



Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки  
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

## **ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ОБ'ЄКТІВ**

### **СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ**

Лекції - 16.

Лабораторні роботи – 8.

Підсумковий звіт – екзамен.

### **ОЦІНЮВАННЯ**

Лекції – конспект 20 балів.

Лабораторні роботи – 40 бали (1 лр – 5 балів).

Змістовні модулі – 40 балів.

# Основна література за дисципліною:

1. Шарапов В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования / В.М. Шарапов, Ж. В. Сотула // Электроника НТБ. – 2012. – № 5. – С. 96–102.
2. Датчики : справочное пособие/ [Шарапов В. М., Полищук Е. С., Кошевой Н. Д. и др.] ; под ред. В.М. Шарапова, Е. С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с
3. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, Є.Т. Володарський, В. Ю. Кучерук, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с
4. Ципоренко В.В., Подчашинський Ю.О., Ципоренко В.Г., Лугових О.О. Алгоритмічно-програмні методи обробки сигналів та відеозображень для мобільного комплексу радіомоніторингу: монографія. Житомир: Вид. О.О. Євенок, 2020. 300 с.
5. Рудик А.В., Квасніков В.П. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія / А.В. Рудик, В.П. Квасніков. - Харків: Мачулін, 2018. – 272 с.: 59 іл., 14 табл.
6. Безвесільна О. М. Дослідження нової прецизійної інерціальної навігаційної системи при авіаційних гравіметричних вимірюваннях / О. М. Безвесільна. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 476 с.
7. Безвесільна О. М. Двогіроскопний гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи / О. М. Безвесільна, А. В. Коваль. – Житомир: ЖДТУ, 2013. – 252 с.
8. Безвесільна О. М. Технічні засоби автоматизації (перетворюючі пристрої приладів) / О. М. Безвесільна, І. В. Коробійчук. – Житомир: ЖДТУ, 2014. – 904 с.
9. Перетворюючі пристрої приладів. Технологічні вимірювання та прилади / [О. М. Безвесільна, В. Ю. Ларін, Н. І. Чичикало та ін.]. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 542 с.
10. Безвесільна О. М. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин / О. М. Безвесільна, Ю. О. Подчашинський, Г. С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 976 с.

# Лекція 1

## Тема: **ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА ПРИСКОРЕННЯ**

1.1. Параметри руху.

1.2. Методи та засоби вимірювання та контролю лінійних швидкостей.

# 1.1. Параметри руху

Параметрами механічного руху, що підлягають вимірюванню на практиці:

- **переміщення;**
- **швидкість;**
- **прискорення.**

Це кінематичні параметри і вони взаємопов'язані: знаючи переміщення і час переміщення, можна визначити швидкість і прискорення.

**Швидкість** - це переміщення, поділене на час (м/с).

$$v = \frac{s}{t}$$

**Прискорення** - це переміщення, поділене на квадрат часу (м/с<sup>2</sup>).

$$a = \frac{S}{t^2}$$

$$a = \frac{v}{t}$$

У свою чергу, за відомим прискоренню можна отримати швидкість і переміщення.

# Діапазони вимірюваних швидкостей і прискорень дуже великі. Умовно їх поділяють на піддіапазони.

Лінійні швидкості(до), м/с:			
Близькосвітлові	$3 \cdot 10^6$	Промислові:	
Космічні	$2 \cdot 10^4$	малі	10
Авіаціоних об'єктів	$10^3$	технічні	$10^{-1}$
Транспортні.	50	одуже малі	$10^{-5}$

<b>Кутові швидкості(до), рад/с:</b>			
Дуже великі	$2 \cdot 10^4$	Малі технічні	1
Середні	$10^2$	Дуже малі	10-5
Малі	10		

<b>Прискорення (до), м/с<sup>2</sup>:</b>			
Дуже великі	$2 \cdot 10^5$	Малі	1
Великі	$10^3$	Дуже малі	$10^{15}$
Середні	$10^2$		



Параметри руху за характером зміни в часі можна поділити на параметри:

- **поступального;**
- **обертального;**
- **коливального рухів.**

Засоби вимірювання і контролю, призначені для вимірювання лінійних швидкостей, називаються вимірювачами швидкості; засоби для вимірювання та контролю кутових швидкостей (частоти обертання) - *тахометрами*, а засоби для вимірювання прискорень - *акселерометрами*.

- Великий клас засобів вимірювань застосовується для вимірювання параметрів коливального руху (вібрацій). Якщо вимірюються параметри вібрацій машин, пристроїв, споруд, то відповідні засоби називаються **віброметри**.
- Прилади, що застосовуються для вимірювання параметрів руху земної поверхні, називаються **сейсмографами**.

## 1.2. Методи та засоби вимірювання та контролю лінійних швидкостей

Найбільш поширеними методами вимірювання лінійних швидкостей  $v$  рухомих твердих тіл є:

- Аерометричних;
- Компенсаційний;
- Термодинамічний;
- Кореляційний;
- Доплеровській;
- Електромагнітний;
- Інерційних;
- інші методи.

# Аерометричний метод

Аерометричний метод (рис. 1) заснований на вимірюванні швидкісного (динамічного) напору  $p_n$ , функціонально пов'язаного зі швидкістю тіла, що рухається в повітряному середовищі. Швидкісний напір визначається манометричною коробкою 3 шляхом порівняння статичного тиску  $p_{ст}$ , утвореного при русі повітряного середовища в приймальнику статичного тиску 1 і приймачі повного тиску (швидкісного напору) 6. Результат порівняння показується стрілкою 4 на відліковому пристрої. Засоби вимірювання, побудовані на аерометричних методі, дозволяють вимірювати швидкість з похибкою, що не перевищує 2 ... 3%.

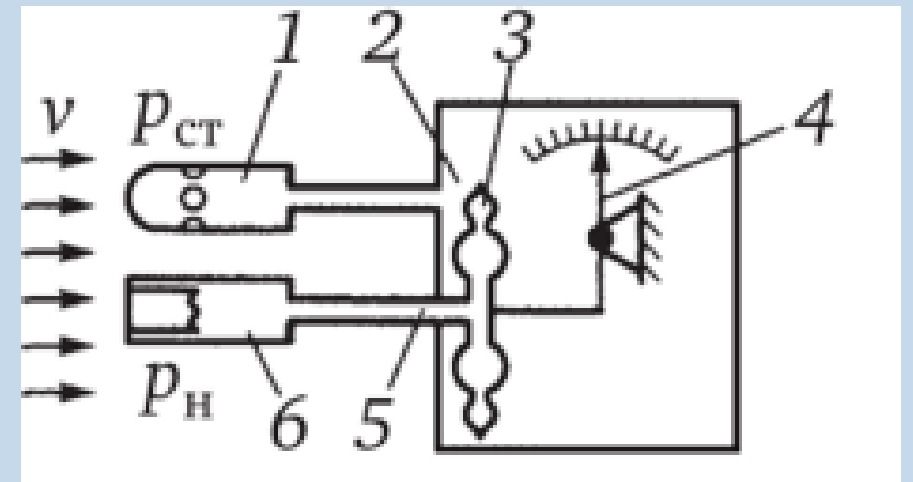


Рис. 1. Аерометричний метод: 1 - приймач статичного тиску; 2 - корпус; 3 - манометрична коробка; 4 - стрілка; 5 - трубопроводи; 6 - приймач повного тиску.

# Компенсаційний метод

Компенсаційний метод (рис. 2) заснований на автоматичному зрівноважуванні повного тиску  $p_p$  і тиску  $p_k$ , що розвивається повітряним компресором 1. У манометричному реле 2 з двома порожнинами, в одну з яких надходить повний тиск  $p_p$ , а в другу - тиск  $p_k$ , тиску  $p_p$  та  $p_k$  зрівноважуються. Замикання ланцюга двигуна 3, що приводить в обертання компресор, відбувається тоді, коли тиск  $p_p$  більше тиску  $p_k$ . При цьому мембрана манометричного реле 2 прогинається вліво. При замиканні і розмиканні контактів частота обертання електродвигуна підтримується такою, при якій забезпечується рівність  $p_p$  та  $p_k$ .

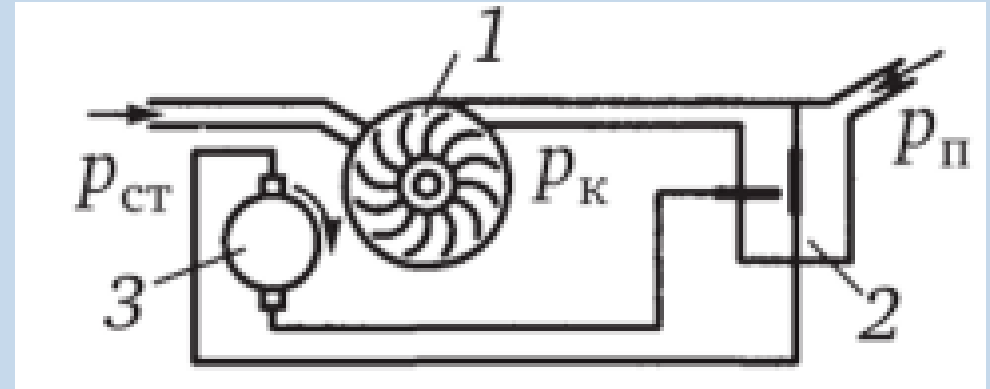


Рис. 2. Компенсаційний метод: 1 - повітряний компресор; 2 - манометричний реле; 3 - двигун;

# Термодинамічний метод

- Термодинамічний метод (рис. 3.) заснований на вимірюванні температури загальмованого потоку повітряного середовища за допомогою відкритої термопари 1 і екранованої термопари 4 (або інших перетворювачів температури). Різниця напруг  $U_1$  і  $U_2$  цих термопар вловлюється сумматором 2 і дільником 3. Для реалізації цього методу необхідні малоінерційні вимірювачі температури. Похибки засобів вимірювань швидкостей за цим методом обумовлені мінливістю параметрів перетворювачів температури (1 і 4).

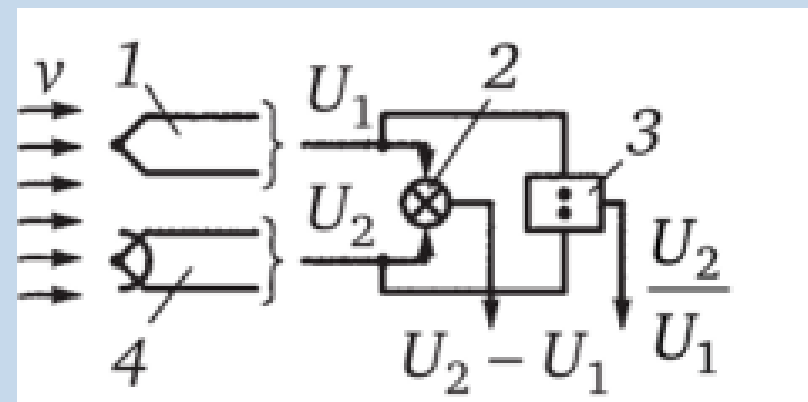


Рис. 3. Термодинамічний метод: 1 - відкрита термопара; 2 - суматор; 3 - дільник; 4 - екранована термопара.

# Турбінний метод

- В турбінному способі (рис. 4) використовується кінетична енергія повітряного або водного потоку для обертання тангенціальної 1 або аксіальної 2 турбинки. Частота обертання турбіни зі буде пропорційна швидкості руху. Засоби вимірювання у вигляді аксіальної турбинки знайшли широке застосування при вимірюванні швидкості морських кораблів.

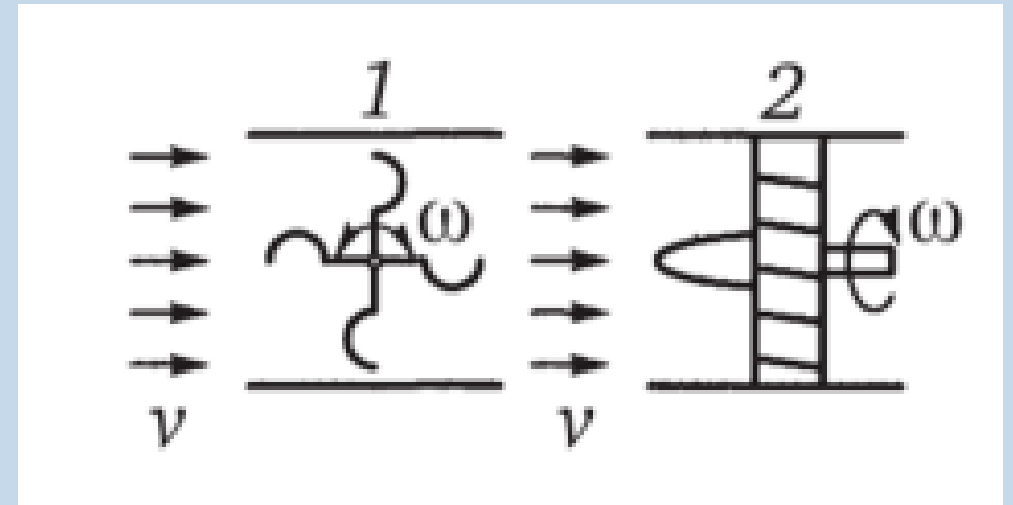


Рис. 4. Турбінний метод: 1 - тангенціальна турбинка; 2 - аксіальна турбинка.

- Найбільш широке поширення в техніці отримали **відцентрові, магнітоіндукційні, електричні** (постійного і змінного струму), **індукційні і стробоскопічні** методи вимірювання швидкостей обертання.
- Відцентровий метод характерний тим, що чутливий елемент реагує на відцентрову силу, що розвивається неврівноваженими масами обертового вала. Цей метод реалізується в конічному і кільцевому тахометр.



# Конічний тахометр

- У конічному тахометрі (рис. 5) на шарнірах, що обертаються з вимірюваної швидкості зі разом з віссю, встановлені важки  $m$ , які під дією відцентрових сил розходяться, переміщаючи уздовж осі муфту 1 і стискаючи пружину 2. Зміна положення муфти 1 реєструється показує елементом тахометра - стрілкою.

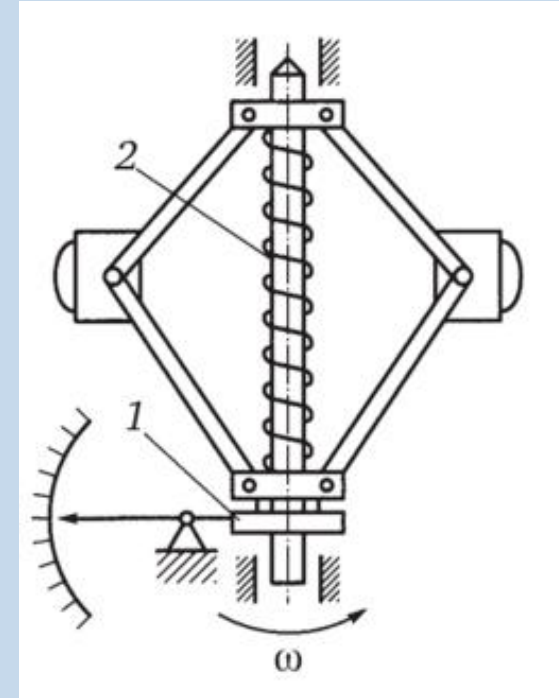


Рис. 5. Конічний тахометр: 1 - муфта; 2 – пружина.

# Кільцевий тахометр

- У кільцевому тахометрі (рис. 6) при необертвовій осі 2 ( $z_i = 0$ ) площину кільця нахилена по відношенню до осі на певний кут  $\alpha$ . При обертанні кільце прагне зайняти положення, перпендикулярний до осі обертання, і викликає переміщення муфти 1 і стрілки відлікового пристрою.

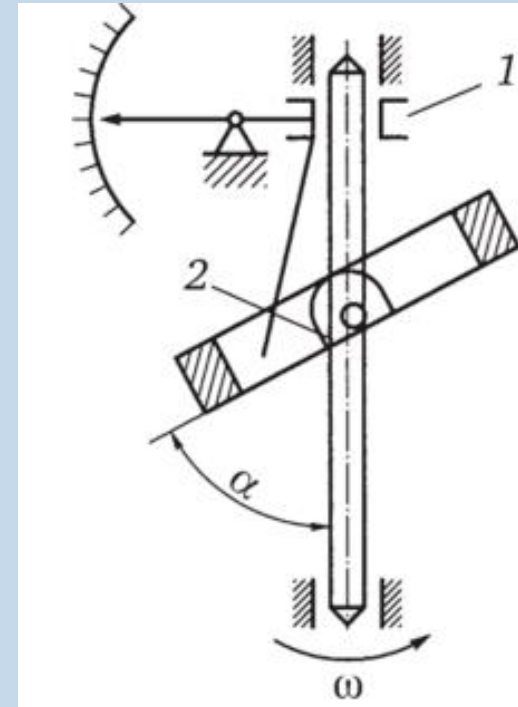


Рис. 6. Кільцевий тахометр: 1 - муфта; 2 - вісь обертання.

Відцентрові тахометри нерідко застосовуються в якості перетворювачів в регуляторах частоти обертання. Недоліком цих засобів вимірювання є відсутність дистанційності, значні похибки і технологічні труднощі у виготовленні і регулюванні.

- **Магнітоіндукційний метод** заснований на залежності наводяться в металевому тілі вихрових струмів від частоти обертання. Тахометри, побудовані на цьому методі, виконуються в двох варіантах: з циліндричним чутливим елементом і дисковим чутливим елементом.
- **Електричний метод** вимірювання заснований на залежності напруги, що генерується від частоти обертання (для постійного, змінного та імпульсного струму), а змінного і імпульсного струму - на залежності частоти струму від частоти обертання. Електричні тахометри постійного струму включають в себе тахогенератор постійного струму і гальванометр. Тахогенератори бувають двох типів: з обмеженим і необмеженим кутом повороту ротора.

- Серед тахометрів змінного струму особливе місце займають **індукційні тахометри**. Тахогенератор такого приладу є електричну машину асинхронного типу, що складається з зовнішнього 1 і внутрішнього 2 магнітопроводов, в зазорі між якими розташовуються статорна обмотка 3, що складається з обмотки збудження і сигнальної обмотки, і алюмінієвий тонкостінний ротор 4, виконаний у вигляді циліндра. Осі обмоток (катушок) збудження і сигнальної взаємно перпендикулярні.
- Індукційні тахометри, маючи значні похибки, застосовуються тільки в якості чутливого елемента в системах управління.
- **Стробоскопический метод** вимірювання кутової швидкості заснований на властивості ока зберігати видиме зображення на десяти частки секунди після його зникнення. Засоби вимірювання, побудовані за цим принципом, є найбільш точними з розглянутих раніше. Вони знайшли застосування в лабораторних дослідженнях, а також при створенні зразкових засобів вимірювань.