

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Київський національний університет будівництва і**  
**архітектури**

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ**

Методичні вказівки  
до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів  
напряму підготовки 6.050202 “Автоматизація  
та комп’ютерно-інтегровані технології”

Київ 2015

**ББК 31.264**  
**E45**

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент  
М.В. Волчков, асистент

Рецензент В.М. Скіданов, доктор техн. наук, професор

Відповідальний за випуск В.М. Скіданов, доктор техн. наук, зав.  
кафедри

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів, протокол № від 2015р.*

Видається в авторській редакції.

Метрологія та технологічні вимірювання: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / уклад.: В.Ю. Луценко, М.В. Волчков – К.: КНУБА, 2015. – 27 с. укр. мовою.

Розглянута методологія та методика виконання розрахунково-графічної роботи, яка є однією із форм індивідуального завдання та виконується студентом самостійно при консультуванні викладачем. Надано короткі теоретичні відомості та сформульовано завдання на розрахунково-графічну роботу за темою «Вимірювання фізичних величин».

Призначено для самостійної роботи студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

@ КНУБА, 2015

## ВСТУП

Для вирішення завдання підвищення ефективності виробництва і якості продукції потрібна достовірна, точна й об'єктивна інформація, без якої неможливі оптимізація виробничих процесів і оцінка якості продукції на всіх стадіях її виготовлення. Основним джерелом такої інформації є вимірювання, що визначає важливу роль метрології, як науки про вимірювання, та метрологічного забезпечення виробництва і наукових досліджень. Основними видами діяльності метрологічних служб є аналіз метрологічного забезпечення, метрологічна експертиза документації, атестація засобів вимірювання і випробувань. Знання основ метрології і метрологічного забезпечення виробництва стало об'єктивною необхідністю не лише для працівників метрологічної служби, але і для фахівців інших галузей.

Курс "Метрологія та технологічні вимірювання" базується на відповідних розділах математики і фізики. В результаті вивчення курсу "Метрологія та технологічні вимірювання" студент повинен здобути теоретичні знання з основ метрології і практичні навички їх використання. Студент повинен мати чіткі уявлення про види, методи і засоби вимірювання, класифікацію, джерела і способи опису похибок, вміти методично правильно планувати, організувати і проводити вимірювання та обробляти їх результати. Необхідно знати основи забезпечення єдності вимірювань, орієнтуватися в повірочних схемах, бути знайомий з еталонами основних фізичних величин і методами передачі розміру від еталону до робочих засобів вимірювання.

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи студентами очної та заочної форми навчання охоплюють основні розділи курсу "Метрологія та технологічні вимірювання" і мають на меті розвинути у студентів навички самостійного метрологічного аналізу, удосконалення засобів вимірювання, розв'язку питань метрологічного забезпечення технологічних процесів будівельної галузі.

# 1. Короткі теоретичні відомості

## 1.1 Основні терміни та визначення

**Фізична величина** – властивість, загальна в якісному відношенні для безлічі об'єктів, фізичних систем, їх станів і процесів, що відбуваються в них, але є індивідуальною в кількісному відношенні для кожного з них.

**Одиниця фізичної величини** – це фізична величина, якій за визначенням присвоєно числове значення, рівне 1.

**Значення фізичної величини** – оцінка фізичної величини в прийнятих одиницях виміру.

**Міра** – сукупність технічних засобів, що служать для відтворення одиниці виміру з певною, наперед заданою точністю.

**Вимірюванням** називається експериментальне визначення значення фізичної величини шляхом порівняння цієї величини з деякою її частиною, прийнятою за одиницю виміру.

**Істинне значення вимірюваної величини** – значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б в якісному і кількісному сенсі відповідну властивість об'єкту.

**Точність** вимірюного значення визначається як дискретністю представлення одиниці виміру, так і похибкою її реалізації. Тому істинне значення вимірюваної величини визначити неможливо принципово, і це поняття замінюють поняттям дійсного значення вимірюваної величини.

**Дійсне значення** вимірюваної величини – те максимально точне її значення, яке може бути отримане на поточному рівні розвитку науки і техніки.

**Засобами вимірювання** називають технічні засоби, що використовуються при здійсненні процесу вимірювання, і мають нормовані метрологічні характеристики.

**Похибка вимірювання** – відхилення вимірюного значення від дійсного значення вимірюваної величини.

## **1.2 Види і методи вимірювань.**

Розрізняють наступні види вимірювань.

1. **Прямі вимірювання.** Прямі вимірювання характеризуються тим, що результат вимірювання отримують безпосередньо від використаного засобу вимірювання.

2. **Непрямі вимірювання.** Непрямим називається спосіб вимірювання, коли результат обчислюється експериментатором з використанням певної функціональної залежності та результату прямого вимірювання.

3. **Сукупні вимірювання.** Сукупним називається спосіб вимірювання, коли результат виміру обчислюється експериментатором з використанням певної функціональної залежності та декількох результатів прямих вимірів.

Вимірювальний процес в явній або неявній формі містить наступні складові:

- вимірювану величину;
- засоби вимірювання;
- методи вимірювання.

Розрізняють наступні методи вимірювання.

**Метод безпосередньої оцінки.** У цьому методі результат вимірювання визначають безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу, шкала якого заздалегідь була градуйована за допомогою міри.

### **Метод порівняння з мірою.**

а) Нульовий метод. При нульовому методі порівняння з мірою, вимірювальний прилад відіграє роль пристрою порівняння, що відображає нульову різницю між вимірюваною величиною і використовуваною мірою. Результат виміру визначається значенням міри. Типовим прикладом використання такого методу є звичайні важільні ваги.

б) Диференціальний метод – це метод порівняння, у якому міра може не точно дорівнювати вимірюваній величині. В цьому випадку різниця між мірою і вимірюваною величиною визначається методом безпосередньої оцінки. Результат вимірювання визначається сумою використовуваної міри і

значення, отриманого від приладу безпосередньої оцінки. Точність методу зростає із зменшенням різниці між значеннями міри і вимірюваної величини. Прикладом використання цього методу можуть служити звичайні торговельні ваги з додатковим циферблатом.

в) Метод заміщення. Суть цього методу зводиться до того, що вимірювана величина заміщається відтворюючою мірою так, щоб пристрій порівняння знаходився б в тому ж стані. Результат вимірювання визначається значенням використовуваної міри. Прикладом цього методу є точний вимір малої напруги за допомогою гальванометра, до якого спочатку підключають джерело невідомої напруги і визначають відхилення покажчика, а потім за допомогою регульованого джерела відомої напруги домагаються того ж відхилення покажчика. При цьому відома напруга дорівнює невідомій.

д) Метод збігу. При методі збігу ряд відміток, що розташовуються рівномірно, або сигналів, відповідних вимірюваній величині, зіставляється з рядом відміток або сигналів, що відповідають відтворюючій мірі і спостерігається їх збіг, на основі якого визначається значення вимірюваної величини.

У переважному числі випадків, будь-який вимірювальний пристрій складається з ланцюжка аналогових вимірювальних перетворювачів фізичних величин з одного виду в іншій, що закінчується блоком, що перетворює кінцеву аналогову фізичну величину в її цифрове значення.

### **1.3 Класифікація вимірювальних перетворювачів.**

**Вимірювальним перетворювачем** називається аналоговий перетворювач однієї фізичної величини в іншу, що має нормовані метрологічні характеристики.

Прийнято розрізняти декілька типів аналогових вимірювальних перетворювачів, залежно від їхнього призначення у вимірювальному ланцюзі.

**Первинний перетворювач (датчик, сенсор)** – вимірювальний перетворювач, на який впливає вимірювана величина, тобто він є першим у вимірювальному ланцюзі. Залежно від принципу дії датчики можна поділити на дві групи – параметричні й генераторні.

Датчики параметричної групи характеризуються тим, що контрольована величина перетворюється ними в параметр електричного ланцюга: опір, індуктивність, ємність та ін..

Генераторні датчики характеризуються тим, що в них здійснюється безпосереднє перетворення різних видів енергії, що характеризують контрольований параметр, в електричну.

До числа параметричних датчиків відносять:

1. Реостатні датчики, що використовують залежність опору реостата від положення його повзунка, яке може змінюватися під дією контрольованого параметра.

2. Тензометричні датчики, що використовують явище зміни опору провідника при його розтяганні або стиску (тобто при деформаціях чутливого елемента датчика).

3. Датчики контактного опору, у яких використовується залежність контактного опору між поверхнями двох твердих тіл від тиску одного тіла на інше.

4. Терморезистивні датчики в основі дії яких лежить властивість провідника змінювати свій опір залежно від температури.

5. Електролітичні датчики опору, що використовують залежність опору розчину електроліту від концентрації.

6. Фотоелектричні датчики, що використовують явище зміни опору напівпровідника залежно від освітлення.

7. Ємнісні датчики, дію яких засновано на залежності електричної ємності конденсатора від впливу технологічного параметра.

8. Індуктивні датчики, в яких контрольований технологічний параметр змінює індуктивність обмотки.

9. Магнітострикційні датчики, в яких параметр, що контролюється, перетворюється в інтервал часу або частоту.

10. Магнітопружні датчики, що використовують залежність індуктивності котушки від механічної напруги феромагнітного осердя котушки.

До числа генераторних датчиків відносять:

1. Індукційні датчики, у яких використовується явище електромагнітної індукції.

2. Термоелектричні датчики, що використовують термоелектричний ефект, який виявляється у виникненні термо-ЕРС у ланцюгах, що складаються з двох різнорідних провідників.

3. Фотоелектричні датчики, засновані на залежності фото-ЕРС від освітленості.

4. П'єзоелектричні датчики, що використовують п'єзоелектричний ефект, який проявляється у виникненні ЕРС у деяких кристалічних речовинах (п'єзоелектриках) під дією прикладених до кристалів пружно-деформуючих сил.

5. Датчики Холла, що використовують ефект виникнення ЕРС у напівпровіднику, через який іде струм при впливі магнітного поля.

При створенні датчиків використовуються найрізноманітніші фізичні явища. Цим пояснюється велика кількість типів датчиків.

Вихідним параметром датчиків, що перетворюють контрольовані технологічні параметри (неелектричні величини) в електричні можуть бути: омичний опір, індуктивність, ємність, величина постійної напруги або струму, амплітуда, частота, фаза змінної напруги, інтервал часу, тощо.

**Вторинні перетворювачі**, що підключаються до вимірювального ланцюга після первинного перетворювача, служать або для масштабування вимірюваної величини (підсилювачі, подільники), або для її лінеаризації, або для дистанційної передачі вимірювального сигналу (модулятори,



демодулятори), або просто для перетворення вхідної величини в ту фізичну величину, для якої найпростіше отримати числове значення.

#### 1.4 Класифікація вимірювальних пристроїв

Вимірювальні пристрої можна розділити на аналогові та цифрові.

**Аналогові вимірювальні пристрої** – це пристрої, що відображують значення вимірюваної величини у вигляді положення (стану) деякого механічного або оптичного індикатора (стрілки, рівня, оптичної плями і т.п.). В аналогових вимірювальних пристроях числове значення вимірюваної величини визначається експериментатором (спостерігачем) шляхом порівняння положення індикатора з багатозначною мірою – шкалою приладу або пристрою.

Аналогові пристрої електровимірювань прийнято підрозділяти на електромеханічні вимірювальні пристрої та електронні вимірювальні пристрої.

Узагальнена структурна схема електромеханічних вимірювальних пристроїв безпосередньої оцінки приведена на рисунку 1.

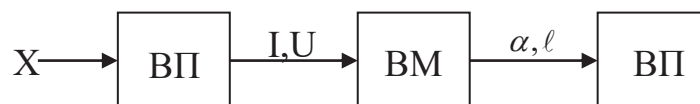


Рисунок 1. – Узагальнена структурна схема аналогового електромеханічного вимірювального пристрою,

На рисунку 1 прийняті наступні позначення:

X – вимірювана величина;

ВП – вимірювальний перетворювач;

ВМ – вимірювальний механізм;

ВП – відліковий пристрій;

I, U – електричний струм або напруга;

$\alpha, \ell$  – кут відхилення або відстань переміщення покажчика;

Незважаючи на застосування цифрових вимірювальних пристроїв, що все більш розширюється, аналогові вимірювальні пристрої, завдяки своїй

дешевизні і надійності досі грають величезну роль в практичній діяльності людини.

Електронні вимірювальні пристрої відрізняються тим, що перед електромеханічним вимірювальним механізмом, знаходиться вимірювальний перетворювач, основною частиною якого є електронний підсилювач з великим коефіцієнтом підсилення. Завдяки цьому електронні вимірювальні прилади на відміну від електромеханічних мають набагато більшу чутливість і високий вхідний опір. Проте на виході використовуваного підсилювача підключається звичайний механізм електровимірювання, як правило, магнітоелектричного типу, з відповідним відліковим пристроєм.

**Цифровими вимірювальними пристроями** називаються пристрої, в яких чисельне значення вимірюваної величини відображується у вигляді числа, представленого в тій або іншій системі числення.

Цифрові вимірювальні пристрої (ЦВП) зазвичай мають складнішу структуру, ніж аналогові, і можуть складатися з декількох порівняно автономних вузлів. У загальному випадку, цифровий вимірювальний пристрій може бути представлений у вигляді структурної схеми приведеної на рисунку 2.

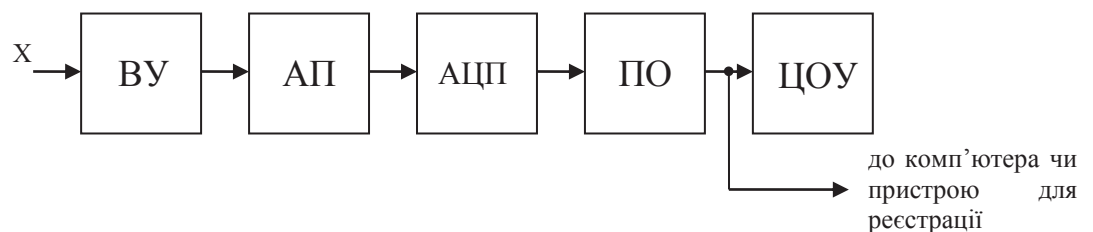


Рисунок 2.– Блок-схема цифрового вимірювального пристрою.

На рисунку 2 прийняті наступні позначення:

ВУ – блок вхідних пристроїв, до яких відносяться пристрої вибору межі вимірювання, пристрої визначення і вибору полярності вимірюваної величини, пристрої, що підвищують вхідний опір цифрового приладу і його завадозахищеність;

АП – блок аналогового перетворення, в якому відбувається перетворення аналогового сигналу одного виду в аналоговий сигнал іншого виду, найбільш зручний для процесу подальшого визначення числового значення вимірюваної величини (у практично використовуваних АП, у більшості випадків, вхідний сигнал перетворюється в напругу постійного струму, часовий інтервал, а також частоту або число електричних імпульсів).

АЦП – блок аналого-цифрового перетворення, в якому виконуються основні вимірювальні операції, – дискретизація в часі, квантування за рівнем і кодування вимірюваної аналогової величини в тій або іншій системі числення.

ПО – пристрій обробки, в якому може відбуватися проста попередня обробка результатів виміру, наприклад: обчислення частоти за вимірним періодом в частотомірах низьких і інфранизких частот; обчислення середнього значення зсуву фаз в цифрових фазометрах; обчислення середнього значення результатів серії вимірів, що дає можливість зменшити випадкову складову погрішності виміру; реалізація цифрової корекції дрейфу параметрів вимірювального пристрою, з метою зменшення систематичної погрішності виміру.

ЦВП – блок цифрового відлікового пристрою, як правило включає рідкокристалічні, газорозрядні або світлодіодні індикатори, схеми управління цими індикаторами, а також перетворювачі кодів чисел необхідний для правильної роботи використовуваного індикатора.

Як правило, в усіх сучасних цифрових вимірювальних пристроях передбачається вивід результатів виміру на реєструючий пристрій того або іншого типу, або безпосередньо в комп'ютер. Відзначимо, що блок АЦП присутній в будь-якому типі цифрового вимірювального пристрою, на відміну від усіх інших блоків, присутність яких залежить від конкретного типу пристрою.

## 2. Об'єм, зміст та оформлення контрольної роботи

Контрольна робота виконується на аркушах формату А4 і повинна відповідати за своїм змістом і оформленням усім вимогам до оформлення документації та звітів у сфері науки та техніки – ДСТУ 3008-95.

Умовні буквені позначення, зображення або знаки повинні відповідати позначенням, прийнятим в чинному законодавстві і державних стандартах.

У контрольній роботі слід застосовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їх найменування і позначення. Застосування в одному документі різних систем позначення фізичних величин не допускається. Одиниці виміру і розмірності, вживані без числових величин, пишуть в тексті повністю словами. У розшифровці буквених формул розмірності пишуть із скороченнями.

Одиниця фізичної величини одного і того ж параметра в межах одного документу має бути постійною.

Неприпустимо відділяти одиницю фізичної величини від числового значення (переносити їх на різні рядки або сторінки).

У формулах у якості символів слід застосовувати позначення, встановлені відповідними державними стандартами. Пояснення кожного символу слід давати з нового рядка в тій послідовності, в якій символи приведені у формулі. Перший рядок пояснення повинен починатися із слова "де" без двокрапки після нього, з абзацного відступу.

Наприклад 
$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

де I – струм, А;

U – напруга, В;

R – опір, Ом.

Формули, що записані одна за одною і не розділені текстом, розділяють комами. Формули, що розміщуються в додатках, повинні нумеруватися окремою нумерацією арабськими цифрами в межах кожного додатку з

додаванням перед кожною цифрою позначення додатка, наприклад формула (B.1).

Абзаци в тексті починають з відступом, рівним 15-17мм.  
Рекомендовані параметри при використанні текстового редактора WORD:

- шрифт Times New Roman;
- кегель - 14;
- абзацний відступ 1,25см;
- міжрядковий інтервал - 1,5.

Зміст розділів розрахункової роботи :

- титульний аркуш;
- завдання на контрольну роботу;
- розв'язок контрольної роботи;
- додатки (за потреби);
- перелік використовуваної літератури.

Контрольна робота допускається до захисту, якщо відповіді контрольної роботи не містять помилок принципового характеру і робота задовольняє перерахованим вимогам з оформлення.

Якщо контрольна робота повернена на доопрацювання, то усі виправлення мають бути зроблені студентом в тій же розрахунковій роботі після зауважень рецензента.

Після отримання допуску до захисту роботи, треба вивчити усі зауваження рецензента і виправити помилки, виконавши необхідні записи на чистих (чи вклеєних) аркушах.

### 3. Завдання на контрольну роботу

При виконанні контрольної роботи з дисципліни "Метрологія та технологічні вимірювання" слід дотримуватися наступного орієнтовного плану викладення матеріалу.

1. Розглянути та проаналізувати переваги електричних методів вимірювання неелектричних величин.

2. Навести приклади технологічних процесів, в яких має місце вимірювання заданої у завданні фізичної величини.

3. Розглянути 2-3 методи вимірювання заданої величини неелектричної природи шляхом її перетворення в електричну.

3.1. Описати фізичні, хімічні або інші явища, процеси, закони, що дозволяють здійснити перетворення цієї неелектричної величини в електричну (принципи вимірювання).

3.2. Описати конструкцію та принцип функціонування первинних вимірювальних перетворювачів (ВП) неелектричної величини (датчиків) для даних методів. За умови наявності декількох різновидів вимірювальних перетворювачів – пояснити відмінності.

3.3. Привести функції перетворення даних ВП в аналітичному та графічному виді, а також параметри і метрологічні характеристики (чутливість, діапазон вимірювання вхідної неелектричної величини, діапазон вихідної електричної величини та ін.)

3.4. Розглянути види і причини виникнення похибок вимірювань заданої фізичної величини різними методами, і з використанням різних датчиків, вказати на переваги та недоліки.

4. Розглянути, як приклад, конкретний прилад, що застосовується у промисловості для вимірювання заданої величини, в якому реалізовано розглянутий метод і використано відповідний датчик. Вказати марку приладу, основні характеристики, коротко описати будову.

5. Привести список використаних джерел (не менше п'яти).

Примітки:

а) Запропонований план може коригуватися студентом в залежності від особливостей конкретної заданої теми.

б) При розкритті теми необхідно враховувати, що неелектрична величина не завжди може бути безпосередньо перетворена в електричний сигнал. У цьому випадку перетворення спочатку здійснюється в іншу неелектричну величину, для якої існують відповідні датчики.

в) При використанні у якості джерела інформації мережі Internet список джерел повинен містити посилання на відповідні сайти (ресурси).

### **Перелік орієнтовних завдань на контрольну роботу.**

1. Лінійні та кутові переміщення. Реостатний перетворювач.
2. Пружні деформації, механічні напруги. Дротяний тензорезистор.
3. Пружні деформації, механічні напруги. Фольговий тензорезистор.
4. Пружні деформації, механічні напруги. Напівпровідниковий тензорезистор.
5. Температура. Мідний термометр опору.
6. Температура. Платиновий термометр опору.
7. Температура. Напівпровідниковий термометр опору – термістор.
8. Електромагнітне випромінювання. Фоторезистор.
9. Електромагнітне випромінювання. Фотодіод – датчик фото опору.
10. Електромагнітне випромінювання. Фототранзистор – датчик фото опору.
11. Електромагнітне випромінювання. Фотоелектричний помножувач.
12. Лінійні та кутові переміщення. Одинарний індуктивний перетворювач.
13. Лінійні та кутові переміщення. Диференційний індуктивний перетворювач.
14. Лінійні переміщення. Циліндричні індуктивні перетворювачі.
15. Лінійні та кутові переміщення. Індуктивні перетворювачі із змінною магнітною проникністю.

- 16.Лінійні та кутові переміщення. Трансформаторний перетворювач із змінним магнітним опором і нерухомою обмоткою (одинарний).
- 17.Лінійні та кутові переміщення. Трансформаторний перетворювач із змінним магнітним опором і нерухомою обмоткою (диференціальний).
- 18.Лінійні та кутові переміщення. Трансформаторний перетворювач із постійним магнітним опором і рухомою обмоткою.
- 19.Лінійні та кутові переміщення, тиск, вібрація, прискорення. Ємнісний перетворювач.
- 20.Температура. Термоелектричний перетворювач температури.
- 21.Швидкість лінійних або кутових переміщень. Індукційний перетворювач з рухомою обмоткою.
- 22.Швидкість лінійних або кутових переміщень. Індукційний перетворювач з рухомим постійним магнітом.
- 23.Швидкість лінійних або кутових переміщень. Індукційний перетворювач із змінним магнітним опором магніто проводу.
- 24.Швидкість лінійних або кутових переміщень. Тахогенератор.
- 25.Змінні сили, тиски, вібрація. П'єзоелектричний перетворювач.
- 26.Індукція магнітного поля, сила струму. Датчик Хола.



#### 4. Список рекомендованої літератури

1. Аш Ж. и др. Датчики измерительных систем. /В двух книгах. Пер. с фр.– М.: Мир, 1992. – 480с.
2. Брусиловский Л.П., Вайнберг Л.Я. Приборы технологического контроля в молочной промышленности. Справочник.–М.: Агропромиздат, 1990. – 288с.
3. Иванова Г.М. и др. Теплотехнические измерения и приборы.– М.:Энергоатомиздат,1984. – 232с.
4. Косинский А.В., Матвеевский В.Р., Холомонов А.А. Аналого-цифровые преобразователи перемещений. – М.: Машиностроение, 1991. – 186с.
5. Котов, К. И. Средства измерения, контроля и автоматизации технологических процессов. Вычислительная и микропроцессорная техника: учеб. пособие. – М.: Металлургия, 1989. – 469с.: ил.
6. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразования : учеб. пособие. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320с.
7. Мейджер Дж. Интеллектуальные сенсорные системы. – М.: Техносфера, 2011. – 464 с.
8. Новицкий В.П.Электрические измерения неэлектрических величин. – 5–е изд. , перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 576с.
9. Профос П. Измерения в промышленности. Справочник в 3-х томах.– М.:Металлургия, 1990.
- 10.Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 592с.
- 11.Шарапов В.М. и др. Датчики: Справочное пособие. – М.: Техносфера, 2012. – 624с.
- 12.Шикалов В.С. Технологічні вимірювання: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007.–168с.