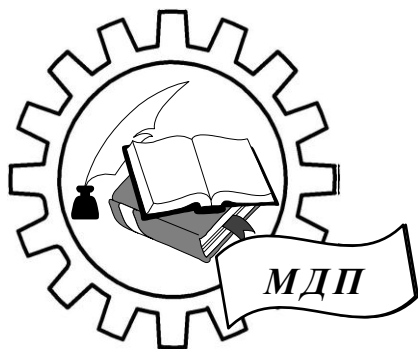


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Кафедра обладнання переробних і хар-
чових виробництв імені професора
Ф.Ю. Ялпачика

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТ ОБЕРТАННЯ ВАЛІВ

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи
з дисципліни "Методи дослідження процесів"

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
ОС Магістр

**Мелітополь
2018**

Методи вимірювання частот обертання валів. Методичні вказівки для студентів, що навчаються за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" ОС Магістр - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2018 - 24 с.

Розробники: к.т.н., доцент кафедри ОПХВ ім Ф. Ю. Ялпачика
Самойчук К.О.
асистент кафедри ОПХВ ім Ф. Ю. Ялпачика
Ковальов О.О.

Рецензент: к.т.н., доц. каф.
Електротехнології і теплові
процеси

Вороновський І. Б.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ
Протокол № від 2018 р.

Методичні вказівки затверджені методичною радою факультету ІКТ
Протокол № від 2018 р

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ

Тема: Методи вимірювання частот обертання валів.

Мета: Ознайомлення з будовою та принципом дії пристроїв для вимірювання частоти обертання валу.

Час: 2 год.

1.1 Порядок виконання роботи

- представити викладачу виконане завдання для самопідготовки. Умову завдання наведено у п. 1.2;
- проробити лабораторну частину;
- виконати домашнє завдання.

1.2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент в обов'язковому порядку повинен виконати наступні завдання:

- а) вивчити конспект лекцій;
- б) опрацювати рекомендовану літературу;
- в) занести у зошит для практичних робіт такі матеріали:

1.3. Питання для самоперевірки:

1. Призначення тахометрів та їх різновиди.
2. Будова та принцип дії індукційного тахометра.
3. Будова та принцип дії фотоелектричного тахометра.
4. Принцип дії стробоскопічного тахометра.
5. Призначення, основні вузли та принцип дії дистанційних магнітоелектричних тахометрів.

1.4 Практична частина

Частота обертання – це один з основних параметрів, що визначає кінематичні характеристики робочого органу машин харчової ті переробної промисловості. Одиницями вимірювання частоти обертання є секунда в мінус першому ступені (s^{-1} , s^{-1}), оберти в секунду. Також використовуються похідні згаданих величин, такі як оберт з хвилину, оберти за годину та ін. Оберти за хвилину (позначення об/хв, 1/хв, $хв^{-1}$, також часто використовується англійське позначення rpm [revolutions per minute]). Оберти на хвилину є одиницями вимірювання кількості повних обертів, здійснених довколо фіксованої вісі та використовується для вимірювання швидкості обертання механічних компонентів.

Слід розрізняти термін швидкість обертання яка визначається як кількість обертів за хвилину та пов'язана з частотою обертання f співвідношенням

$$f = \frac{n}{60}, \quad (1)$$

де n – кількість обертів.

Ще однією фізичною величиною, яка пов'язана з терміном «частота обертання» є кутова швидкість, яка в системі СІ вимірюється в радіанах на секунду ($\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$) або виражена через наступні співвідношення:

$$1 \text{ об} / \text{хв} = 2\pi \text{ рад} \cdot \text{хв}^{-1} = 2\pi / 60 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1} \approx 1/10 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (2)$$

Прилад, що вимірює частоту обертання валу (кутової швидкості), називається тахометр. Тахометри, обладнанні реєструючими приладами звуться тахографами. Прилади, які сумують кількість обертів валу звуться лічильниками. В якості лічильнику імпульсів також може застосовуватись тахометр, який використовується наприклад при підрахунку продукції на конвейері, витрат сировини та матеріалів, часу наробітку обладнання машин та механізмів тощо. Для вимірювання частоти обертання електричних машин при дослідженнях використовують методи прямого перетворення, порівняння та частотний.

- тахометри, в яких напруга на виході первинного перетворювача (далі за текстом «перетворювач») пропорційна вимірювальній частоті обертання та засновані на перетворенні «частота обертання – кут відхилення стрілки» (механічні та електромеханічні тахометри), дія яких заснована на механічній взаємодії валу, що обертається з приймальною частиною тахометру – тахометричним перетворювачем. Сучасні прилади цієї групи використовують цифрові технології та забезпечують вимірювання швидкостей обертання в діапазоні 10000 – 20000 об/хв;

- тахометри, в яких частота вихідної напруги перетворювача пропорційна частоті обертання;

- засновані на підрахунку кількості обертів протягом означеного інтервалу часу;

- метод порівняння частоти обертання або визначення через відому електричну величину.

- засновані на вимірюванні тривалості одного оберту, або інтервалу між суміжними імпульсами, які формуються протягом одного оберту та підрахунку зворотньої величини за формулою (3)

$$F = \frac{1}{T}, \quad (3)$$

де F – частота обертання, об/хв;

T – тривалість одного оберту, хв.

Частотний метод заснований на вимірюванні частоти електричних імпульсів, які надходять від таходатчиків. Даний метод виключає можливість внесення додаткових похибок датчиком або ліній передачі (при дистанційному вимірюванні), які пов'язані з впливом температури, тиску, вологості та інших факторів. Однією з переваг частотного методу є можливість за допомогою датчику істотно збільшити частоту імпульсів, що є особливо важливим при вимірюванні невеликих значень частоти обертання, коли прямі ме-

тоди вимірювання та перетворення вносять суттєві похибки. Крім того, тахометри даного типу дозволяють отримати цифровий відлік частоти обертання. В частотних тахометрах використовуються індукційні фотоелектричні, ємнісні, індуктивні та інші типи перетворювачів. Частина з них може також використовуватися в тахометрах першої групи.

Для вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна використовують відцентрові або електричні тахометри. Значно рідше використовують прилади, які сумують кількість обертів двигуну за певний проміжок часу - лічильники обертів, тахоскопи, тощо. Лічильник обертів можна використовувати, наприклад, при вимірюванні частоти обертання вище встановленого діапазону вимірювань.

Для вимірювання частоти обертання можливе використання будь-яких фізичних явищ, в яких частота обертання пов'язана певною залежністю з якою-небудь електричною величиною. За принципом дії тахометри класифікуються:

1. Механічні тахометри – їх вимірювальна послідовність складається з механічних перетворювачів. До механічних відносяться відцентрові, годинникові, фрикційні, вібраційні і пневматичні тахометри.

2. Магнітні тахометри нарівні з механічними перетворювачами містять у складі вимірювальної послідовності магнітний індукційний перетворювач.

3. Електричні тахометри нарівні з іншими містять в вимірювальній послідовності електромеханічні перетворювачі. До числа електричних відносяться електромашинні, електроімпульсні і фотоелектричні тахометри. Цей принцип (Optical/Photo RPM Method) – заснований на підрахунку кількості відбитих імпульсів світлового потоку. Прилади цієї групи більш зручні в застосуванні, ніж прилади контактного принципу дії та дозволяють вимірювати значення швидкостей в широкому діапазоні до 1000000 об/хв.

4. Стробоскопічні тахометри засновані на застосуванні стробоскопічного перетворювача.

При великому діапазоні вимірювання частоти обертання машини застосовують генераторний спосіб вимірювання. Застосовують тахогенератор в якості якого може бути використана невелика машина постійного току незалежного збудження або генератор з постійними магнітами до зажимів якого приєднується точний магнітоелектричний вольтметр. При обертанні валу генератору буде вироблятися напруга, що пропорційна до частоти обертання. Відхилення стрілки вольтметра буде пропорційним до частоти обертання машини. Даний спосіб дає достатньо точні результати вимірювання, точність методу залежатиме від точності градування шкали вольтметра. Проградувати такий тахометр можна декількома способами. Наприклад, побудувати довідковий графік залежності напруги від частоти обертання якорю або зробити нову шкалу вольтметра на якій замість вольт записуються оберти на хвилину.

Для вимірювання частот обертання машин використовують тахометри різних типів. Найбільш простою конструкцією відрізняються механічні тахометри. В залежності від місця монтажу тахометру та способу застосування тахометри поділяють на стаціонарні, дистанційні, ручні (рисунк 1).

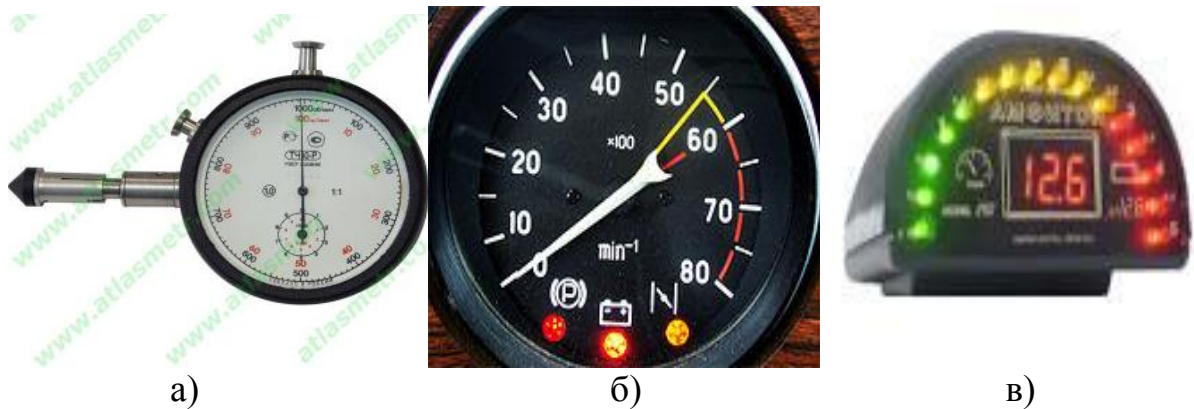


Рисунок 1 – Загальний вигляд а) механічного ручного тахометру типу ІО – 10; б) механічного стаціонарного тахометру; в) електронного тахометру Амфитон 219.

Для вимірювання частоти обертання в діапазоні 25 – 10000 об/хв застосовують ручні тахометри типу ІО – 10. До комплекту разом з тахометром входить набір наконечників та пристроїв для вимірювань в різних умовах. При великій частоті обертання застосовується гумовий наконечник, при малій – металічний. При відсутності центрів на валу машини використовують шків, який притискають бічною поверхнею до поверхні валу, що обертається. Частоту обертання в цьому випадку визначають за формулою (4)

$$n = \frac{n_m D_{ш}}{D_v}, \quad (4)$$

де n_m – показники тахометра, об/хв;

$D_{ш}$ – діаметр шківу (для ІО – 10 він дорівнює 32мм);

D_v – діаметр валу, мм.

Усталений режим частоти обертання можна виміряти за допомогою лічильнику обертів, з'єднаного з валом машини за формулою (5)

$$n = \frac{60N}{t}, \quad (5)$$

де t – час обертання, с;

N – кількість обертів.

Крім того, розрізняють тахометри, що вимірюють швидкість контактним і безконтактним методом. До першої групи відносяться всі вище названі прилади за винятком фотоелектричного і стробоскопічного тахометрів, що працюють безконтактним методом. Використання безконтактних методів контролю кутових швидкостей обумовлено тими випадками, коли потужність об'єкту контролю дуже мала та приєднання навіть мало потужного спожива-

ча у вигляді тахометру, при роботі контактним методом може викликати перевантаження та невірні свідчення приладу.

Розглянемо будову і принцип дії деяких тахометрів, що працюють контактним методом.

Відцентрові тахометри

Серед великої різноманітності механічних тахометрів найбільше поширення мають відцентрові тахометри, принципова схема одного з яких наведена на рисунку 2 а.

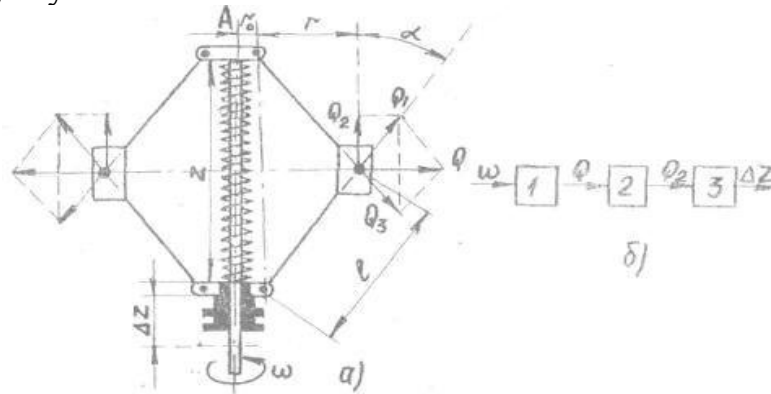


Рисунок 2 – а) принципова схема відцентрового тахометра; б) структурна схема тахометричного чуттєвого елемента

Тахометр складається з декількох тягарців (найчастіше трьох), симетрично розташованих відносно осі АА, на шарнірно пов'язаних тягах 1. Тяги кріпляться до муфт, одна з яких жорстко зв'язана з валом, а друга (нижня) має можливість переміщатися вздовж осі валу, що обертається зі швидкістю ω . Між муфтами знаходиться пружина, яка прагне наблизити тягарці до осі обертання.

При обертанні вала розвивається відцентрова сила Q , розташована в площині, перпендикулярній до осі обертання вала, і спрямована радіально. Сила Q може бути розкладена на складові Q_1 і Q_3 направлені уздовж тяг і Q_2 – паралельно вісі АА вгору. Сила Q_2 викликає переміщення муфти, вгору на величину Δz , що є вихідною величиною тахометричного чуттєвого елемента. Це переміщення за допомогою передаточного механізму перетворюється в показники частоти обертання.

Структурна схема тахометричного чутливого елемента складається з ланок 1; 2; 3, вхідні і вихідні величини якого показані на рисунку 2 б.

Загальною статичною характеристикою чутливого елемента без урахування сил тертя і сили тяжіння рухомих деталей є нелінійна залежність:

$$\Delta z = \frac{\omega^2 k m z \left(1 + \frac{2r_0}{\sqrt{4l^2 + z^2}} \right)}{4c}, \quad (6)$$

де Δz – поточна координата, м;

ω – кутова швидкість, рад/с;

k – кількість вантажів;

m – маса вантажу, кг;
 z – відстань між втулками (поточна), м
 r_0 – радіус підвісу тяги, м;
 l – довжина тяги, м;
 c – жорсткість пружини, Н/м.

Відцентрові тахометри не мають систематичних похибок. Їм властиві тільки інструментальні і динамічні похибки. Інструментальні похибки виникають внаслідок пружного гістерезису і після дії пружини, температурних впливів на модуль пружності і густину мастила, неточностей при виготовленні та складанні деталей. Якщо порядок вимірювання частоти обертання є невідомим то вимірювання починають з самої високої межі для запобігання поломки тахометра. Вимірювання проводять короткочасно (3-5 с), притискуючи вал тахометру до виїмки валу, який обертається. При вимірюванні вісь валу тахометру повинна співпадати з віссю валу машини. Похибка вимірювань відцентрових тахометрів від 1 до 8%.

Перевагами відцентрового тахометричного вузла є простота конструкції, порівняно висока точність вимірювання, і незалежність свідчень від напрямку обертання. До недоліків слід віднести нелінійність статичної характеристики, особливо помітну на початку шкали; порівняно малий діапазон вимірювання швидкості обертання, що характеризується величиною відношення від 4 до 6, малу дистанційність вимірювань; обмежену гранично допустиму довжину гнучкого валика (2,5 м).

Для розширення діапазону вимірювання відцентрових тахометров застосовують в одних випадках пружини змінної жорсткості, а в інших – спеціальні механічні редуктори з ручним перемиканням швидкостей обертання вала тахометра при переході з одного краю на інший. Так, наприклад, переносні (ручні) тахометри часто виконуються широкого діапазону вимірювання, тобто забезпечуються коробкою швидкостей, що дозволяє змінювати діапазон вимірюваних швидкостей. Ручний тахометр ІО-10 має наступні діапазони вимірювання швидкостей: 25-100; 75-500; 250-1000; 750-5000; 2500-10000 об/хв. Тахометр має циферблат з двома концентричними смугами, відповідними двом групам діапазонів швидкостей.

Годинникові тахометри

Принцип дії годинникового тахометра полягає в тому, що кутова швидкість вимірюється за кількістю обертів вала, що випробовується за певний проміжок часу. Таким чином, за допомогою годинникового тахометра визначається не миттєве значення кутової швидкості ω , а її середнє значення ω_{cp} за відомий проміжок часу t .

Годинникові тахометри часто називають тахометрами середньої швидкості, а також тахоскопами. Для визначення проміжку часу в годинниковому тахометрі є годинниковий механізм, тому ця група тахометрів і отримала свою назву.

Механізм ручного неавтоматичного годинникового тахометра (тахос-

копа) складається з лічильника обертів, секундоміра з ціною оберту стрілки 60с, пускового пристрою і для установки лічильника обертів і секундоміра на нульову позначку. Привідний валик тахоскопа з'єднується з валом, що випробується, після чого оператор натисканням на пускову кнопку одночасно включає лічильник обертів і секундомір. Спостерігаючи свідчення секундоміра оператор через 60с вимикає лічильник, показання якого дають середню за 60с швидкість вала, що випробується, об/хв.

Напівавтоматичний годинниковий тахометр відрізняється тим, що відключення лічильника обертів відбувається автоматично через певний проміжок часу після пуску. Пуск та встановлення лічильника на нульову позначку проводиться оператором вручну. Шкала лічильника градується в об/хв.

Схема напівавтоматичного годинникового тахометра типу 9ЧП наведена на рисунку 3.

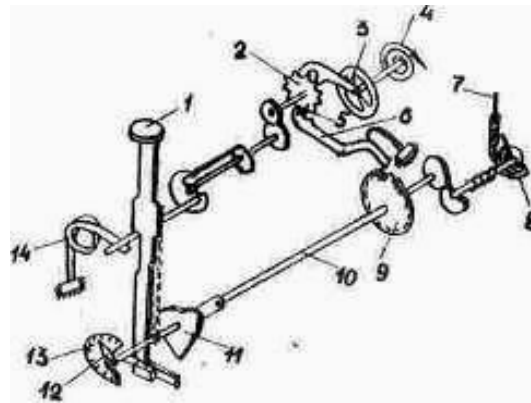


Рисунок 3 – Схема напівавтоматичного годинникового тахометра типу 9ЧП.

1 – пусковий важіль; 2 – спускове колесо; 3 – палець; 4 – собачка; 5 – привідний валик; 6 – фрикційна муфта; 7 – колесо; 8 – центральна вісь; 9 – кулачок; 10 – стрілка; 11 – циферблат; 12 – пружина годинникового механізму.

Пуск механізму проводиться натисненням на кнопку пускового важеля 1. При натисканні заводиться пружина 14 годинникового механізму. Одночасно пусковий важіль повертає сердечко (кулачок) 11, що сидить фрикційно на центральній вісі 10, повертаючи стрілку 12 на нульову позначку циферблата 13. Після відпускання кнопки стрілка і центральна вісь залишаються застопореними собачкою 6, зчепленою з колесом 9, який нерухомо сидить на центральній вісі. Привідний валик 7 був приєднаний до валу, що випробується перед пуском тахометра: він може обертатися завдяки проковзуванню під фрикційною муфтою 8. Заведена пружина 14 приводить в дію годинниковий механізм, спускове колесо 2 починає обертатися, палець 3 спускового колеса натискає на собачку 6, звільняючи колесо 9 і вісь 10. Стрілка починає обертатися. Після закінчення певного часу (зазвичай 3 або 6с) палець 3 звільняє собачку 6, яка гальмує колесо 9 і вісь 10. Стрілка зупиняється і за шкалою можна зробити відлік вимірюваної кутової швидкості. Після вимірюван-

ня прилад відключають від валу, що випробується.

Відносна приведена похибка тахометрів цього типу не повинна перевищувати $\pm 1\%$ при установці приладу в нормальному положенні (шкала горизонтальна, привідний вал і той, що перевіряється, співвісні) і при температурі 20 ± 5 °С. Для вимірювання частоти обертання мікромашин застосовують годинниковий тахометр, який не створює додаткового навантаження на валу двигуна та разом з тим, забезпечуючий точність вимірювання частоти обертання.

Безперервне вимірювання кутової швидкості здійснюється автоматичними часовими тахометрами. У цих приладах включення і вимикання лічильника здійснюється періодично за допомогою годинникового механізму, що приводиться в дію від приводного валика тахометра через фрикційну передачу. Показчик лічильника після кожного вимірювання не встановлюється на нульову відмітку шкали, а показує результат останнього вимірювання до завершення наступного вимірювання.

Фрикційні тахометри

Фрикційний метод, заснований на самовирівнюванні (за рахунок тертя ковзання) окружної швидкості обертання фрикційного ролика з окружною швидкістю конуса, що обертається з постійною кутовою швидкістю. Найпростіша схема фрикційного тахометра представлена на рисунку 4.

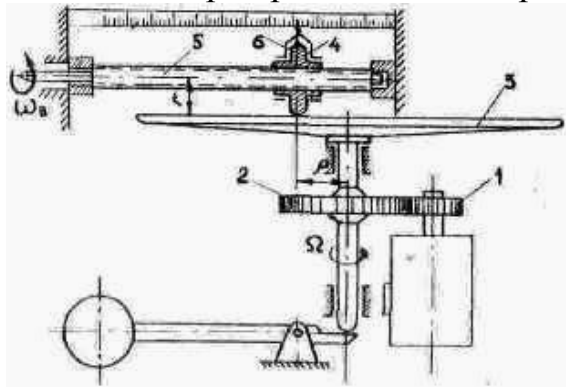


Рисунок 4 – Схема фрикційного тахометра.

1, 2 – зубчаста передача; 3 – диск; 4, 6 – ролик; 5 – гвинт.

Через зубчасту передачу 1-2 електродвигун обертає диск 3 з постійною кутовою швидкістю. Диск приводить в обертання ролик 4 за рахунок тертя між ними. Кутова швидкість ролика буде пропорційна кутовій швидкості диска і відстані від ролика до вісі обертання диска і обернено пропорційна до радіусу ролика.

Якщо швидкість гвинта 5 і ролика 4 неоднакові, ролик буде переміщатися уздовж гвинта. Напрямок переміщення такий, що швидкість ролика буде наближуватись до швидкості гвинта. При сталій швидкості гвинта ролик займе таке положення, при якому його швидкість дорівнюватиме швидкості гвинта: $\omega_p = \omega_v$. При цьому отримаємо:

$$\omega = \Omega \frac{\rho}{y}, \quad (7)$$

або

$$\rho = \omega \frac{ir}{\Omega}, \quad (8)$$

де ρ – відстань ролика від вісі обертання диска;

r – радіус ролика.

Так як $\frac{ir}{\Omega}$ величина постійна для даного тахометра, тоді відстань ролика до вісі обертання диска пропорційна кутовій швидкості, що вимірюється.

Отже, з'єднаний з роликом показчик буде показувати по шкалі величину кутової швидкості, що вимірюється.

Чутливим елементом вібраційного тахометра є ряд пружних сталевих смуг, що закріплені одним кінцем, кожна з яких налаштована на певну власну частоту коливань. Налаштування досягається за рахунок зміни товщини або довжини пластин, а також за рахунок зміни величини мас на вільних кінцях смужок. Для вимірювання швидкості вала якої-небудь машини або верстата тахометр кріпиться до станини або кожуха машини. При обертанні вала виникає вібрація частин машини; ця вібрація передається до основи тахометра; при цьому порушуються резонансні коливання однієї-двох смужок, власні частоти яких близькі до частоти вібрацій машини.

Недоліками даного методу можна вважати необхідність контакту тахометра з рухомою деталлю. Так само задіяні сталеві смуги схильні до ефекту «втоми металу» що може призвести до похибки вимірювань.

Індукційні тахометри

Індукційний та магнітоіндукційний методи відносяться до електричних методів. Принцип дії їх заснований на явищі електромагнітної індукції, яка полягає в тому, що індукована е.р.с. пропорційна швидкості зміни магнітного потоку Φ , зчепленого з котушкою індуктивності з W витків.

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt}, \quad (9)$$

Індукційні перетворювачі для тахометрів виконуються у вигляді невеликого генератора постійного або змінного струму, вал якого механічно з'єднаний з валом двигуна, що випробується (рисунок 5).

Тахометр, що використовується в лабораторних умовах, представляє собою трьохфазний генератор з постійним магнітом – ротором.

При синусоїдному розподіленні магнітної індукції в повітряному зазорі генератора діюче значення змінної е.р.с., що індукується в обмотці статора, дорівнює:

$$E = \frac{\Phi \cdot N}{60} \cdot n, \quad (10)$$

де Φ – магнітний потік, Вб;

N – число витків в обмотці статора;

n – частота обертання якоря, хв^{-1} .

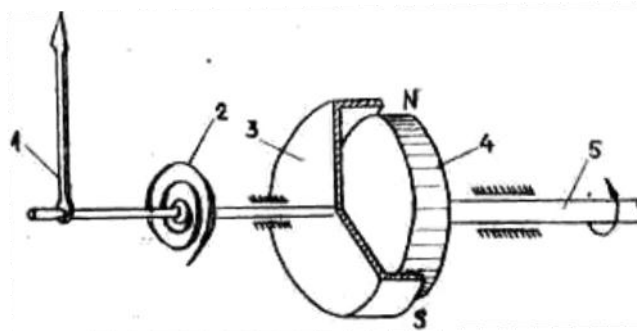


Рисунок 5. – Механізм магнітоіндукційного тахометра.

1 – стрілка показчика; 2 – спіральна пружина; 3 – циліндричний ковпачок; 4 – постійний магніт; 5 – вісь тахометра.

Частота генеруємої е.р.с. визначається з числа пар полюсів ротора генератора виразом:

$$f = \frac{P \cdot n}{60}, \quad (11)$$

Таким чином, інформаційним параметром при вимірюванні частоти обертання валу може служити е.р.с. E або частота f . Вимірювання частоти забезпечує більшу точність, так як в тахометрах, основаних на зміні напруги, має місце значна температурна похибка і помітний вплив лінії передачі.

Імпульсні тахометри

Імпульсний метод заснований на визначенні частоти електричних імпульсів, які формуються за допомогою контактного або безконтактного (фотоелектричного, індуктивного, ємнісного та ін.) переривника або комутатора, який з'єднаний з валом, швидкість руху якого контролюється.

За останні роки почали розвиватися електричні пристрої, в яких вимірювання кутової швидкості зводиться до вимірювання частоти імпульсів електричного струму, що генерується валом, який обертається. Сучасна електровимірювальна техніка дозволяє проводити такі вимірювання з більш високою точністю, ніж безпосереднє вимірювання кутової швидкості. Завдяки точній постійності співвідношення між числом обертів вала і частотою імпульсів точність вимірювання кутової швидкості за допомогою цих приладів вдається доводити до 0,01%. Прилади цього типу показують миттєве значення кутової швидкості і можуть бути названі електричними імпульсними тахометрами. Їх показники відображають середню кутову швидкість за короткий проміжок часу (0,5-0,6 с)

Такі прилади називають електронними тахоскопами, хоча внаслідок стислості вимірювального періоду (менше секунди) вони також дають практично миттєві значення кутової швидкості. Отже, в кожному діапазоні тахометр вимірює різницю між істинним значенням швидкості і найбільшим значенням шкали попереднього діапазону. До цієї групи відносяться імпульсні прилади для вимірювання середньої кутової швидкості, які за принципом вимірювання подібні до механічних тахоскопів. Середня кутова швидкість вимірюється шляхом підрахунку імпульсів, що генеруються датчиком за пев-

ний проміжок часу. Вони були створені для підрахунку імпульсів, що надходять з лічильників радіоактивного випромінювання, звідки і були запозичені для цілей вимірювання кутової швидкості.

Недоліками таких приладів можна вважати відносну складність виконання.

Фотоелектричні тахометри

Принцип дії фотоелектричних тахометрів заснований на залежності освітленості робочої поверхні фотоелектричного перетворювача (фоторезистора, фотодіода і т.д.) від числа обертів вала двигуна. Наприклад світловий потік може перериватися диском з каліброваними отворами, насадженими на вал двигуна (рис. 1). При цьому фотодіод VD1 та резистор R_H складають ділильник напруги, який підключається до джерела стабілізованої напруги. При освітленні фотодіода його опір скорочується, струм через ділильник збільшується і падіння напруги на опорі R_H підвищується, при затемненні робочої поверхні фотодіода спад напруги на опорі R_H зменшується. Таким чином при обертанні вала двигуна на опорі R_H формуються імпульси напруги, амплітуда та тривалість яких визначається часом освітлення фотодіода (час освітлення робочої поверхні фотодіода залежить від діаметра отвору і швидкості його переміщення). При цьому частота вихідних імпульсів f_i пропорційна частоті обертання n вала двигуна та визначається з відношення:

$$f_i = \frac{k \cdot n}{60}, \quad (12)$$

де k – число отворів диска;

n – частота обертання вала двигуна, хв.⁻¹.

Принцип дії перетворювача фотоелектричного тахометра представлений на рисунку 6.

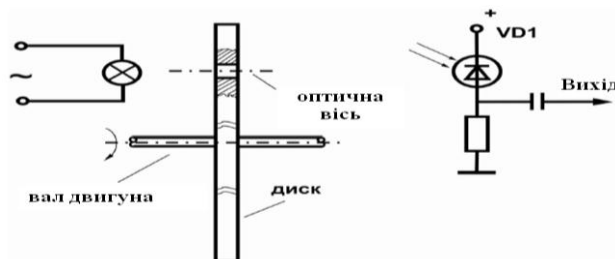


Рисунок 6 – Перетворювач фотоелектричного тахометра.

Основною перевагою фотоелектричних тахометрів являється простота конструкції, широкі можливості розширення меж вимірювання шляхом зміни числа отворів диску, мале навантаження на вал досліджуваного об'єкта. Очевидною перевагою фототахометрів при вимірюванні малих частот обертання являється можливість збільшення числа вихідних імпульсів за один оберт вала шляхом збільшення числа отворів диска.

Геркони та їх використання для вимірювання частот обертання валів

Широкого розповсюдження набули герметичні, магнітокеровані контакти – геркони (рисунок 7). Геркон являє собою невелику витянуту колбу з відкачаним повітрям, всередині якого знаходиться пара гнучких металічних феромагнітних контактів.



Рисунок 7 – Загальний вигляд герконів різних типів

При появі поблизу геркону (ГК) магнітного поля постійного або електричного магніту, який встановлюється на валу, частота якого підлягає вимірюванню, відбувається взаємне притягнення (прогин) пластин та замкнення контактів (рисунок 8). Кожне замкнення контактів геркону фіксує лічильник імпульсів або калькулятор. Коли постійний магніт наближується до магнітокерованої групи контактів, кожна пластина намагнічується та виникає сила їх взаємного притягнення. При досягненні силою магнітного поля граничного значення, що перевищує пружність пластин контактів вони замикаються. При зникненні зовнішнього магнітного поля, залишковий магнітний струм в феромагнітних пластинах контактів розсіюється, що викликає розмикання контактів геркону.

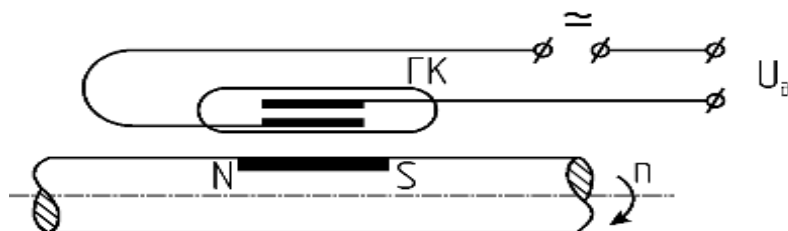


Рисунок 8 – Принципова схема отримання імпульсного сигналу за допомогою геркону

Переваги герконів:

- внаслідок знаходження контактів геркону в вакуумі при роботі вони не схильні до обгоряння, навіть коли при замкненні або розведенні контактів виникає іскра;
- геркони є довговічними, якщо не бити їх, не пропускати крізь них струм високих значень термін використання герконів практично необмежений;
- відносно висока швидкодія.

Недоліки герконів:

- геркони дуже крихкі, корпус герконів виготовляється з крихкого скла, отже, їх неможливо використовувати в умовах сильних вібрацій та ударів;
- для їх замкнення потрібно створити магнітне поле;
- інколи контакти герконів залипають, що відбувається після проходження високих токів, геркони застосовуються для комутації токів невисоких значень;
- обмежена швидкість замкнення контактів, практичне застосування показує неможливість використання герконів для вимірювання частот обертання вище 300 об/хв, внаслідок високої інерційності контактів.

Цифрові тахометри

Принцип дії цифрових тахометрів заснований на підрахунку кількості імпульсів напруги (які формуються на виході первинного перетворювача тахометра) за фіксований термін часу.

На рисунку 9 представлена структурна схема цифрового тахометра.

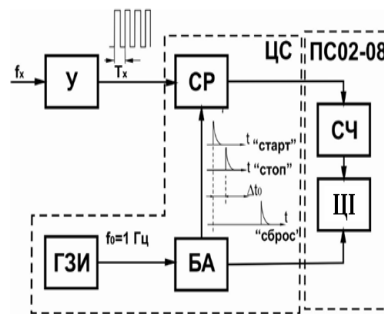


Рисунок 9 – Структурна схема цифрового тахометра.

Імпульси току, які поступають з виходу первинного перетворювача (наприклад фотоелектричного), формують на опорі R1 (рисунок 10) імпульси напруги $U_H(t)$, частота слідування яких f_x пропорційна частоті обертання вала двигуна. Імпульси $U_H(t)$ підсилюються підсилювачем напруги (У) і через схему розв'язання (СР) надходять на рахунковий вхід лічильника (СЧ).

Блок автоматики (БА) формує імпульс певної тривалості Δt_0 . Проміжок Δt_0 формується шляхом перерахунку в БА імпульсів зразкової частоти $f_0 = 1$ Гц, виробляємих генератором завдаючих імпульсів (БА формує два коротких імпульса («старт» і «стоп»), які слідують один за одним з проміжком часу Δt_0 . З настанням імпульсу «старт» на управляючий вхід схеми розв'язання (СР) починається підрахунок імпульсів, що поступають на рахунковий вхід СЧ лічильника імпульсів, а з настанням імпульса «стоп» підрахунок імпульсів припиняється. Число імпульсів N , зафіксоване лічильником і відображене цифровим індикатором (ЦІ), дорівнює:

$$N = k \cdot n \frac{\Delta t_0}{60}, \quad (13)$$

де n – частота обертання вала двигуна, хв.^{-1} ;

k – число отворів диску;

Δt_0 – час відліку, с.

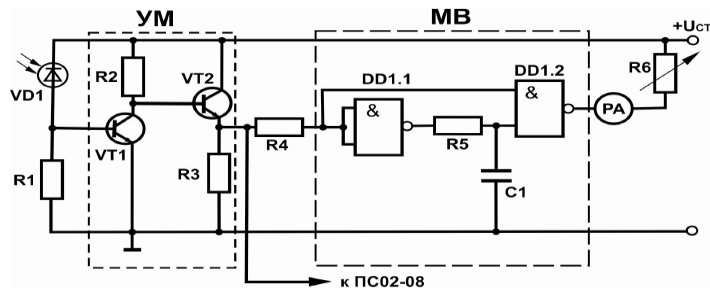


Рисунок 10. – Принципова схема фотоелектричного тахометра.

Стробоскопічні тахометри

Стробоскопічний метод заснований на здатності ока утримувати впродовж деякого часу зорове враження від предмета, що сховалося з поля зору. В найбільш розповсюдженій строботажометрах вал періодично освітлюється безенергійним джерелом світла (строботроном). При частоті спалахів, синхронною з частотою обертання валу, останній буде здаватися нерухомим. Звичайно для керування спалахами строботрона використовується генератор з регульованою частотою, а шкала частот генератора градується в одиницях вимірювання частоти обертання. Рівняння строботажометра має вигляд:

$$m \cdot \frac{60}{n} = \frac{1}{F}, \quad (14)$$

де $m=1,2,\dots$ - коефіцієнт кратності

n – частота обертання валу двигуна, хв.^{-1} ;

F – частота промишування світлових імпульсів, Гц.

Похибка вимірювань строботажометром залежить від стабільності частоти генератора. Недоліком цих приладів являється складність побудови вимірювання малих частот обертання. Для виключення помилкових підрахунків, вимірювання завжди необхідно починати з найбільшої частоти промишування світлових імпульсів. Правильному підрахунку відповідає найбільша частота, при якій спостерігається одне нерухоме зображення ($m=1$).

Дистанційні магнітоелектричні тахометри

На рисунку 11 наведена структурна схема дистанційного магнітоелектричного тахометра ИСТ-2.

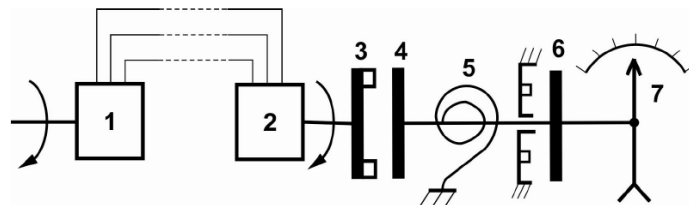


Рисунок 11 – Структурна схема дистанційного магнітоіндукційного тахометра.

Дистанційне вимірювання частоти обертання засноване на принципі дистанційної електричної передачі обертання валу двигуна до валу магнітоі-

ндукційного вимірювального вузла і перетворення частоти обертання в кутове переміщення стрілки приладу.

Струм тахогенератора 1 через лінію передачі проводиться до обмотки статора синхронного електродвигуна 2. Ротор електродвигуна складається з двох постійних магнітів і трьох гістерезисних дисків, з'єднаних разом, та обертається синхронно з магнітним полем, що створюється статором, тобто частота обертання ротора пропорційна частоті обертання валу тахогенератора 1. На кінці ротора прикріплений магнітний вузол 3, який має декілька пар полюсів постійних магнітів, між якими розташований чутливий елемент 4. При обертанні магнітного вузла 3 в чутливому елементі 4 виникають вихрові токи, які при взаємодії з магнітним полем вузла 3 створюють обертальний момент $M_{об}$ чутливого елемента, пропорційний частоті обертання магнітного вузла. Моменту, що обертається, протидіє момент $M_{пр}$ спіральної пружини 5:

$$M_{пр} = W_{пруж} \alpha , \quad (14)$$

де $W_{пруж}$ – протидіючий момент, що залежить від пружних властивостей матеріалу та геометричних розмірів пружини;

α – кут закручування пружини.

Для створення моменту спокою, який підвищує стійкість показників стрілки, використовується магнітоіндукційний заспокійник 8.

Лазерний тахометр

Лазерний цифровий безконтактний фото тахометр призначений для вимірювання частоти обертання деталей машин і механізмів. Тахометри знайшли широке застосування для контролю частоти обертання колінчастого вала двигунів внутрішнього згоряння. Також лазерний тахометр застосовується для контролю частоти обертання робочих органів технологічних машин.

Основна перевага безконтактного тахометра полягає в тому, що він дає змогу вимірювати частоту обертів дистанційно, тобто на деякій відстані від об'єкту досліджень. При цьому використовується метод віддзеркалення – таким чином, тахометр працюватиме з усіма механізмами, на які можна наклеїти світловідбивач. При цьому треба стежити, щоб відстань від приладу до об'єкту вимірювання не перевищувала заданої величини (у нашому випадку – 50 см).

Принцип роботи безконтактного тахометра такий: прилад випускає лазерний промінь, який періодично віддзеркалюється від плівки, що закріплена на рухомій частині об'єкту, котрий піддається перевірці. Віддзеркалення потрапляє на сенсор, який підраховує кількість «спалахів» за одиницю часу – так і встановлюється частота обертання. Крім того, тахометр може бути використаний в якості лічильника імпульсів, наприклад, при підрахунку продукції на конвеєрі, витрат сировини, матеріалів, часу напрацювання устаткування, машин і механізмів при випробуваннях і обкатці. Підрахунок або вимірювання здійснюється в прямому, зворотному або в обох напрямках. Вимі-

ряна величина може бути заздалегідь програмно масштабована в реальні одиниці вимірювання (години, хвилини, метри, шт, упаковки і т. д.).

2.1 Лабораторна частина

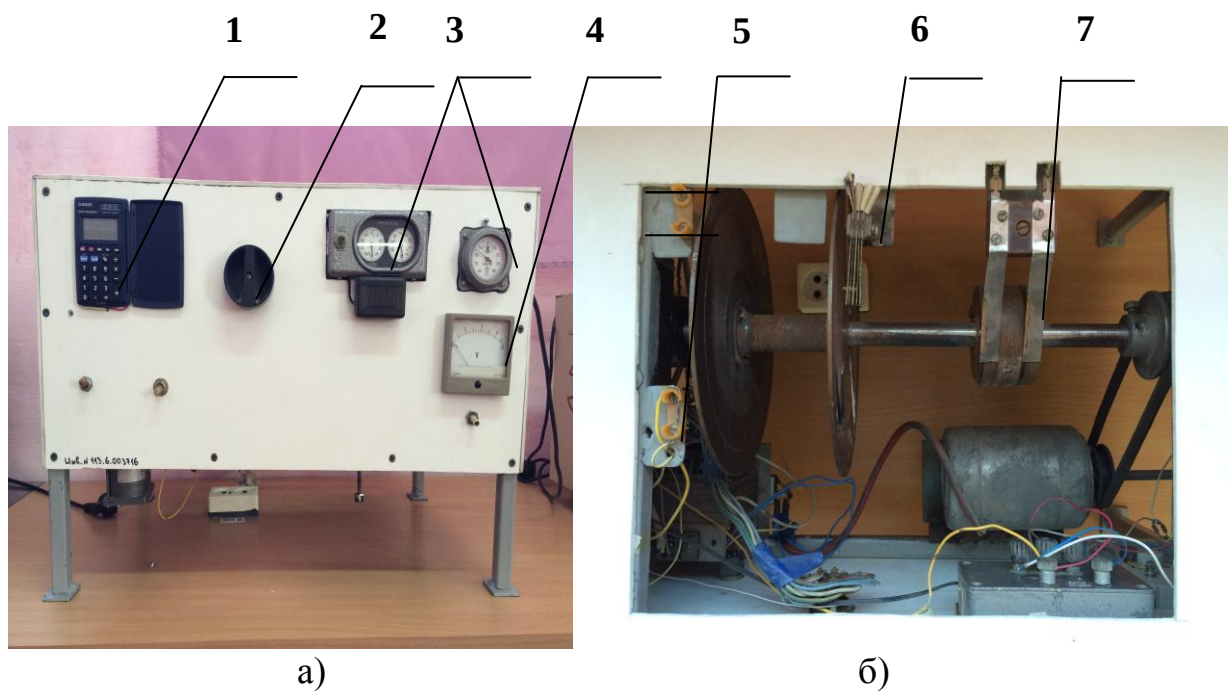
2.1.1 Обладнання робочого місця

Стенд для вимірювання частот обертання валів, який включає:

- механічний тахометр;
- цифровий тахометр;
- вольтметр;
- генератор електричного струму;
- калькулятор;
- датчики кількості обертів;
- геркон;
- контактор;
- сегментний ролик;
- строботахометр;
- ручний механічний тахометр;
- цифровий лазерний тахометр.

2.1.2 Опис лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на стенді для вимірювання частот обертання (рисунок 12). В якості об'єкта приводу використовується двигун постійного струму з регульованою частотою обертання валу.



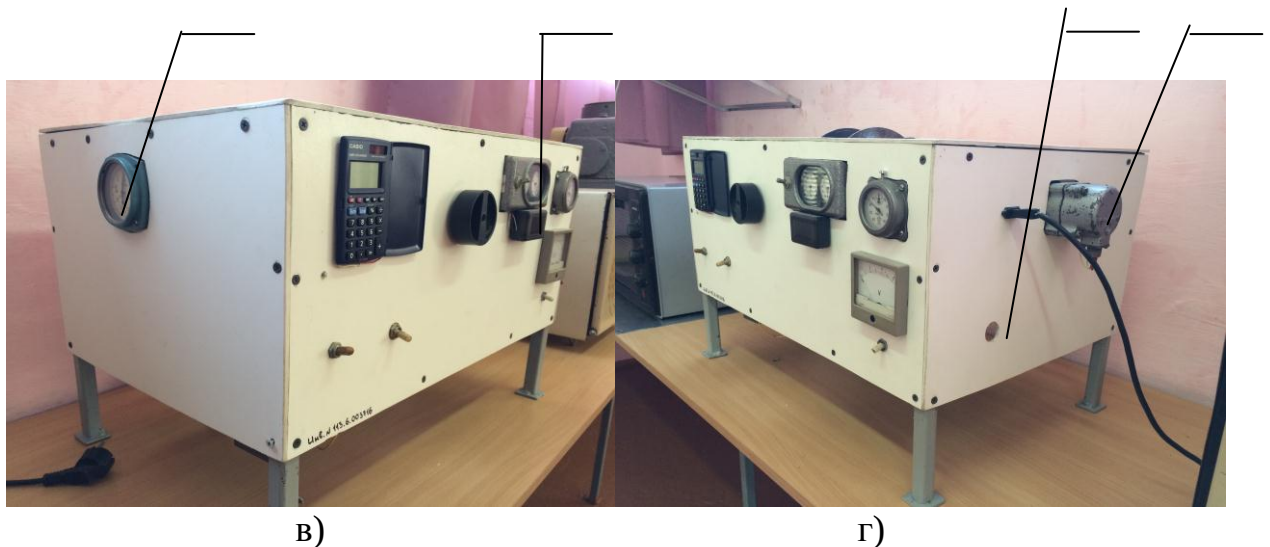


Рисунок 12 а) пристрої для підрахунку кількості обертів та частоти обертання валу на стенді для вимірювання частоти обертання ТДАТУ; б) механічна частина стенду для вимірювання частоти обертання валу; в,г) види зліва і справа стенду для вимірювання частоти обертання.

1 – калькулятор; 2 – регулятор кількості обертів валу; 3 – лічильники кількості обертів; 4 – вольтметр; 5 – геркон; 6 – контактор; 7 – сегментний ролик; 8 – механічний тахометр; 9 – електронний тахометр; 10 – виточка для вимірювання частоти обертання ручним тахометром; 11 – генератор електричного струму.

2.1.3 Цифровий лазерний тахометр DT-2234C

Цифровий лазерний тахометр DT-2234C (рисунок 13), призначений для вимірювання частоти обертання деталей машин та механізмів.



Рисунок 13 – Цифровий тахометр для вимірювання швидкості обертання DT-2234C

Інтерфейс управління представлений двома кнопками, однією з яких вмикається прилад, а утримуючи другу, його переводять в режим вимірювання. В комплекті приладу є наклейки з блискучих кружалець. Необхідно зняти з підкладки одну наклейку і зафіксувати її на валу, оберти якого будуть підраховуватись. Потім необхідно запустити механізм і зачекати 10-15 се-

кунд, щоб оберти вирівнялися. Наводячи лазерний промінь на обертовий вал, на екрані дисплею відображається отримане числове значення частоти обертання.

Технічні характеристики тахометра DT-2234C:

- Цифровий дисплей;
- Діапазон: вимірювання обертання від 2,5 до 99999 RPM;
- Дистанція: від 50 до 500мм;
- Зберігає результати вимірювань;
- Розмір: 130x70x29 мм;
- Вага: 160г.

2.1.4 Тахометр годинниковий ТЧ 10-Р

Тахометр годинниковий ТЧ 10-Р (рисунок 14) звичайного виконання класу точності 1,0 призначений для виміру частоти обертання частин машин і механізмів, що мають центровочні елементи, і лінійних швидкостей способом безпосереднього приєднання.



Рисунок 14 – Тахометр годинниковий ТЧ 10-Р

Тахометр складається з рахункового і годинного механізмів і механізму повернення стрілок. Рахунковий механізм складається з валу тахометра, ангренажа і стрілок, що показують число оборотів на циферблаті. Годинниковий механізм складається з вузла спуску і регулятора.

Для включення годинникового механізму необхідно натиснути на кнопку "пуск", яка через штифт сектора зводить заводську пружину. Під дією цієї пружини штифт сектора рухається у зворотному напрямі. Разом з штифтом рухається сектор і через триб анкерного колеса передає рух вузлу спуску (анкерне колесо і анкерна вилка) і вузлу регулятора (баланс і волосок).

Регулятор управляє періодичністю дії спуску, забезпечуючи постійну швидкість обертання кулачка. Під час роботи вузлів спуску і регулятора носик храпового важеля виходить з паза на куркульці, ковзає за профілем кулачка і тим самим звільняє храпове колесо, а разом з ним і вісь, на яку насаджена стрілка. Стрілка обертається до тих пір, поки носик храпового важеля не западає в паз кулачка і не закріє храпове колесо разом з віссю. З цієї миті колесо обертатиметься вхолосту, оскільки воно вільно сидить на валу.

Технічні характеристики:

1. Границі вимірювання :
 - частота обертання, об/хв. від 50 до 1000 і від 1000 до 10000 ;
 - лінійних швидкостей, м/хв. від 10 до 100 і від 100 до 1000.
2. Основна похибка виміру, що припускається, від верхньої межі вимірів :
 - частота обертання, % +/-1;
 - лінійних швидкостей, за допомогою дискового наконечника Ø31, 62% +/-2.

2.2 Порядок виконання лабораторної частини роботи

2.2.1 Підготовка установки до роботи

Вивчити інструкції до приладів, що використовуються. Ввімкнути всі прилади та лабораторну установку в мережу і прогріти протягом 10 хвилин.

Провести калібрування приладів в відповідності до інструкції експлуатації.

2.2.2 Вимірювання частоти обертання валу

За допомогою лабораторного автотрансформатора встановити послідовно частоти обертання 300; 600 та 1000 об/хв.

Для кожної встановленої частоти обертання валу двигуна виконати відлік інформаційних параметрів по шкалах тахометрів або лічильників кількості обертів.

Результати вимірювань занести в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання частоти обертання вала двигуна.

Методи вимірювання частоти обертання	Частота обертання валу, n, об/хв		
	300	600	1000
Механічний стаціонарний тахометр			
Стробоскопічний			
Лазерний			
Ручний механічний тахометр			
За допомогою геркону та калькулятору			
За допомогою контактора та імпульсного лічильника			
За допомогою сегментного ролику та лічильника			
Електронний тахометр			
Генератором електричного струму			

2.3 Порядок виконання аналізу методів вимірювань

Приймаючи показники механічного стаціонарного тахометра за дійсні значення вимірювальної частоти обертання валу, розрахувати відносну похибку кожного методу вимірювання частоти за формулою:

$$\delta = \frac{n_c - n_i}{n_c} \cdot 100\% , \quad (15)$$

Результати вимірювання занести в таблицю 2.

Таблиця 2 –Відносні похибки вимірювання частот обертання валів.

Методи вимірювання частоти обертання	Відносна похибка, % для частот обертання валу, об/хв		
	300	600	1000
Стробоскопічний			
Лазерний			
Ручний механічний тахометр			
За допомогою геркону та калькулятору			
За допомогою контактора та імпульсного лічильника			
За допомогою сегментного ролику та лічильника			
Електронний тахометр			
Генератором електричного струму			

Зробити висновки про особливості застосування кожного методу вимірювання для визначення частоти обертання вала, який використовувався в лабораторній установці. Зробити висновки щодо точності вимірювань різних методів.

Звіт повинен містити:

- 1) номер, назвута мету роботи;
- 2) загальні теоретичні положення;
- 3) характеристики різновидів тахометрів, схеми;
- 4) схему лабораторної установки;
- 5) результати експерименту та розрахунку;
- 6) висновки за результатами дослідів.

Рекомендована література

1. Головка Д.Б. Основи метрології та вимірювань/ Д.Б.Головка, К.Г.Рого, Ю.О.Скрипник. – Кшв: Либщ, 2001. – 408 с.
2. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч. для вищ. навч. закл. / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, Б.І.Стадник и др., Ред. Є.С.Поліщук; Ін-т. інновац. технологій і змісту освіти. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.

