       | Динамічна крива у реальному режимі часу |
| Висота тестування, мм                  | 30                                      |
| Живлення                               | 220В/50Гц                               |
| Габаритні розміри аналізатора, мм      | 336x185x165                             |
| Вага, кг                               | 4,0                                     |

### 3.3 Аналізатор вологості OHAUS MB 27

OHAUS MB 27 (Рис. 3.6) - аналізатор вмісту вологості, що є класичним вимірювальним приладом з покращеними технічними характеристиками у порівнянні з OHAUS MB 23 та OHAUS MB 25. Аналізатор вологості з галогенним типом теплового випромінювання на досліджуваній зразок, під дією якого відбувається втрата води, що виконувала функцію дисперсного середовища й поєднання білків. Галогенний тип випромінювання теплової енергії забезпечує майже миттєвий перехід в робочий стан аналізатору води після його включення, збільшує швидкість проведення процесу вимірювання та дозволяє проводити експрес контроль. Принцип роботи OHAUSMB27 побудовано на основоположному гравіметричному методі хімічного аналізу та відокремлення зайвої води від вмісту основного компоненту.[9]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 41   |



Рис 3.6. Аналізатор вологості OHAUS MB 27

#### Технічні характеристики

|                                               |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|
| Модель аналізатору вмісту води типу           | OHAUS MB 27     |
| Найбільша гранична маса досліджуваного зразку | 90 г            |
| Відносна дискретність вимірювання             | 0,01%           |
| Дискретність вимірювання                      | 0,001 г         |
| Дискретність зміни температури                | 5°C             |
| Діапазон температури сушіння                  | 50...160 °C     |
| Тип джерела теплового випромінювання (сушка)  | Галогенна лампа |

У додатках наведено протоколи калібрування аналізатора вологості Joanlab MBA1103 та аналізатора вологості OHAUS MB 27.

## 4. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

### 4.1 Законодавчі вимоги до діяльності системи технічного регулювання

Метрологічна система України є однією зі складових системи технічного регулювання, що забезпечує єдність вимірювань у державі і створює умови для захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Нормативно-правова база метрологічної системи формулює чинний Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1]. Задля гармонізації проекту Закону з європейським законодавством, в проект включено законодавчу норму, відповідно до якої функції державного метрологічного контролю і наглядові функції виконуються різними суб'єктами метрологічної системи, що створює умови для отримання об'єктивних результатів нагляду та усунення конфлікту інтересів.

*Визначення основних термінів згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»:*

– калібрувальна лабораторія - підприємство, організація або їх відокремлений підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

– калібрування - сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу;[1]

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 43   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

### *Калібрування:*

1. Калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології. Калібруванню також підлягають вторинні та робочі еталони.

2. Калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться:

- науковими метрологічними центрами;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

Калібрування вторинних та робочих еталонів проводиться в порядку, встановленому нормативно-правовим актом центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності.

3. Калібрування та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.[1]

## **4.2 Акредитація випробувальних лабораторій**

Діяльність випробувальних, повірочних, та калібрувальних лабораторій передбачає вчинення експертних дій, за результатами яких та чи інша продукція і матеріали можуть бути допущені на ринок чи ні. Такі організації, після проведених досліджень, визначають якість продукції та безпеку її використання, точність засобів вимірювальної техніки, стан устаткування, що

|     |      |          |        |    |                      |     |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|-----|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк |
|     |      |          |        |    |                      | 44  |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |     |

використовується на підприємствах. Тому автоматизація обрахункових процесів в діяльності таких лабораторій є важливим і актуальним [6].

Враховуючи, що повірочні, калібрувальні та випробувальні лабораторії з точки зору застосовуваних стандартів мають багато спільного та виконують одні й ті ж пункти стандартів, далі в тексті буде застосовано термін «випробувальна лабораторія» як узагальнююче поняття всього комплексу повірочних, калібрувальних та випробувальних лабораторій, що працюють в сфері повірки, калібрування та випробування характеристик засобів вимірювальної техніки та всього допоміжного обладнання, яке використовується в технологічних процесах, та процесах контролю.

У своїй роботі випробувальні лабораторії повинні керуватися стандартами міжнародного і національного формату. Це основний фактор достовірності, точності та надійності результатів, які видає лабораторія. Крім того, приведення роботи випробувальних інститутів до єдиної системи стандартів забезпечує визнання їх висновків усіма учасниками ринку, для чого в Україні проводиться акредитація випробувальних і калібрувальних лабораторій.

Акредитована лабораторія — компетентний орган, висновки, видані нею, надійні. Замовники насамперед звернуть увагу на те, чи є такий статус в організації, куди вони звернулися за експертизою якості і безпеки продукції, що випускається, та оцінювання точнісних параметрів засобів вимірювальної техніки.

*Процедура акредитації.* Акредитація лабораторії — процедура, яка передбачає встановлення відповідності діяльності випробувальної лабораторії міжнародним і національним стандартам.

Акредитація – це процес з підготовки документів, обладнання та приміщення, результатом якого є офіційне визнання органом по акредитації компетентності лабораторії на виконання робіт з підтвердження відповідності, калібрування, випробувань.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 45   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

Національне агентство з акредитації України є органом, що має право проводити акредитацію та відповідає встановленим вимогам щодо незалежності, неупередженості та відсутності конфліктів інтересів.

Акредитація набула найбільшого поширення в сфері надання професійних послуг з випробування, калібрування та клінічної діагностики, як інструмент оцінки якості. За допомогою такого інструменту споживач може легко оцінити якість послуг та рівень компетентності організації.

Організації, що акредитують лабораторії щодо їх компетентності в проведенні досліджень і калібрування, повинні використовувати стандарт ISO/IEC 17025 в якості основи для своєї оцінки та акредитації.

Стандарт ISO / IEC 17025 детально описує вимоги, яким повинні відповідати лабораторії для гарантії своєї компетентності з технічної точки зору та можливості видавати дійсні результати [7].

У своїй діяльності НААУ керується Законом України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», а також враховує європейські і міжнародні стандарти, прийняті у сфері акредитації ООС — органів оцінки відповідності. Ними ж визначається порядок проведення цієї процедури.

В Україні прийняті нормативні акти, згідно з якими відбувається акредитація випробувальних лабораторій. ДСТУ ISO 17025:2017 — базовий для оцінки діяльності випробувальних лабораторій. До подачі заявки на проведення акредитації ООС повинен впровадити цей стандарт у свою діяльність, привести у відповідність всю документальну базу, подбати про належну поінформованість персоналу, провести навчання співробітників [7].

Дія стандарту поширюється на лабораторії як самостійні організації або такі, що входять до структури окремих підприємств, можуть бути частиною інспекційного або сертифікаційного центру (органу), не акцентуючи увагу на кількість персоналу, діяльності у сфері випробування та калібрування.

|     |      |          |        |     |                      |      |
|-----|------|----------|--------|-----|----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |     |                      | 46   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп. |                      |      |

## 5. МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

### 5.1 Сфера призначення

Ця методика встановлює порядок проведення калібрування ваг-вологомірів, вологомірів різних типів.

Ця методика містить:

- процедуру визначення абсолютного відхилення показів ваг-вологомірів, вологомірів різних типів;
- порядок розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні;
- вказівки щодо оформлення результатів калібрування.

#### *Посилання*

У цій методиці є посилання на такі документи :

1. ЕА-4/02 Expression of the uncertainty of measurement in calibration (Подання невизначеності вимірювань при калібрування).
2. ДСТУ ОІМЛ R 92:2019 Вологоміри деревини. Методи і засоби повірки. Загальні положення (OIML R 92, edition 1989, IDT).
3. ДСТУ ОІМЛ R 111-1:2008. Гирі класів точності  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  і  $M_3$ . Загальні технічні вимоги та методи випробування.
4. ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосовування в лабораторіях. Вимоги та методи перевіряння.
5. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
6. ДСТУ 7690:2015 Метрологія. Неавтоматичні зважувальні прилади. Методика повірки (калібрування).
7. ДСТУ 9089:2021 Метрологія. Вологоміри твердих та сипучих матеріалів. Методика повірки
8. ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів.

|     |      |           |        |     |                      |      |
|-----|------|-----------|--------|-----|----------------------|------|
|     |      |           |        |     | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |           |        |     |                      | 47   |
| Зм. | Дпк. | № док.ум. | Підпис | Дп. |                      |      |

9. ДСТУ-Н ISO Guide 31:2008 Метрологія. Стандартні зразки. Зміст сертифікатів і етикеток/
10. ДСТУ-Н ISO Guide 35:2018 Референтні матеріали. Рекомендації з характеризування та оцінювання однорідності та стабільності (ISO Guide 35:2017, IDT)
11. ДСТУ EN ISO / IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
12. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, що затверджені Наказом Держнаглядохоронпраці від 09 січня 1998 р. № 4
13. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018(ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT)  
НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995)

## 5.2 Операції за засоби калібрування

Для проведення калібрування застосовуються еталони та допоміжне обладнання, що наведені у табл. 5.1. Допускається застосовувати інше обладнання та ЗВТ, при цьому методика повинна пройти додаткове оцінювання згідно П-24.

Табл.5.1

| Назва операції                       | Номер пункта методики | Робочі еталони, устаткування, технічні та метрологічні характеристики                                                                                                                          |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                    | 2                     | 3                                                                                                                                                                                              |
| Контроль умов виконання калібрування | 4.1                   | Гігрометр ВІТ-1, (0 – 25) °С; (20 – 90) %, $\Delta = \pm 0,2$ °С<br>Мультиметр UT109:<br>“~” від 4 В до 1000 В; “—” від 0,04 В до 1000 В,<br>“~” від 0,0001 А до 10,0 А; “—” від 0,4 В до 10 В |
| Підготовка до калібрування           | 7                     | -                                                                                                                                                                                              |
| Проведення вимірювань                | 8.1                   | Термометр цифровий                                                                                                                                                                             |

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 48   |

| Назва операції                                                                                                      | Номер пункта методики | Робочі еталони, устаткування, технічні та метрологічні характеристики                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| та визначення максимального відхилення показів навантажених ваг-вологомірів                                         | 8.2                   | восьмиканальний ТЦ-026-8Е з датчиками ТОП-109 (Pt100) та ТЕП-109К, від мінус 40 °С до 1100 °С, Гирі класів точності E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> по ДСТУ OIML R 111-1:2008 Вода для застосування в лабораторіях, згідно ДСТУ ISO 3696 Посуд лабораторний (кювета, піпетка). |
| Проведення вимірювань та визначення максимального відхилення показів вологомірів зерна та його продуктів переробки, | 8.3                   | Сертифіковані референтні матеріали зерна та продуктів його переробки, що використовуються для калібрування.                                                                                                                                                                                                      |
| Проведення вимірювань та визначення максимального відхилення показів вологомірів деревини                           | 8.3                   | Міра електричного опору багатозначна Р4042М, від 1*10 <sup>3</sup> Ом - 9*10 <sup>9</sup> Ом                                                                                                                                                                                                                     |

2. Еталони та допоміжне обладнання, які будуть застосовуватися при виконанні калібрування, повинні бути відкалібровані для забезпечення простежуваності вимірювань. Повинні бути перевірені на предмет встановлення їх відповідності технічним вимогам, встановленим в НД або ЕД.

3. Гирі (робочі еталони) для калібрування конкретних ваг вибирають таким чином, щоб виконувалась умова :

$$U \leq 1/3 \Delta_n ,$$

де  $U$  – розширена невизначеність вимірювання умовної маси гирі (відхилення умовної маси гирі відомі і враховуються при калібруванні),

$\Delta_n$  - межа допустимого відхилення гир для заданого номінального значення маси.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 49   |

4. CRM повинні мати встановлені значення властивостей з відповідними невизначеностями результатів вимірювань та простежуваністю згідно ДСТУ-Н ISO Guide 35:2018, а також супровідні документи згідно ДСТУ-Н ISO Guide 31.

### 5.3 Умови проведення калібрування

1. Калібрування виконується в наступних умовах, якщо інше не вказано замовником:

- температура оточуючого повітря в приміщенні, °C  $20 \pm 5$
- зміна температури навколишнього середовища не більше 1 °C / год;
- відносна вологість повітря, % від 30 до 80
- напруга живлення мережі змінного струму, В від 185 до 240
- частота, Гц 50

2. У приміщенні не повинно бути повітряних потоків і вібрацій, що викликають зсування показань ваг, а також теплових потоків, що викликають одностороннє нагрівання або охолодження ваг.

### 5.4 Вимоги безпеки

1. До проведення калібрування допускаються особи, що мають досвід роботи з вологомірами, вагами-вологомірами, та пройшли інструктаж з охорони праці у встановленому в ТОВ “ТЕСТМЕТРСТАНДАРТ” порядку.

2. При проведенні калібрування повинні виконуватись :

- вимоги НПАОП 40.1-1.21; ДСТУ 7237.
- під час роботи необхідно дотримуватись вимог розділів “Вимоги техніки безпеки” технічних описів на обладнання, що використовується.

3. Під час проведення робіт необхідно виконувати правила охорони праці, встановлені інструкцією з охорони праці на даний вид робіт, а

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 50   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

також правила, вказані в експлуатаційних документах на конкретні ЗВТ та обладнання

## **5.5 Вимоги до кваліфікації персоналу**

1. За цією методикою можуть працювати фахівці, що уповноважені на виконання даного виду робіт.

2. Працівники, які проводять калібрування, повинні знати принцип дії і правила роботи вологомірів, ваг-вологомірів лабораторних конкретного типу і приладів, які використовуються під час калібрування.

## **5.6 Підготовка до калібрування**

### **5.6.1 Зовнішній огляд ваг вологомірів.**

При проведенні зовнішнього огляду повинно бути встановлено відповідність ваг-вологомірів, наступним вимогам:

- відповідність комплектності ваг-вологомірів експлуатаційній документації;
- відсутність механічних пошкоджень ваг-вологомірів, пошкоджень лакофарбових і металевих покриттів, що впливають на експлуатаційні якості ваг;
- відсутність ушкоджень з'єднувальних кабелів в електронних вагах;
- наявність заземлення для електронних ваг, знаків безпеки і необхідного маркування.

### **5.6.2 Зовнішній огляд вологомірів зерна та його продуктів переробки, вологомірів деревини, стандартних зразків.**

Результати вважають задовільними, якщо під час зовнішнього огляду встановлено:

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 51   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

відсутність зовнішніх пошкоджень, які заважають нормальному функціонуванню вологомірів чи призводять до порушень вимог безпеки праці, виробничої санітарії та охорони довкілля;

комплектність вологомірів забезпечує можливість проведення калібрування;

наявність в ЕД на вологоміри їхніх МХ;

наявність на індикаторному табло вологоміра познач вимірювальних величин та їхніх одиниць;

відсутність дефектів відлікового пристрою, що ускладнюють зчитування показів вологомірів;

відповідність версії ПЗ вологоміра (за наявності) даним, установленим під час оцінки відповідності.

вибирають до роботи CRM (RM), які відповідають призначенню вологомірів, що калібрують, та відповідні допоміжні засоби, які готують відповідно до їхніх ЕД;

вибирають до роботи кількість CRM (RM)  $> 3$  зі значеннями показників вологості (масової частки води), що відповідають першій, другій і третій третинам діапазону вимірювання вологоміра, та готують відповідно до їхніх ЕД.

### **5.6.3 Перевірення функціонування ваг-вологомірів, вологомірів зерна та його продуктів переробки, вологомірів деревини.**

Вмикають вологомір та, якщо конструкцією передбачено виконання процедури самотестування вологоміра, спостерігають за виконанням цієї процедури. Перевіряють наявність індикації інформації для відповідних режимів роботи вологоміра.

Для перевірення функціонування вагового пристрою виконують вимірювання маси еталонної міри та за потреби виконують юстування відповідно до вимог ЕД. Перед проведенням вимірювань еталонні гири, які

|     |      |          |        |    |                      |     |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|-----|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк |
|     |      |          |        |    |                      | 52  |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |     |

використовуються, повинні бути витримані в лабораторному приміщенні, де будуть проводитися вимірювання, не менше 2 годин.

Ваги-вологоміри після їх розпакування повинні бути витримані в лабораторному приміщенні не менше 12 годин, повинні бути встановлені на міцному лабораторному столі, виставлені по рівню і витримані у включеному стані не менше 30 хвилин.

Результат перевірення функціонування вологомірів, ваг-вологомірів вважають позитивним, якщо вмикання вологомірів, ваг-вологомірів відбувається без збоїв і для всіх режимів роботи результати виконання передбачених ЕД процедур належно відображаються на цифровому табло вологоміра, ваг-вологоміра.

Результати перевірення роботоздатності документують у протоколі калібрування.

Примітка 1. Порядок перевірення роботоздатності може бути скориговано відповідно до ЕД на конкретний вологомір.

## 5.7 Опис процедури калібрування

Проведення вимірювань і визначення показань ваг-вологомірів.

Визначення відхилення навантажених ваг.

Під час калібрування ваг визначається середнє квадратичне відхилення збіжності їх показів, максимальна похибка показів та похибка ваг від нецентрованості.

### Калібрування вагового пристрою вагів-вологомірів

**5.7.1 Визначення середнього квадратичного відхилення збіжності показів.**

Визначення середнього квадратичного відхилення збіжності показів проводиться:

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 53   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

- для електронних ваг з одним діапазоном зважування - при навантаженні на прилад, яке рівне або близьке найбільшій границі зважування (НГЗ) ваг;

Середнє квадратичне відхилення може визначатися при навантаженнях, визначених користувачем і відмінних від вказаних вище, якщо це виправдано з точки зору конкретного застосування приладу.

Перед визначенням збіжності покази приладу встановлюються на нуль. З метою визначення середнього квадратичного відхилення збіжності показів прилад навантажується еталонними гирями 10 разів. Покази кожного навантаження  $I_{зб,i}$  реєструються. Після зняття випробувального вантажу кожного разу реєструються покази ненавантажени ваг  $I_{0i}$ , якщо вони відмінні від нуля. Якщо покази не повернулися до нульових, перед наступним навантаженням вони встановлюються на нуль.

Середнє квадратичне відхилення показів оцінюють за формулою

$$S = (1/3) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (I_{зб,i} - \overline{I_{зб}})^2}, \quad (1)$$

де  $\overline{I_{зб}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} I_{зб,i}$  - середнє арифметичне показів ваг.

Результати вимірювань заносяться в протокол згідно додатку А.

#### 5.7.1.1 Визначення похибки показів ваг.

Похибка показів електронних ваг визначається в усьому діапазоні зважування від найменшої границі зважування (НмГЗ) до НГЗ в п'яти точках: НмГЗ; 0,25НГЗ; 0,5НГЗ; 0,75НГЗ; НГЗ. Якщо ваги мають кілька діапазонів зважування, то похибка показів ваг визначається в аналогічних точках кожного діапазону зважування. Користувачем може бути визначена лише частина діапазону зважування від min до max або номінальні точки навантажень, або діапазони зважування, для яких необхідно здійснити калібрування. Якщо користувачем для калібрування визначена частина

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 54   |

діапазону зважування, то похибки визначаються в точках:  $\min$ ,  $\min+0,25(\max-\min)$ ,  $\min+0,5(\max-\min)$ ,  $\min+0,75(\max-\min)$ ,  $\max$ .

Кількість точок, в яких визначається похибка ваг, може бути зменшена до 3-ох рівномірно розподілених в частині діапазону зважування, включно з  $\min$  та  $\max$ , якщо різниця між ними не перевищуватиме  $0,15HГЗ$ .

Похибка механічних ваг визначається не менше ніж в чотирьох точках шкали, що відповідають  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  і найбільшому значенню шкали. Для багатодіапазонних механічних ваг визначається похибка ваг в аналогічних точках шкали кожного діапазону та на початку діапазону зважування.

Перед визначенням похибки покази ваг встановлюються на нуль.

Для визначення похибки показів ваг в певній точці діапазону еталонна гиря (набір еталонних гир) розміщується в центрі вантажоприймального пристрою. Відповідне навантаження потрібно створювати одноразово за допомогою однієї еталонної гирі, а, якщо це неможливо, необхідно для створення навантаження використовувати мінімально можливу кількість еталонних гир.

Можуть бути використані наступні способи навантаження ваг :

1. Покрокове підвищення навантаження з розвантаженням між окремими кроками.
2. Покроково збільшуючи навантаження без розвантаження між окремими кроками.
3. Покроково збільшуючи та зменшуючи навантаження без розвантаження між окремими кроками.
4. Покроково зменшуючи навантаження, починаючи з максимального, без розвантаження між окремими кроками.

Конкретний спосіб навантаження під час визначення похибки показів ваг має бути максимально наближений до способу навантаження ваг при використанні ваг користувачем. Якщо спосіб навантаження ваг користувачем не визначається, під час калібрування використовується спосіб 3.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 55   |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |                      |      |

Для кожного навантаження реєструються покази ваг  $I_{н,i}$ . Після кожного зняття навантаження перевіряються і реєструються покази ненавантажених ваг  $I_{0i}$ . За необхідності покази встановлюються на нуль.

Похибку показів в  $i$ -тій точці діапазону оцінюють за формулою

$$\Delta_i = I_{н,i} - m_{et,i}, \quad (2)$$

де  $m_{et,i}$  – дійсна маса еталонної гирі (еталонних гир), якими навантажували ваги в  $i$ -тій точці діапазону.

Результати вимірювань заносяться в протокол згідно додатку А.

### 5.7.1.2 Визначення похибки ваг від нецентрованості.

Визначення похибки від розташування вантажу на платформі проводиться навантаженням ваг еталонною гирею (гирями) загальною масою  $I_{ес}$ , що дорівнює приблизно 1/3 НГЗ (із заокругленням до маси найближчої більшої гирі). Для багатодіапазонних електронних ваг необхідно визначати максимальну похибку від розташування вантажу на платформі для діапазону зважування з найбільшою дискретністю. Гирі розташовують в центрі, а потім по кутах платформи (як показано на Рис. 3.1). Перед кожною установкою гир на платформу показання електронних ваг обнуляють.



Рис. 5.1

Похибку ваг від нецентрованості в  $i$ -ому положенні оцінюють за формулою:

$$\Delta_{нец,i} = I_i - I_0. \quad (3)$$

### 5.7.1.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

Модельне рівняння для похибки показів:

$$\Delta = I - m_{\text{ет.}} = (I + \delta I_{\text{д.}} + \delta I_{\text{зб}} + \delta I_{\text{нец}} - I_0 - \delta I_{\text{уст.0}}) - (m_N + \delta m_{\text{ет.}} + \delta m_B + \delta m_{\text{д}} + \delta m_{\text{конв}})$$

де  $I$  – покази навантажених ваг;

$I_0$  – покази ненавантажених ваг;

$\delta I_{\text{д.}}$  – поправка до показів через похибку дискретизації показів ваг;

$\delta I_{\text{зб}}$  – поправка до показів, обумовлена обмеженою збіжністю показів ваг;

$\delta I_{\text{нец}}$  – поправка до показів, обумовлена зміщенням центру гир від центру вантажоприймального пристрою;

$\delta I_{\text{уст.0}}$  – поправка, обумовлена неточністю встановлення ваг на нуль;

$m_N$  – номінальна маса еталонної гирі (еталонних гир);

$\delta m_{\text{ет.}}$  – поправка до номінальної маси еталонної гирі;

$\delta m_B$  – поправка до еталонної гирі, обумовлена виштовхувальною силою повітря;

$\delta m_{\text{д}}$  – поправка до маси еталонної гирі, обумовлена дрейфом дійсної маси з часу останнього калібрування;

$\delta m_{\text{конв}}$  – поправка до еталонної маси, обумовлена конвективними ефектами.

Сумарну стандартну невизначеність оцінюють за формулою:

$$u^2(\Delta) = u^2(\delta I_{\text{д.}}) + u^2(\delta I_{\text{зб}}) + u^2(\delta I_{\text{нец}}) + u^2(\delta I_{\text{уст.0}}) + u^2(\delta m_{\text{ет.}}) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_{\text{д}}) + u^2(\delta m_{\text{конв}})$$

Якщо навантаження під час визначення похибки створювалося набором гир, то в сумарну стандартну невизначеність слід включити доданки:

$$u^2(\delta m_{\text{ет.}}) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_{\text{д}}) + u^2(\delta m_{\text{конв}})$$

від кожної гирі набору.

В формулі для сумарної стандартної невизначеності:

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 57   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

$u(\delta I_{\text{д.}}) = d/2\sqrt{3}$ , де  $d$  - дискретність відліку або подвоєна доля поділки шкали ваг, з точністю до якої зчитуються покази ваг з аналоговою шкалою;

$$u(\delta I_{\text{зб.}}) = S;$$

$$u(\delta I_{\text{нец.}}) = \begin{cases} \frac{\Delta_{\text{нец.}} \cdot I}{2\sqrt{3}m_{\text{нец.}}}, & \text{якщо навантаження складалося із кількох гир.} \\ 0, & \text{якщо навантаження складалося з однієї гирі.} \end{cases};$$

$u(\delta I_{\text{уст.0}}) = d_0/4\sqrt{3}$ , де  $d_0$ —дискретність відліку або ціна поділки ненавантажених ваг;

$u(\delta I_{\text{уст0}}) = \frac{q}{\sqrt{3}}$ , де  $q$  -точність (в долях поділки шкали), з якою зчитують покази ваг з аналоговою шкалою.

$u(\delta m_{\text{ет.}}) = \frac{U(\delta m_{\text{ет.}})}{2}$ , де  $U(\delta m_{\text{ет.}})$  – розширена невизначеність калібрування еталонної гирі, наведена в свідоцтві про її калібрування;

$u(\delta m_{\text{в}}) = m_{\text{ре}}/4\sqrt{3}$ , де  $m_{\text{ре}}$  – границі допустимої похибки гирі за ДСТУ OIMLR 111.

$u(\delta m_{\text{д}}) = \frac{D}{\sqrt{3}}$ , де  $D$ —дрейф маси гирі, оцінений за результатами послідовних її калібрувань. Якщо така інформація відсутня, то приймається  $D = U(\delta m_{\text{ет.}})$ .

$u(\delta m_{\text{конв}}) = \Delta m_{\text{конв.}}/\sqrt{3}$ , де значення  $\Delta m_{\text{конв.}}$  знаходять за таблицею за різницею температур  $\Delta T$  еталонної гирі та навколишнього середовища.

Значення  $\Delta m_{\text{конв.}}$  в мг в залежності від різниці температур  $\Delta T$  для еталонних гир номінальної маси  $m_N$ .

|                       | $\Delta T$ в К |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $m_{N\text{в}}$<br>кг | 20             | 15   | 10   | 7    | 5    | 3    | 2    | 1    |
| 2                     | 6,42           | 5,01 | 3,53 | 2,61 | 1,96 | 1,27 | 0,91 | 0,51 |

|     |      |          |        |    |                      |  |  |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|--|--|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ |  |  | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дд |                      |  |  | 58   |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 3,53 | 2,76 | 1,96 | 1,45 | 1,09 | 0,72 | 0,51 | 0,29 |
| 0,5  | 1,96 | 1,54 | 1,09 | 0,81 | 0,61 | 0,40 | 0,29 | 0,17 |
| 0,2  | 0,91 | 0,72 | 0,51 | 0,38 | 0,29 | 0,19 | 0,14 | 0,08 |
| 0,1  | 0,51 | 0,40 | 0,29 | 0,22 | 0,17 | 0,11 | 0,08 | 0,05 |
| 0,05 | 0,29 | 0,23 | 0,17 | 0,12 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,03 |
| 0,02 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 0,01 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |

Для гир номінальної маси менше 0,01 кг  $\Delta m_{\text{конв.}}$  приймається рівною 0.

Розширену невизначеність для рівня довіри  $p = 0,95$  розраховують за формулою

$$U = 2 \cdot u(\Delta)$$

Результати оцінювання невизначеності вимірювання документуються в Бюджеті невизначеності вимірювання.

Бюджет невизначеності вимірювання під час калібрування ваг

| Величин<br>а              | Значенн<br>я<br>величин<br>и | Стандартна<br>невизначеніст<br>ь | Розподіл<br>ймовірносте<br>й | Коефіцієн<br>т впливу | Внесок в<br>невизначеніст<br>ь |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| $I$                       | Значенн<br>я                 | -                                | Номінал                      | -                     | -                              |
| $\delta I_{\delta}$       | -                            | Значення                         | Рівномірний                  | 1                     | Значення                       |
| $\delta I_{\text{зб}}$    | -                            | Значення                         | Нормальний                   | 1                     | Значення                       |
| $\delta I_{\text{нец}}$   | Значенн<br>я                 | Значення                         | Рівномірний                  | 1                     | Значення                       |
| $I_0$                     | Значенн<br>я                 | -                                | Номінал                      | -                     | -                              |
| $\delta I_{\text{уст.0}}$ | -                            | Значення                         | Рівномірний                  | -1                    | Значення                       |
| $m_N$                     | Значенн<br>я                 | -                                | Номінал                      | -                     | -                              |

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 59   |

|                      |                  |                                   |                       |                      |                                       |
|----------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| $\delta m_{ет.}$     | -                | Значення                          | Нормальний            | -1                   | Значення                              |
| $\delta m_B$         | -                | Значення                          | Рівномірний           | -1                   | Значення                              |
| $\delta m_\partial$  | -                | Значення                          | Рівномірний           | -1                   | Значення                              |
| $\delta m_{конв}$    | -                | Значення                          | Рівномірний           | -1                   | Значення                              |
| Похибка ваг $\Delta$ | Значення похибки | Сумарна стандартна невизначеність | Розподіл ймовірностей | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначеність для $p=0,95$ |
|                      | Значення         | Значення                          | Нормальний            | 2                    | Значення                              |

#### 5.7.1.4 Побудова калібрувальної характеристики ваг (для ваг І та ІІ класів точності за ДСТУ EN 45501 та 1, 2, 3 класів точності за ГОСТ 24104) крутильних та торсійних.

Калібрувальна характеристика (залежність похибки ваг від його показів для будь-якого показу в діапазоні калібрування) у випадку, якщо похибки показів під час калібрування визначалися не менше, ніж в двох точках діапазону ( $N \geq 2$ ), апроксимується лінійною залежністю:

$$\Delta(I) = a + b \cdot I,$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot \Delta_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - \sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j \cdot \Delta_j}{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - (\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i)^2};$$

де

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j \cdot \Delta_j - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \Delta_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j}{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - (\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i)^2};$$

$$p_i = 1/u^2(\Delta_i).$$

**5.7.1.5 Невизначеність градуувальної характеристики знаходять за формулою**

$$u(\Delta(I)) = \sqrt{u^2(a) + u^2(b)I^2 + b^2 \cdot u^2(I) + 2I \text{cov}(a, b)},$$

де

$$u(a) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i^2}{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - (\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i)^2}};$$

$$u(b) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N p_i}{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - (\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i)^2}};$$

$$\text{cov}(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i}{\sum_{i=1}^N p_i \sum_{j=1}^N p_j \cdot I_j^2 - (\sum_{i=1}^N p_i \cdot I_i)^2}$$

#### **5.7.1.6 Розрахунок невизначеності результату зважування на вагах.**

Результат зважування на вагах виражається як  $m = I$  з розширеною невизначеністю (для умов зважування, достатньо близьких до умов калібрування)

$$U(m) = k(p) \cdot \sqrt{\frac{d_0^2}{12} + \frac{d^2}{12} + S^2 + \frac{\Delta_{\text{нец}}^2 \cdot I^2}{m_{\text{нец}}^2} + u^2(\Delta(I)) + \frac{\Delta^2(I)}{3}}.$$

Значення коефіцієнта  $k(p) = 2$  для  $p = 0,95$ .

#### **5.7.2 Проведення вимірювань і визначення показань ваг-вологомірів при вимірюванні вологості**

Умикають вологомір та, якщо конструкцією передбачено виконання процедури самотестування вологоміра, спостерігають за виконанням цієї процедури.

Перевіряють наявність індикації інформації для відповідних режимів роботи вологоміра.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 61   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

Для перевірення функціонування вагового пристрою виконують вимірювання маси еталонної міри та за потреби виконують юстування відповідно до вимог ЕД.

Результат перевірення функціонування вологомірів вважають позитивним, якщо вмикання вологомірів відбувається без збоїв і для всіх режимів роботи результати виконання передбачених ЕД процедур належно відображаються на цифровому табло вологоміра.

Результати перевірення працездатності документують у протоколі калібрування.

Примітка 1. Порядок перевірення працездатності може бути скориговано відповідно до ЕД на конкретний вологомір.

#### 5.7.2.1 Перевірення основної абсолютної похибки вологомірів

Задають на вологомірі режим сушіння до постійної маси за температури сушіння 105 °С та швидкості сушіння 0,05 % за хвилину.

Для і-го значення масової частки води встановлюють на чашку вологоміра еталонну міру номінальним значенням маси  $m_{\text{iref}}$ , у грамах, яка відповідає обраному (розрахованому) значенню вологості  $X_{\text{c,iref}}$ , у відсотках, із таблиці 3.

Таблиця 3— Значення мас, які відповідають певному (розрахованому), значенню вологи

| I | Маса наважки<br>води $m_i$ , г | Номінальна маса<br>гирі $m_{\text{ref}}$ , г | Розраховане<br>значення<br>вологи $X_{\text{c,ref}}$ , % |
|---|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1 | 0,5                            | 10                                           | 4,76                                                     |
| 2 | 0,5                            | 5                                            | 9,09                                                     |
| 3 | 0,5                            | 2                                            | 20,00                                                    |

|   |     |   |        |
|---|-----|---|--------|
| 4 | 1,0 | 1 | 50,00  |
| 5 | 3,0 | 1 | 75,00  |
| 6 | 3,0 | — | 100,00 |

Зі стакана у відповідну піпетку набирають дистильовану воду в об'ємі, у кубічних сантиметрах, який за численним значенням дорівнює масі  $m_i$ , у грамах, для обраного значення вологості з таблиці 3, і капають її на чашку вологоміра з еталонною мірою. Фіксують покази вологоміра  $m_i'$ , у грамах й одразу ж закривають камеру, щоб уникнути випаровування вологи.

Закривають кришку вологоміра та вмикають заданий режим сушіння.

Після закінчення процесу вимірювання фіксують покази вологоміра — значення вологи у відсотках.

Повторюють операції для отримання значень вологи в усіх точках (не менш ніж шість вимірювань в кожній точці) відповідно до вимог замовника.

Значення маси гирі  $m_{i\text{ref}}$ , у грамах, та значення вологи  $X_{ci}$ , у відсотках, документують у протоколі калібрування.

### 5.7.2.2 Оброблення результатів вимірювання

За результатами визначень вологи у кожній  $i$ -ій точці діапазону вимірювання, отриманими відповідно до 8.2.1, обчислюють основну абсолютну похибку вологоміра  $\Delta i$ , у відсотках, за формулою :

$$\Delta X_c = X_{ci} - X_{\text{ref}}, \quad (9)$$

Де  $X_{\text{ref}}$  - розрахована вологість (див. табл.3), %;

$X_{ci}$  - покази вологоміра, %.

$X_{\text{ref}}$  обчислюють за формулою:

$$X_{\text{ref}} = 100 \times (m_i' - m_{i\text{ref}}) / m_i' \quad (10)$$

де  $m_i'$  – покази вологоміра до сушки (сумарна вага води та гир), г

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 63   |

$m_{\text{iref}}$  – вага після висушування (вага гирь), г.

Результати визначення основної абсолютної похибки вологоміра в усіх перевірених точках діапазону заносять до протоколу згідно додатку А.

### 5.7.2.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

Моделльне рівняння для похибки вимірювання вологості має вигляд:

$$\Delta W = (W + \delta W_d + \delta W_{36.}) - \frac{m_0 - m_\Gamma}{m_0} \cdot 100 \%$$

де  $\delta W_d$  – поправка до показів вологоміра, обумовлена кінцевою роздільною здатністю вологоміра,

$\delta W_{36.}$  - поправка до показів вологоміра за рахунок обмеженої збіжності його показів.

Сумарну стандартну невизначеність оцінюють за формулою

$$u^2(\Delta W) = u^2(\delta W_d) + \left( \frac{m_\Gamma \cdot 100\%}{m_0^2} \right)^2 u^2(m_0) + \left( \frac{100\%}{m_0} \right)^2 u^2(m_\Gamma) + u^2(\delta W_{36.})$$

В формулі для сумарної стандартної невизначеності:

$$u(\delta W_d) = \frac{d_W}{2\sqrt{3}}, \text{ де } d_W - \text{дискретність відліку вологоміра};$$

$$u(\delta W_{36.}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}{n(n-1)}}$$

$$u(m_0) = \frac{U(m_0)}{k(p)}, \text{ де } U(m_0) - \text{розширена невизначеність зважування.}$$

$$U(m_\Gamma) = \frac{U(m_\Gamma)}{k(p)}, \text{ де } U(m_\Gamma) - \text{розширена невизначеність калібрування гирі.}$$

Розширену невизначеність для рівня довіри 0,95 розраховують за формулою

$$U = 2 \cdot u(\Delta W).$$

Результати оцінювання невизначеності вимірювання документуються в Бюджеті невизначеності вимірювання, форма якого наведена нижче.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 64   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

Бюджет невизначеності вимірювання під час калібрування вологоміра в режимі вимірювання вологості

| Величина           | Значення величин | Стандартна невизначеність         | Розподіл ймовірностей | Коефіцієнт впливу    | Внесок в невизначеність               |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| $W$                | Значення         | -                                 | Номінал               | -                    | -                                     |
| $\delta W_{зб.}$   | 0                | Значення                          | Нормальний            | 1                    | Значення                              |
| $\delta W_d$       | Значення         | Значення                          | Рівномірний           | 1                    | Значення                              |
| $\delta m_0$       | Значення         | Значення                          | Нормальний            | Значення             | Значення                              |
| $\delta m_T$       | Значення         | Значення                          | Нормальний            | Значення             | Значення                              |
| Похибка вологоміра | Значення похибки | Сумарна стандартна невизначеність | Розподіл ймовірностей | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначеність для $P=0,95$ |
|                    | Значення         | Значення                          | Нормальний            | 2                    | Значення                              |

### 5.7.3 Визначення метрологічних характеристик вологомірів вологості.

#### 5.7.3.1 Визначення абсолютної похибки вологоміра деревини

Визначення виконують для вологомірів, що ґрунтуються на кондуктометричному методі вимірювання, з застосуванням однозначних чи багатозначних мір електричного опору.

Вимірювання на вологомірі проводять так:

- встановлюють на вологомірі код обраного матеріалу ( якщо є перемикач

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 65   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

температури- встановлюють його в положенні «200 С»);

- під'єднують міру електричного опору до електродів давача вологоміра;
- встановлюють значення електричного опору, еквівалентне значенню вологості відповідного матеріалу, яке беруть з функціональної бази вологоміра;
- фіксують покази вологоміра  $W$ ;
- під'єднують по чергові міри електричного опору, еквівалентні значення вологості в усьому діапазоні вимірювань цього матеріалу;
- для багатоканальних вологомірів встановлюють код іншого матеріалу й проводять аналогічні операції.

#### 5.7.3.1.1 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

Моделльне рівняння  $\Delta W = (W + \delta W_d + \delta W_{зб.}) - (W_{et.} + \delta W_t. + \delta W_{\partial,et.})$ ,

Де  $\delta W_d$  – поправка на дискретність відліку вологоміра;

$\delta W_{зб.}$  – поправка на обмежену збіжність показів вологоміра;

$W_{et.}$  – значення вологості, еквівалентне значенню опору міри, яке беруть з функціональної бази вологоміра;

$\delta W_t.$  – поправка на відхилення температури калібрування від температури калібрування міри опору;

$\delta W_{\partial,et.}$  – поправка на дрейф опору міри від часу її останнього калібрування;

Сумарну стандартну невизначеність  $u(\Delta W)$  знаходять за формулою:

$$u(\Delta W) = \sqrt{u^2(\delta W_d) + u^2(\delta W_{зб.}) + u^2(W_{et.}) + u^2(\delta W_t.) + u^2(\delta W_{\partial,et.})},$$

$$\text{де } u(\delta W_{зб.}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}{n(n-1)}};$$

$$u(\delta W_d) = \frac{d}{2\sqrt{3}};$$

$u(W_{et.}) = \frac{k \cdot U_{et.}}{k(p)}$ . Тут  $U_{et.}$  – розширена невизначеність калібрування міри і відповідний коефіцієнт охоплення  $k(p)$ , які беруть зі свідоцтва калібрування

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 66   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |

міри,  $k$  – чутливість вологоміра до зміни опору,  $k = \frac{\Delta W}{\Delta R}$ ,  $\Delta W$  – зміна показів вологоміра при невеликому відхиленні опору на  $\Delta R$  від значення опору міри;

$u(W_{et.}) = \frac{\alpha \cdot (t - t_0) R_{et.}}{2\sqrt{3}}$ ,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт електричного опору матеріалу міри;  $t$  – температура при калібрування вологоміра,  $t_0$  – температура калібрування міри опору,

$R_{et.}$  – значення опору міри;

$u(\delta W_{\partial, et.}) = \frac{k \cdot D}{2\sqrt{3}}$ , де  $D$  – дрейф опору міри (визначається за результатами двох

останніх калібрувань міри опору).

Розширену невизначеність  $U(\Delta W)$  за формулою

$$U(\Delta W) = 2 \cdot u(\Delta W).$$

Бюджет невизначеності вимірювання під час калібрування вологоміра  
деревини

| Вхідна величина            | Оцінка вхідної величини  | Стандартна невизначеність         | Число ступенів свободи           | Розподіл ймовірностей вхідної величини | Коефіцієнт чутливості | Внесок у невизначеність  |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| $W$                        | значення                 | -                                 | -                                | Номінал                                | -                     | -                        |
| $\delta W_d$               | 0                        | значення                          | $\infty$                         | Рівномірний                            | 1                     | значення                 |
| $\delta W_{зб.}$           | 0                        | значення                          | $n - 1$                          | Нормальний                             | 1                     | значення                 |
| $W_{et.}$                  | значення                 | значення                          | $\infty$                         | Нормальний                             | 1                     | значення                 |
| $\delta W_t.$              | 0                        | значення                          | $\infty$                         | Рівномірний                            | 1                     | значення                 |
| $\delta W_{\partial, et.}$ | 0                        | значення                          | $\infty$                         | Рівномірний                            | 1                     | значення                 |
| Вихідна величина           | Оцінка вихідної величини | Сумарна стандартна невизначеність | Ефективне число ступенів свободи | Рівень довіри                          | Коефіцієнт охоплення  | Розширена невизначеність |
| $\Delta W$                 | значення                 | значення                          | $\infty$                         | $P = 0,95$                             | 2                     | значення                 |

### 5.7.3.2 Визначення абсолютної похибки вологоміра з застосуванням CRM

5.7.3.2.1 Перевірення абсолютної похибки вологомірів проводять із застосуванням CRM-показника вологості (масової частки води) у твердих та сипких матеріалах. Перевірення проводять на матеріалах, на які можна градувати вологоміри, надані на калібровку. Дозволено виконувати перевірення на обмеженому переліку матеріалів за наявності заявки від організації- власника, в якій цей перелік наведено.

Вимірювання масової частки води проводять згідно з чинними стандартами, чи за методиками вимірювання, стандартизованими (атестованими) у встановленому порядку для конкретного виду твердих чи сипких матеріалів.

#### 5.7.3.2.2 Перевірення абсолютної похибки з застосуванням CRM

Для визначення абсолютної похибки вологомірів використовують CRM, підготовлені відповідно розділу 5.6 п.5.6.2

5.7.3.2.2.1 Для CRM, які являють собою зразки натурального матеріалу, на вологомірі, відповідно до ЕД, для конкретного виду твердих чи сипких матеріалів, проводять не менше ніж три паралельних визначення води CRM ( $i > 3$ ) в точках (n), розташованих на деякій відстані одна від одної, рівномірно по всій поверхні i- го CRM.

5.7.3.2.2.2 Для CRM-імітатора води конкретного матеріалу, який імітує значення води згідно з номінальною градувальною характеристикою вологоміра для цього матеріалу, якщо конструкція датчик вологоміра дає можливість використовувати CRM-імітатор, розміщують датчик вологоміра спочатку на одну робочу поверхню CRM, потім на протилежну, і на обох поверхнях виконують вимірювання вологості відповідно до 5.7.3.2.2.1 (так отримують два різних значення вологості від одного CRM).

5.7.3.2.2.3 Проводять вимірювання для всіх обраних CRM.

|     |      |          |        |    |                      |     |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|-----|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      | 68  |

Для багатоканальних вологомірів операції виконують на кожному каналі, якщо не зазначено іншого.

Результати визначення масової частки вологи відповідного матеріалу  $W_{Bj}$  у відсотках, заносять до протоколу калібрування.

### 5.7.3.2.3 Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

Невизначеність вимірювання оцінюється для кожної точки діапазону калібрування, в якій під час калібрування оцінювалася похибка показів, згідно з наведеним нижче алгоритмом.

Модельне рівняння має вигляд:  $\Delta W = (W + \delta W_d + \delta W_{зб.}) - W_{et.}$ ,  
де  $\delta W_{зб.}$  - поправка до показів вологоміра за рахунок обмеженої збіжності його показів;

$\delta W_d$  – поправка на дискретність відліку вологоміра;

$\delta W_{зб.}$  – поправка на обмежену збіжність показів вологоміра;

$W_{et.}$  – значення вологості міри;

Сумарну стандартну невизначеність  $u(\Delta W)$  знаходять за формулою:

$$u(\Delta W) = \sqrt{u^2(\delta W_d) + u^2(\delta W_{зб.}) + u^2(W_{et.})},$$

$$\text{де } u(\delta W_{зб.}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}{n(n-1)}};$$

$$u(\delta W_d) = \frac{d}{2\sqrt{3}};$$

$u(W_{et.}) = \frac{U_{et.}}{k(p)}$ . Тут  $U_{et.}$  – розширена невизначеність значення міри і відповідний коефіцієнт охоплення  $k(p)$ , які беруть із сертифіката на стандартний зразок.

Розширену невизначеність  $U(\Delta W)$  за формулою

$$U(\Delta W) = 2 \cdot u(\Delta W).$$

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № доквм. | Підпис | Дп |                      | 69   |

| Вихідна величина | Оцінка вхідної величини  | Стандартна невизначеність         | Число ступенів свободи           | Розподіл ймовірностей вхідної величини | Коефіцієнт чутливості | Внесок у невизначеність  |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| $W$              | значення                 | -                                 | -                                | Номінал                                | -                     | -                        |
| $\delta W_d$     | 0                        | значення                          | $\infty$                         | Рівномірний                            | 1                     | значення                 |
| $\delta W_{зб.}$ | 0                        | значення                          | $n - 1$                          | Нормальний                             | 1                     | значення                 |
| $W_{et.}$        | значення                 | значення                          | $\infty$                         | Нормальний                             | 1                     | значення                 |
| Вихідна величина | Оцінка вихідної величини | Сумарна стандартна невизначеність | Ефективне число ступенів свободи | Рівень довіри                          | Коефіцієнт охоплення  | Розширена невизначеність |
| $\Delta W$       | значення                 | значення                          | $\infty$                         | $p = 0,95$                             | 2                     | значення                 |

### Оформлення результатів калібрування

Результати калібрування необхідно оформити сертифікатом калібрування по формі Ф- 46.

|     |      |          |        |     |                      |      |
|-----|------|----------|--------|-----|----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |     |                      | 70   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп. |                      |      |

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено методологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання вологості.

В процесі роботи було виконано аналітичний огляд методів і засобів вимірювання вологості.

Було розроблено метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії . Наведено законодавчі вимоги до діяльності системи технічного регулювання та акредитація випробувальних лабораторій. Розглянуто оцінювання невизначеності при калібруванні.

Розроблено:

– методика калібрування ваг-вологомірів та вологомірів різних типів (засоби калібрування, умови проведення калібрування, вимоги безпеки при проведенні калібрування, підготовка до калібрування, процедури калібрування).

Виконано калібрування аналізатора вологості Joanlab MBA1103 та аналізатора вологості OHAUS MB 27.

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 71   |
| Зм. | Дпк. | № докум. | Підпис | Дп |                      |      |

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. – К.: №1314- VII-ВР, 05.06.2014 р
2. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Бескид Біт, 2012. – 544 с.
3. Галік О. І. Метеорологічні прилади і методи спостережень. Практикум: навч. посіб. / О. І. Галік. - Рівне : НУВГП, 2008. – 134 с.
4. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПУЧИХ ПРОДУКТІВ. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/40044/14854.pdf?sequence=3>. (дата звернення: 18.05.2026)
5. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
6. ДСТУ OIML D 23:2008 Метрологія. Принципи метрологічного контролю обладнання для повірки (OIML D 23:1993, IDT)
7. ДСТУ ENISO / IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
8. Аналізатор вологості МВА1103 (НВМ) (110/0,001) - ціна в Україні. "ТОВ "СПЕКТРО ЛАБ" [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://spectrolab.com.ua/ua/p2439952975-analizator-vlazhnosti-mva1103.html>. (дата звернення: 21.05.2026)
9. Аналізатор вологості лабораторний (галогенний) OHAUS MB27. Маркет вимірювальних приладів «SIMVOLT» [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://simvolt.ua/analizator-vlazhnosti-laboratornyy-galogenny-ohaus-mb27.html/>. (дата звернення: 21.05.2026)
10. EA-4/02 Expression of the uncertainty of measurement in calibration (Подання невизначеності вимірювань при калібрування).

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      | 72   |

11. ДСТУ OIML R 92:2019 Вологоміри деревини. Методи і засоби повірки. Загальні положення (OIML R 92, edition 1989, IDT).

12. ДСТУ OIML R 111-1:2008. Гирі класів точності  $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}$  і  $M_3$ . Загальні технічні вимоги та методи випробування.

13. ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосовування в лабораторіях. Вимоги та методи перевіряння.

14. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.

15. ДСТУ 7690:2015 Метрологія. Неавтоматичні зважувальні прилади. Методика повірки (калібрування).

16. ДСТУ 9089:2021 Метрологія. Вологоміри твердих та сипучих матеріалів. Методика повірки

17. ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів.

18. ДСТУ-Н ISO Guide 31:2008 Метрологія. Стандартні зразки. Зміст сертифікатів і етикеток/

19. ДСТУ-Н ISO Guide 35:2018 Референтні матеріали. Рекомендації з характеризування та оцінювання однорідності та стабільності (ISO Guide 35:2017, IDT)

20. ДСТУ EN ISO / IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

21. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, що затверджені Наказом Держнаглядохоронпраці від 09 січня 1998 р. № 4

22. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018(ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT) НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995)

|     |      |          |        |    |                      |      |
|-----|------|----------|--------|----|----------------------|------|
|     |      |          |        |    | МММТ 480.013.013- ПЗ | Дпк. |
|     |      |          |        |    |                      | 73   |
| Зм. | Дпк. | № докum. | Підпис | Дп |                      |      |