

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА  
ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ**

**Керівник заняття:**

**завідувач кафедри кандидат технічних наук, доцент  
підполковник ГЛУХОВ Сергій Іванович**

**2016 р.**

**ПРЕДМЕТ:  
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
МЕТРОЛОГІЇ**

**Тема № 6 ПОХИБКИ ЗАСОБІВ  
ВИМІРЮВАНЬ**

**Заняття № 1 НОРМОВАНІ  
МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

## **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Вивчити основні нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань.**
- 2. Ознайомитись з поняттям клас точності ЗВ.**

## **ВИХОВНА МЕТА:**

- 1. Виховувати у студентів культуру поведінки.**
- 2. Виховувати студентів у дусі патріотизму.**

# НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ:

- 1. Метрологічні характеристики засобів вимірювань.**
- 2. Нормування основних і додаткових похибок засобів вимірювань.**
- 3. Класи точності засобів вимірювань.**

**ПИТАННЯ І**

**МЕТРОЛОГІЧНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ  
ВИМІРЮВАНЬ**

**Всі засоби вимірювань, незалежно від їх конкретного виготовлення, володіють рядом загальних властивостей, необхідних для виконання ними свого функціонального призначення.**

**Технічні характеристики, які описують ці властивості і впливають на результати і на похибки вимірювань, називаються метрологічними характеристиками /МХ/.**

**Перелік найважливіших з них регламентується ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»**

**Комплекс нормованих МХ встановлюється таким чином, щоб з їх допомогою можна було оцінити похибку вимірювань.**

Однією з основних МХ вимірювальних перетворювачів є статична характеристика перетворення (інакше називається функцією перетворення або тарувальна характеристика).

Вона встановлює залежність інформативного параметра  $Y$  вихідного сигналу вимірювального перетворювача від інформативного параметра  $X$  вхідного сигналу.

$$y=f(x)$$

Статична характеристика нормується у формі: рівняння, графіка або таблиці деякої номінальної статичної характеристики. Вона надається даному вимірювальному перетворювачу при номінальних значеннях неінформативних параметрів вхідного сигналу.

Поняття статичної характеристики можна застосовувати і до вимірювальних приладів. При цьому в якості невідомої змінної  $X$  розуміють значення вимірюваної величини або інформативного параметра вхідного сигналу, а в якості залежної величини – показ приладу.



Якщо статична характеристика перетворювання лінійна

$y=kx$ , то коефіцієнт  $k$  називається чутливістю вимірювального приладу (перетворювача).

(В протилежному випадку в ролі чутливості слід розуміти похідну від статичної характеристики).

Важливою характеристикою шкальних вимірювальних приладів є ціна поділки. Іншими словами, це та зміна вимірювальної величини, якій відповідає переміщення показника на одну поділку шкали. Якщо чутливість постійна в кожній точці діапазону вимірювання, то шкала називається рівномірною.

При нерівномірній шкалі нормується найменша ціна поділки шкали у вимірювальних приладах.

У цифрових приладах шкали в явному вигляді немає, і для них замість ціни поділки вказується ціна одиниці молодшого розряду числа в показі приладу.

**Найважливішою вимірювальною характеристикою засобів вимірювань є похибка.**

**Абсолютна похибка – це алгебраїчна різниця між її номінальним  $X_H$  та дійсним  $X_D$  значеннями:**

$$\Delta = X_H - X_D \quad (1)$$

$$\Delta = X_{\text{НОМ}} - X \text{ (ГОСТ 16263-70) р.9.1.)}$$

**Однак, в більшій  $\Delta$  мірі, точність засобу вимірювання характеризує відносна похибка. Або, іншими словами, виражене в відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної або відтворюваної даним засобом вимірювання величини:**

$$\delta = \frac{100\Delta}{X_D} (\%) \quad \left( \delta = \frac{\Delta}{X_D} \right) \quad (2)$$

**Звичайно  $\delta \ll 1$ , тому в формулу (2) замість дійсного значення часто може бути підставлене номінальне значення міри або показ вимірювального приладу.**

**Якщо діапазон вимірювання приладу охоплює і нульове значення вимірюваної величини, то відносна похибка перетворюється в нескінченність у відповідній йому точці шкали (в точці “0”).**

**В цьому випадку користуються поняттям зведеної похибки, яка чисельно дорівнює відношенню абсолютної похибки вимірювального приладу до деякого нормуючого значення  $X_N$ :**

$$\gamma = \frac{100\Delta}{X_N} \text{ (\%)} \quad \left( \gamma = \frac{\Delta}{X_N} \begin{array}{l} \text{У відносних} \\ \text{одиницях} \end{array} \right) \quad (3)$$

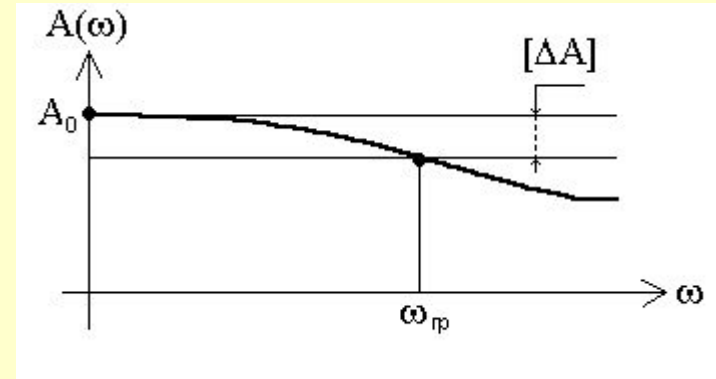
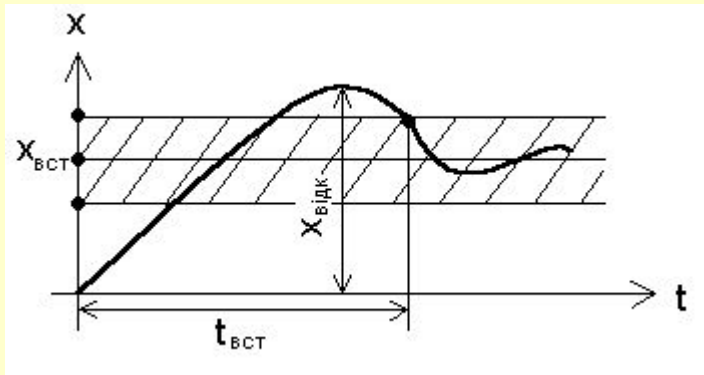
**В якості нормуючого значення приймається значення, характерне для даного виду вимірювального приладу. Це може бути, наприклад, діапазон вимірювань, довжина шкали і т.д. Правила вибору нормуючого значення наводяться в ГОСТ 8.009-84.**

До числа характеристик похибки відносяться також варіація вихідного сигналу вимірювального перетворювача, або варіація показів вимірювального приладу.

Варіація показів – найбільша можлива різниця між окремими показами ВП відповідними одному і тому ж відліку при незмінних зовнішніх умовах. Варіація характеризує стійкість показів приладу.

До МХ також відносяться і динамічні характеристики засобів вимірювань: час встановлення показів або швидкодійність, АЧХ і ФЧХ, а також діапазон вимірювань.

**Час встановлення показів** – це проміжок часу з моменту стрибкоподібної зміни вимірюваної величини до моменту, коли рухома частина відлікового пристрою ввійде в зону сталого стану (заштрихована зона на рис.1).



$X_{\text{відк}}$  – значення першого відкиду показника

При використанні цих двох характеристик, нормування здійснюється шляхом обмеження діапазону частот, в якому відхилення модуля амплітудно-частотної характеристики від деякого номінального значення, а також фазові зсуви, не перевищують деяких заданих величин:  $[DA]$  і  $[DQ]$ . При цьому вказується амплітуда синусоїдальних коливань вхідного сигналу, для якої нормуються величини  $DA$  і  $DQ$  (рис.2).

$\omega_{\text{гр}}$  – гранична частота, при досягненні якої, значення АЧХ  $A(\omega)_{\text{гр}}$  відрізняється від значення  $A(\omega)_0$  (при  $\omega=0$ ) не більше ніж на  $[DA]$ , а зсув фази не перевищує  $DQ$ .

## **ПИТАННЯ II**

**НОРМУВАННЯ ОСНОВНИХ І  
ДОДАТКОВИХ ПОХИБОК  
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

**Під нормуванням розуміють встановлення границь на допустимі відхилення реальних метрологічних характеристик засобів вимірювань від їх номінальних значень. Тільки шляхом метрологічних характеристик можна домогтись взаємної заміни засобів вимірювань і забезпечити єдність вимірювань в державі. Реальні значення метрологічних характеристик визначають при виготовленні засобів вимірювань і потім перевіряють періодично під час експлуатації. Якщо при цьому хоча б одна з метрологічних характеристик виходить за встановлені границі, то такий засіб вимірювань піддають або регулюванню, або вилучають з експлуатації.**



**Норми на значення метрологічних характеристик встановлюються стандартами на окремі види засобів вимірювань. При цьому робиться відмінність між нормальними і робочими умовами застосування засобів вимірювань.**

**Нормальними вважаються такі умови застосування засобів вимірювань, при яких величинами, які впливають на процес вимірювання, є:**

**температура;**

**вологість;**

**частота;**

**напруга живлення;**

**зовнішні магнітні поля і т. д., а також неінформативні параметри вхідних і вихідних сигналів (можна нехтувати).**

**Для нормальних умов експлуатації засобів вимірювань повинні нормуватись:**

- а) характеристики підсумкової похибки (систематичної і випадкової складових);**
- б) вхідний імпеданс вимірювальних приладів і перетворювачів;**
- в) вихідний імпеданс перетворювачів;**
- г) динамічні характеристики;**
- д) неінформативні параметри вихідного сигналу.**

**Підсумкова похибка  $D$  засобів вимірювань в нормальних умовах експлуатації називається основною похибкою і нормується заданням границь допустимого значення  $D_D$ , або того найбільшого значення, при якому засіб вимірювань не може бути визнано придатним до застосування.**

**Всі характеристики похибки можуть виражатись в формі абсолютних, відносних або зведених похибок, як функції вимірюваної величини у вигляді формул, графіків або таблиць.**

**Наведені вище метрологічні характеристики слід нормувати не тільки для нормальної, а і для всієї робочої області експлуатації засобів вимірювань.**

**Найбільші допустимі зміни зазначаються у вигляді зони в одиницях даної метрологічної характеристики або у відсотках від її значення, нормованого для нормальних умов.**

**Для різних за призначенням і властивостями засобів вимірювань можуть нормуватись не всі вищеперераховані метрологічні характеристики, а тільки деякі з них.**

Для засобів вимірювань, які використовуються тільки окремо, не підлягають нормуванню статична функція перетворення, вихідний імпеданс і неінформативні параметри вихідного сигналу, оскільки ці характеристики не суттєві для засобів вимірювань даної групи.

Для засобів вимірювань, які використовуються окремо, точність яких завідомо перевищує потрібну точність вимірювань, нормуються тільки границі  $D_D$  допустимого значення підсумкової похибки та найбільші допустимі зміни метрологічних характеристик.

Якщо точність засобів вимірювань сумісна з потрібною точністю вимірювань, то необхідно нормувати роздільно характеристики систематичної і випадкової похибки і функції впливу. Тільки за їх допомогою можна знайти підсумкову похибку в робочих умовах застосування засобів вимірювань.

# **ПИТАННЯ ІІІ**

## **КЛАСИ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

Для порівняння між собою ЗВ, призначених для вимірювання однієї і тієї ж фізичної величини застосовується умовна характеристика – клас точності – узагальнена характеристика засобів вимірювань, яка визначається границями допустимих основних і додаткових похибок, а також рядом інших властивостей, які впливають на точність вимірювань, які здійснюються за їх допомогою.

Класи точності регламентуються стандартами на окремі види засобів ЗВ з використанням МХ і способів їх нормування.

Способи встановлення класів точності викладені в ГОСТ 8.401-80 “ГСИ. Классы точности средств измерения. Общие требования.”

Для більшості засобів вимірювань позначення класів точності вводиться в залежності від способів задання границь допустимої основної похибки.

Границею допустимої похибки засобу вимірювань називається найбільша (без врахування знака) його похибка, при якій цей засіб вимірювань може бути визначений придатним і допущений до застосування.

Наприклад, границі допустимої зведеної похибки вольтметра класу точності 1 дорівнюють  $\pm 1\%$  від верхньої границі вимірювань.

У відповідності з ГОСТ 8.401- 80 границі допустимої абсолютної основної похибки (в одиницях вимірювальної величини) позначаються наступним чином:

$D = \pm a$  (6) або  $D = \pm (a+bx)$ , (7) де  $x$  – значення вимірюваної величини;

**Границі допустимої відносної основної похибки (у відсотках):**

$$d = \pm c \quad (8)$$

**або**

$$d = \pm [c + d(x_K/x - 1)] \quad (9)$$

**де  $c, d$  – позитивні числа;**

**$x_K$  – кінцева (більша) позначка (показ) границі вимірювань.**

**Границі допустимої зведеної (приведенной – рос.) похибки встановлюють за допомогою формули:**

**Допускається границі допустимої відносної основної похибки виражати в децибелах:**

$$d = A \lg(1 + D/x) \quad (11)$$



**A – коефіцієнт, рівний 10 при вимірюванні потужності і 20 – при вимірюванні напруги, сили струму, напруженості електричного поля.**

**(де число p вибирається із ряду  $p=1 \cdot 10^n$ ;  $1.5 \cdot 10^n$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2.5 \cdot 10^n$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$  ( $n=1; 0; -1; -2$ ; і т.д.))**

**Клас точності хоча і характеризує сукупність метрологічних властивостей даного засобу вимірювань, однак не визначає однозначно точність вимірювань, так як остання залежить також від методу вимірювань і умов їх виконання.**

*Наприклад клас точності характеризує:*

для вольтметра змінного струму – його найбільшу допустиму основну похибку;

допустимі зміни показів, які виникають внаслідок відхилення від нормальних значень температури, частоти змінного струму, зовнішніх магнітних полів та інших величин, які впливають на вимірювання;

для нормальних елементів – границі, в яких повинно знаходитись дійсне значення їх ЕРС (електрорушійна сила); стабільність протягом часу;

для електро-і радіовимірювальних приладів – границі допустимих основної і додаткової похибок, які встановлюються у вигляді абсолютних,

**Більш характерним для радіовимірювальних приладів є вираз точності вимірювання через абсолютну і відносну похибки та, в меншій мірі через зведену похибку, для електровимірювальних приладів – через зведену похибку.**

**Таким чином, можна відмітити три способи нормування основної похибки вимірювальних приладів і перетворювачів:**

**нормування заданням границь допустимої основної абсолютної або зведеної похибки  $\pm D$  або  $\pm g$ , постійних у всьому діапазоні вимірювання або перетворення;**

**нормування заданням границь допустимої основної абсолютної або відносної похибки  $\pm D$  або  $\pm d$  в функції вимірюваної величини згідно формул (7) і (9);**

**нормування заданням постійних границь допустимої основної похибки, різних для всього діапазону вимірювання та одного або декількох нормованих ділянок, або різноманітних для різних діапазонів вимірювання (для багатомірних приладів).**

**Перший спосіб широко застосовується для нормування основної похибки більшості порівняно вузькограничних стрілочних вимірювальних приладів, а також для вимірювальних перетворювачів. Останні два способи відповідають в більшій мірі умовам вимірювання при використанні широкограничних приладів.**

Для різних умов експлуатації засобів вимірювань в рамках одного і того ж класу точності допускається встановлювати різні робочі області впливаючих величин. Наприклад, для засобів вимірювань електричних і магнітних величин ГОСТ 22261-82 встановив значення (області значень) впливаючих величин. Вони характеризують кліматичні дії і електроживлення засобів вимірювань в нормальних умовах застосування і допустимі відхилення від них.

<b>Величина, що впливає на вимірювання</b>	<b>Нормальне значення (нормальна область значень)</b>	<b>Допустиме відхилення від нормального значення при випробуваннях</b>
<b>Температура навколишнього повітря, °С</b>	<b>20</b>	<b>±0.1*; ±0.2*; ±0.5; ±1; ±2; ±5; ±10.</b>
<b>Відносна вологість навколишнього повітря, %</b>	<b>30-80</b>	<b>-</b>
<b>Атмосферний тиск кПа (мм. рт. ст.)</b>	<b>84-106 (630-795)</b>	<b>-</b>
<b>Частота живлення мережі, Гц</b>	<b>50 або 400</b>	<b>±0.5</b>
<b>Напруга мережі живлення змінного струму, В при частоті:</b>		
<b>50 Гц</b>	<b>220</b>	<b>±4.4</b>
<b>400 Гц</b>	<b>220 або 115</b>	<b>±4.4</b>
<b>Форма кривої змінної напруги мережі живлення</b>	<b>Синусоїдальна</b>	<b>Коефіцієнт гармонік не перевищує 5%.</b>

## ПОЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ ТОЧНОСТІ

**В зв'язку з великим різноманіттям засобів вимірювань та їх метрологічних характеристик ГОСТ 8.401-80 визначені способи позначення класів точності. Причому вибір того, або іншого способу залежить від того, в якому виді нормована похибка засобу вимірювань.**

**Приклади позначення класів точності наведені в таблиці 2.**

Формула для визначення границь допустимих похибок	Приклади границь допустимої основної похибки	Позначення класу точності		Примітка
		В документації	На засобах вимірювань	
$\Delta = \pm a$	-	Клас точності М	М	-
$\Delta = \pm (a + bx_n)$	-	Клас точності С	С	-
$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \pm p$	$\Delta = \pm 1.5$	Клас точності 1.5	1.5	Якщо $X_N$ виражене в одиницях величини
	$\Delta = \pm 0.5$	Клас точності 0.5	0.5	Якщо $X_N$ визначається довжиною шкали (її частиною)
$\delta = \frac{\Delta}{X_{\delta}} = \pm q$	$\delta = \pm 0.5$ $\delta = \pm [0.02 +$	Клас точності 0.5	0.5	-
$\pm \left[ c + d \left( \left  \frac{X_k}{X} \right  - 1 \right) \right]$	$+ 0.01 \left( \left  \frac{X_k}{X} \right  - 1 \right) \right]$	Клас точності 0.02 / 0.01	0.02 / 0.01	-

При виборі приладу для вимірювань слід враховувати, що клас точності приладу визначається основною граничною абсолютною похибкою, якій на різних позначках шкали будуть відповідати різні значення відносної похибки. Наприклад, для вольтметра з шкалою 0-150 В класу точності 1.5 основна гранична абсолютна похибка становить 2.25 В, а відносна похибка, %, на позначках шкали 25 і 100 В буде відповідно

$$\delta_{25} = \pm \frac{\Delta_X}{X_N} \cdot 100 = \pm \frac{2.25}{25} \cdot 100 = \pm 9; \quad \delta_{100} = \frac{2.25}{100} \cdot 100 = \pm 2.25$$

З метою зменшення відносної похибки треба вибирати верхню границю шкали вимірювального приладу такою, щоб очікуване значення вимірюваної величини (показ) знаходилось в останній третині (або половині) її.



В залежності від точності всі засоби вимірювань розподіляють на еталони, зразкові і робочі засоби вимірювань. По еталонам та вихідним зразковим засобам вимірювань здійснюють повірку МХ ЗВ більш нижчих класів точності – підлеглих зразкових і робочих засобів вимірювань.

**Висновок:** Таким чином, в даному питанні розглянуті поняття класу точності, границі основної допустимої похибки, розглянуті приклади позначення класу точності.

Слід відмітити, що нормування похибок засобів вимірювань само по собі не може забезпечити єдності вимірювань. Для досягнення цієї мети (єдності вимірювань) необхідна регламентація самих методик проведення вимірювань, чому присвячений ГОСТ 8.010-72 “ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик проведения измерений”.