

# Вимірювання відносної вологості повітря при оцінці мікроклімату виробничих приміщень

Ліневич А.С

2016/04/31

						Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

# ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	<b>3</b>
<b>1 Методи вимірювання та прилади для вимірювання вологості повітря</b>	<b>4</b>
1.1 Загальні вимоги до проведення вимірювання вологості . . . . .	4
1.2 Методи вимірювання вологості повітря . . . . .	4
1.2.1 Прямі методи вимірювання . . . . .	4
1.2.2 Непрямі методи вимірювання . . . . .	4
1.2.2.1 Вимірювання ємності при вимірюванні вологості повітря . . . . .	4
1.2.2.2 Вимірювання опору при вимірюванні вологості повітря . . . . .	5
1.2.2.3 Вимірювання сили натягу при вимірюванні вологості повітря . . . . .	5
1.3 Прилади для вимірювання вологості повітря . . . . .	5
1.3.1 Гігрометричний психрометр “ВИТ-1” . . . . .	5
1.3.2 Ємнісний електронний гігрометр “Testo 605 H1” . . . . .	6
Висновки до розділу 1 . . . . .	7
<b>2 Вимірювання вологості у виробничому приміщенні</b>	<b>8</b>
2.1 Вимірювання вологості прямим методом . . . . .	8
2.1.1 Методика вимірювання . . . . .	8
2.1.2 Результати спостереження . . . . .	8
2.1.3 Обробка результатів спостереження . . . . .	8
2.2 Вимірювання вологості непрямим методом . . . . .	9
2.2.1 Методика вимірювання . . . . .	9
2.2.2 Результати спостереження . . . . .	9
2.2.3 Обробка результатів спостереження . . . . .	10
Висновки до розділу 2 . . . . .	11

<b>3</b>	<b>Визначення метрологічних характеристик використаних приладів</b>	<b>14</b>
3.1	Визначення метрологічних характеристик електронного ємнісного гігрометра . . . . .	14
3.1.1	Визначення чутливості кожного з результатів . . . . .	14
3.1.2	Визначення середньої чутливості . . . . .	15
3.1.3	Визначення сумарної середньої квадратичної похибки вимірювання . . . . .	15
3.1.4	Визначення приведеної похибки вимірювання . . . . .	16
3.1.5	Визначення відносної похибки вимірювання . . . . .	17
3.1.6	Визначення варіації . . . . .	17
3.1.7	Статична характеристика . . . . .	17
	Висновки до розділу 3 . . . . .	18
	<b>Висновки</b>	<b>19</b>
	<b>Список використаних інформаційних джерел</b>	<b>20</b>

## ВСТУП

Проведення оцінки мікроклімату та зокрема вимірювання вологсоті виробничого приміщення відбувається згідно встановлених стандартів.

					3	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

# МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

### 1.1 Загальні вимоги до проведення вимірювання вологості

Для отримання комплексних результатів Вимірювання проводяться тричі під час однієї робочої зміни (на початку зміни, в середині, та в кінці) При вимірювання вологості варто враховувати температуру в приміщенні.

### 1.2 Методи вимірювання вологості повітря

#### 1.2.1 Прямі методи вимірювання

##### 1.2.1.1 Вимірювання швидкості випаровування при вимірюванні вологості повітря

Швидкість випаровування вологи збільшується в міру зменшення відносної вологості повітря. Випаровування вологи, в свою чергу, викликає охолодження конденсованої. Таким чином, температура вологого об'єкта зменшується.

За різницею температур повітря і вологого об'єкта можна визначити швидкість випаровування, а значить, і вологість повітря. При цьому треба враховувати той факт, волога, яка випаровується залишається навколо вологого предмета, і, таким чином, локально збільшується вологість повітря. Для усунення цього ефекту при вимірюванні вологості застосовують аспірацію (створюється потік повітря над вологим об'єктом).

На цьому принципі ґрунтуються *психрометри*.

#### 1.2.2 Непрямі методи вимірювання

##### 1.2.2.1 Вимірювання ємності при вимірюванні вологості повітря

На дві пластини подається змінна напруга, в залежності від кількості водяної пари між пластинами, змінюється діелектрична проникність та ємність, яка впливає

					4	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

на реактивний опір конденсатора.

На цьому принципі побудовані *ємнісні електронні гігрометри*.

### 1.2.2.2 Вимірювання опору при вимірюванні вологості повітря

В датчику встановлюється полімерна мембрана яка змінює свій опір в залежності від кількості поглинутої води.

На цьому принципі побудовані *опірні електронні гігрометри*. Варто зауважити, що при вимірюванні вологості електронними датчиками потрібно враховувати температуру, оскільки вона впливає на калібрування приладів.

### 1.2.2.3 Вимірювання сили натягу при вимірюванні вологості повітря

Принцип ґрунтується на здатності знежиреної люської волосини змінювати свою довжину при зміні вологості, цей принцип взятий за основу у класичних *гігрометрах*.

## 1.3 Прилади для вимірювання вологості повітря

В даному розділі наведено прилади, що використовувались в межах даної курсової роботи.

### 1.3.1 Гігрометричний психрометр “ВІТ-1”

Прилад зображено на рис. 1.1.

Метрологічні характеристики:

- Діапазон вимірювання відносної вологості — 20 . . . 90 %.
- Температурний діапазон вимірювання вологості, 5 . . . 25 °С.
- Діапазон вимірювання температури 0 . . . 25°С.
- Ціна поділки шкали термометрів: 0.2°С.

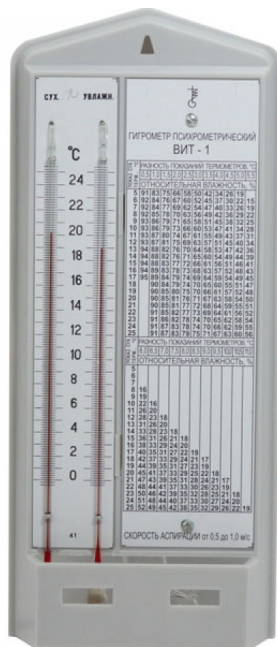


Рис. 1.1: Гігрометричний психрометр “ВИТ-1”



Рис. 1.2: Ємнісний електронний гігрометр “Testo 605 H1”

### 1.3.2 Ємнісний електронний гігрометр “Testo 605 H1”

Прилад зображено на рис. 1.2.

Метрологічні характеристики:

- Діапазон вимірювань — 5 ... 95% ВВ;  $-10 \dots + 50^{\circ}\text{C}$
- Похибка —  $\pm 1\%$  ВВ
- Робоча температура —  $0 \dots + 50^{\circ}\text{C}$

## Висновки до розділу 1

В цьому розділі було розглянуто методи та засоби для вимірювання відносної вологості повітря. На практиці застосовуються як прямі так і не прямі методи вимірювання.

Прямий метод: вимірювання вологості.

Непрямі методи: вимірювання ємності, опору та сили натягу.

					7	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 2

# ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ

## 2.1 Вимірювання вологості прямим методом

### 2.1.1 Методика вимірювання

Для проведення дослідження було обрано гігрометричний психрометр “ВИТ-1”. Прилад було встановлено на висоті 0.5м, що відповідає вимогам до вимірювання показників мікроклімату для сидячих робочих місць.

### 2.1.2 Результати спостереження

Таблиця 2.1

Результати спостереження при вимірюванні психрометром

Термометри	Вимірювані температури, °C	Поправки до температур за паспортом, °C	Температура після введення поправок, °C
Сухий	22.5	−0.15	22.35
Зволожений	16.1	+0.20	16.3

### 2.1.3 Обробка результатів спостереження

Округлимо покази сухого термометра до цілих:

$$t_c = 22.35 \approx 22.4^{\circ}C. \quad (2.1)$$

Знайдемо різницю температур сухого та зволоженого термометра:

$$\Delta t = t_c - t_{зв} = 6.1^{\circ}. \quad (2.2)$$

Де:  $\Delta t$  — різниця температур, °C;

$t_c$  — температура сухого термометра, °C;

$t_{зв}$  — температура зволоженого термометра,  $^{\circ}C$ .

Визначаємо відносну вологість для  $t_c$ , для чого інтерполюємо значення відносної вологості за таблицею для  $t_c$  від 22 до 23 $^{\circ}C$  — отримуємо вологість 48%. При збільшенні температури на 1 $^{\circ}C$  вологість збільшується на 2%, а при збільшенні температури на 0.4 $^{\circ}C$  вологість збільшується відповідно:

$$t_c + \Delta t = 48 + 0.4 \cdot 2 = 48.8\% \quad (2.3)$$

Визначаємо відносну вологість для  $t_c$  і  $\Delta t$ , для чого інтерполюємо значення відносної вологості при різниці показів від 6.0 до 6.5 $^{\circ}C$ . При збільшенні  $\Delta t$  на 0.5 $^{\circ}C$  відносна вологість зменшується на 4%, а при збільшенні різниці температур на 0.1 $^{\circ}C$  відносна вологість зменшується на:

$$\frac{0.14}{0.5} = 0.8\% \quad (2.4)$$

Отже, вологість  $\varphi$  при температурі  $t_c$  і різниці температур  $\Delta t$ , враховуючи абсолютну похибку психрометра, що складає  $\pm 0.2\%$ , буде дорівнювати:

$$48.8 - 0.8 = 48 \pm 0.2\%. \quad (2.5)$$

## 2.2 Вимірювання вологості непрямим методом

### 2.2.1 Методика вимірювання

Для вимірювання вологості непрямим методом було обрано електронний ємнісний гірометр “Testo 605 H1”. Прилад було встановлено на висоті 0.5м, що відповідає вимогам до вимірювання показників мікроклімату для сидячих робочих місць.

### 2.2.2 Результати спостереження

Результати отримані під час виконання замірів наведено в табл. 2.2.

					9	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

### 2.2.3 Обробка результатів спостереження

#### 1. Обраховуємо середнє квадратичне відхилення

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \quad (2.6)$$

Де:  $N$  — кількість проведених дослідів;

$\varphi_i$  —  $i$ -тий елемент результатів спостереження;

$\bar{\varphi}$  — середнє арифметичне результатів спостереження;

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot \sum_{i=1}^{30} (\varphi_i - 48.00)^2} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{30} (\varphi_i - 48.00)^2 &= \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (47.9 - 48.0)^2 + \\ &+ (47.9 - 48.0)^2 + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (48.1 - 48.0)^2 + (48.1 - 48.0)^2 + \\ &+ \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (47.9 - 48.0)^2 + \\ &+ (47.9 - 48.0)^2 + (47.9 - 48.0)^2 + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \\ &+ \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (48.1 - 48.0)^2 + (48.1 - 48.0)^2 + \\ &+ (48.1 - 48.0)^2 + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (47.9 - 48.0)^2 + \\ &+ (47.9 - 48.0)^2 + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + (48.1 - 48.0)^2 + \\ &+ (48.1 - 48.0)^2 + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} + \cancel{(48.0 - 48.0)^2} = \\ &= (-0.10^2) + (-0.10^2) + 0.10^2 + 0.10^2 + (-0.10^2) + (-0.10^2) + \\ &+ (-0.10^2) + 0.10^2 + 0.10^2 + 0.10^2 + (-0.10^2) + (-0.10^2) + 0.10^2 + \\ &+ 0.10^2 = 0.14\% \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot 0.14} = \sqrt{0.005} \approx 0.069\% \quad (2.9)$$

2. Обрахуємо середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного:

$$\delta_{\text{ca}} = \frac{\delta}{\sqrt{N}} = \frac{0.069}{\sqrt{30}} = 0.013\% \quad (2.10)$$

3. Обрахуємо довірчий інтервал результату спостереження:

$$\Delta_i = \bar{\varphi} \pm K \cdot \delta \quad (2.11)$$

Де:  $K$  — коефіцієнт Лапласа;

$\delta$  — середнє квадратичне відхилення, %;

$\bar{\varphi}$  — середнє арифметичне результатів спостереження, %;

$$\Delta_i = 48.00 \pm 2.0 \cdot 0.069 = (48.00 \pm 0.139)\% \quad (2.12)$$

4. Обрахуємо довірчий інтервал результату вимірювання

$$\Delta_i = \bar{\varphi} \pm K_{\text{ca}} \cdot \delta_{\text{ca}} \quad (2.13)$$

Де:  $K_{\text{ca}}$  — коефіцієнт Стюдента;

$\delta_{\text{ca}}$  — середнє арифметичне середнього квадратичного відхилення, %;

$\bar{\varphi}_{\text{ca}}$  — середнє арифметичне результатів спостереження, %;

$$\Delta_{\text{ca}} = 48.00 \pm 2.04 \cdot 0.013 = (48.00 \pm 0.026)\% \quad (2.14)$$

Жоден із результатів спостереження не виходить за границі довірчого інтервалу, отже грубі похибки відсутні.

Відповідь:  $\varphi = (48.0 \pm 0.026)\%$ , ( $P = 0.95$ )

## Висновки до розділу 2

За допомогою електронного гігрометра “Testo 605 H1” було проведено вимірювання вологості у виробничому приміщенні. Отриманні результати свідчать про те, що значення вологості лежить в діапазоні ДІАПАЗОН — ДІАПАЗОН. Таким

					11	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

чином, згідно стандарту СТАНДАРТ, значення вологості для даного виробничого приміщення є оптимальними та відповідають нормі. Вплив мікроклімату на фізичний стан персоналу мінімальний.

## Результати спостереження

№	$\varphi_i, \%$	$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \bar{\varphi}$	$\Delta\varphi_i^2$	Примітка
1	48.0	0.00	0.00	
2	48.0	0.00	0.00	
3	47.9	-0.10	0.01	
4	47.9	-0.10	0.01	
5	48.0	0.00	0.00	
6	48.1	0.10	0.01	
7	48.1	0.10	0.01	
8	48.0	0.00	0.00	
9	48.0	0.00	0.00	
10	48.0	0.00	0.00	
11	47.9	-0.10	0.01	
12	47.9	-0.10	0.01	
13	47.9	-0.10	0.01	
14	48.0	0.00	0.00	
15	48.0	0.00	0.00	
16	48.0	0.00	0.00	
17	48.0	0.00	0.00	
18	48.1	0.10	0.01	
19	48.1	0.10	0.01	
20	48.1	0.10	0.01	
21	48.0	0.00	0.00	
22	48.0	0.00	0.00	
23	47.9	-0.10	0.01	
24	47.9	-0.10	0.01	
25	48.0	0.00	0.00	
26	48.0	0.00	0.00	
27	48.1	0.10	0.01	
28	48.1	0.10	0.01	
29	48.0	0.00	0.00	
30	48.0	0.00	0.00	
	$\bar{\varphi} = \frac{1}{30} \cdot \sum_{i=1}^{30} \Delta\varphi_i = 48.0$	0.00	$\delta = 0.07\%$	

## РОЗДІЛ 3

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИКОРИСТАНИХ ПРИЛАДІВ

#### 3.1 Визначення метрологічних характеристик електронного ємнісного гігрометра

Для визначення метрологічних характеристик ємнісного гігрометра було використано зразковий (еталонний) гігрометр “Testo 605 H1” і мультиметр налаштований на вимірювання ємності який було під’єднано до досліджуваного гігрометра.

Отримано 11 значень вологості і напруги. Результати обрахунків та вимірювань наведені в таблиці табл. 3.1

Таблиця 3.1

Результати обрахунків та вимірювань

$\varphi, \%$	24.1	32.3	42.0	53.1	67.0	82.3	65.9	51.6	42.4	33.2	24.0
$C, \text{ пФ}$	160	256	343	452	600	722	594	450	347	255	166
$\Delta C_1, \text{ пФ}$	7.73										
$\Delta C_2, \text{ пФ}$	20										
$\Delta C_{\Sigma}, \text{ пФ}$	83.29										
$\gamma_{\Sigma}, \%$	1.07										
$\delta_n, \%$	13.4	8.4	6.2	4.7	3.6	3.0	3.6	4.8	6.2	8.4	12.9

##### 3.1.1 Визначення чутливості кожного з результатів

Знайдемо чутливість для кожного з результатів:

$$S = \frac{C}{\varphi} \quad (3.1)$$

Де:  $C$  — ємність мембрани, пФ;

$\varphi$  — значення вологості, %.

$$\begin{aligned}
S_1 &= \frac{160}{24.1} = 6.64 \text{ пФ/\%}; & S_7 &= \frac{594}{65.9} = 9.01 \text{ пФ/\%}; \\
S_2 &= \frac{256}{32.3} = 7.93 \text{ пФ/\%}; & S_8 &= \frac{450}{51.6} = 8.72 \text{ пФ/\%}; \\
S_3 &= \frac{343}{42.0} = 8.17 \text{ пФ/\%}; & S_9 &= \frac{347}{42.4} = 8.18 \text{ пФ/\%}; \\
S_4 &= \frac{452}{53.1} = 8.51 \text{ пФ/\%}; & S_{10} &= \frac{255}{33.2} = 7.68 \text{ пФ/\%}; \\
S_5 &= \frac{600}{67.0} = 8.96 \text{ пФ/\%}; & S_{11} &= \frac{166}{24.0} = 6.92 \text{ пФ/\%}; \\
S_6 &= \frac{722}{82.3} = 8.77 \text{ пФ/\%};
\end{aligned} \tag{3.2}$$

### 3.1.2 Визначення середньої чутливості

Розрахуємо середню чутливість:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum S_n}{n} \tag{3.3}$$

Де:  $S_n$  — чутливість n-го результату спостереження, пФ/%;

$n$  — кількість результатів спостереження.

$$\begin{aligned}
\sum S_{\text{ср}} &= 6.64 + 7.93 + 8.17 + 8.51 + 8.96 + 8.77 + 9.01 + 8.72 + \\
&+ 8.18 + 7.68 + 6.92 = 89.49 \text{ пФ/\%}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{89.49}{11} = 8.14 \text{ пФ/\%} \tag{3.5}$$

### 3.1.3 Визначення сумарної середньої квадратичної похибки вимірювання

$$\Delta C_{\Sigma} = \sqrt{\Delta C_1^2 + \Delta C_2^2} \tag{3.6}$$



$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_{max} \cdot \gamma_{гггг.}}{100} \quad (3.7)$$

Де:  $\varphi_{max}$  — максимальне значення вологості, %;

$\gamma_{гггг.}$  — приведена похибка гігрометра.

$$\begin{aligned} \varphi_{max} &= 95 \% ; \\ \Delta\gamma_{гггг.} &= 1 \% ; \\ \Delta\varphi &= \frac{95 \cdot 1}{100} = 0.95\% . \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\Delta C_1 = \Delta\varphi \cdot S_{сггг} = 0.95 \cdot 8.14 = 7.73 \text{ пФ} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} C_{max} &= 2000 \text{ пФ} ; \\ \Delta\gamma_{мггггг.} &= 1 \% ; \\ \Delta C_2 &= \frac{C_{max} \cdot \gamma_{мггггг.}}{100} = \frac{2000 \cdot 1}{100} = 20 \text{ пФ} . \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\Delta C_{\Sigma} = \sqrt{23.16^2 + 20^2} = 83.285 \text{ пФ} \quad (3.11)$$

### 3.1.4 Визначення приведеної похибки вимірювання

Визначимо приведену похибку:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta C_{\Sigma}}{C_i} \quad (3.12)$$

Де:  $\Delta C_{\Sigma}$  — сумарна середня квадратична похибка вимірювання, пФ;

$C_i$  — і-й результат спостереження.

$$\delta_{\Sigma 1} = \frac{21.443}{24.1} \cdot 100\% = 13.40\%; \quad \delta_{\Sigma 7} = \frac{21.443}{65.9} \cdot 100\% = 3.61\%; \quad (3.13)$$

$$\delta_{\Sigma 2} = \frac{21.443}{32.3} \cdot 100\% = 8.38\%; \quad \delta_{\Sigma 8} = \frac{21.443}{51.6} \cdot 100\% = 4.77\%;$$

$$\delta_{\Sigma 3} = \frac{21.443}{42.0} \cdot 100\% = 6.25\%; \quad \delta_{\Sigma 9} = \frac{21.443}{42.4} \cdot 100\% = 6.18\%;$$

$$\delta_{\Sigma 4} = \frac{21.443}{53.1} \cdot 100\% = 4.74\%; \quad \delta_{\Sigma 10} = \frac{21.443}{33.2} \cdot 100\% = 8.41\%;$$

$$\delta_{\Sigma 5} = \frac{21.443}{67.0} \cdot 100\% = 3.57\%; \quad \delta_{\Sigma 11} = \frac{21.443}{24.0} \cdot 100\% = 12.92\%;$$

$$\delta_{\Sigma 6} = \frac{21.443}{82.3} \cdot 100\% = 2.97\%;$$

### 3.1.5 Визначення відносної похибки вимірювання

Визначимо відносну похибку вимірювання за наступною формулою:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{\Delta C_{\Sigma}}{C_{\text{макс}}} \cdot 100\% \quad (3.14)$$

Де:  $\Delta C_{\Sigma}$  — сумарна середня квадратична похибка вимірювання, пФ;

$C_{\text{макс}}$  — максимальне значення ємності.

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{21.443}{2000} \cdot 100\% = 1.07\% \quad (3.15)$$

### 3.1.6 Визначення варіації

$$b_4 = |452 - 450| = 2 \text{ пФ} \quad (3.16)$$

### 3.1.7 Статична характеристика

Графік статичної характеристики наведено на рис. 3.1

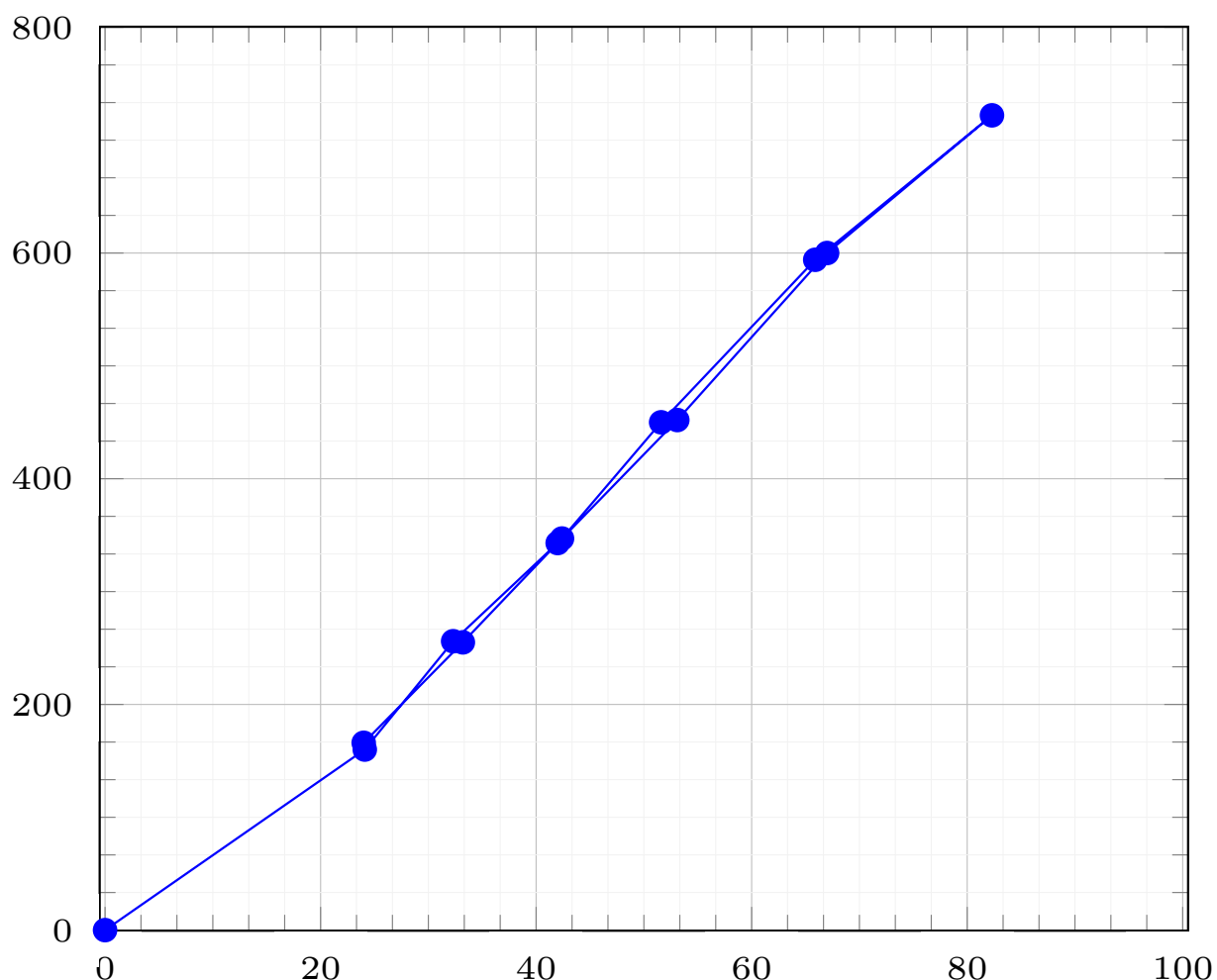


Рис. 3.1: Статична характеристика електронного ємнісного гігрометра

### Висновки до розділу 3

Визначено метрологічні характеристики електронного ємнісного гігрометра “Testo 605 H1”, проведено ознайомлення з методикою повірки метрологічних приладів.

ВИСНОВКИ

					19	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ**

					20	Арк
Змін.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		