

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів**  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Віталій ІВАНОВ**  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня **«магістр»**  
(бакалавр/магістр)

зі спеціальності **152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**  
(код та назва)

освітньо-професійної програми **«Якість, стандартизація та сертифікація»**  
(освітньо-професійної/освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: **Нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів**

Здобувача (ки) групи **СТ.мз-21с** **Ярина Владислав Ростиславович**  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ **Владислав ЯРИНА**  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник **доц., канд. техн. наук, доц. Олександр ІВЧЕНКО**  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Нормоконтролер **доц., канд. техн. наук, доц. Олександр ІВЧЕНКО**  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

Завідувачу кафедри

**Віталію ІВАНОВУ**

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

здобувача (ки) групи **СТ.мз-21с**

(шифр групи)

**Владислав ЯРИНА**

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**ЗАЯВА**

Прошу затвердити мені тему кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(бакалавр/магістр)

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація»:

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

**Нормативне забезпечення процедури калібрування**

(назва теми)

**манометрів та вакуумметрів**

(дата та підпис здобувача)

**ПОГОДЖЕНО:**

Керівник кваліфікаційної роботи:

**Олександр ІВЧЕНКО**

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

Інститут, факультет	<u>Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання</u>
Кафедра	<u>Технологія машинобудування, верстати та інструменти</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>другий (магістерський)</u> (шифр і назва)
Спеціальність	<u>152 – метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>152.1 Якість, стандартизація та сертифікація</u> (шифр і назва освітньої програми, за наявності)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧ**

**Ярина Владислав Ростиславович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів»

керівник проекту Івченко Олександр Володимирович канд. техн. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 30.11.2023 за № 1381-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «22» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) Вимоги міжнародних, регіональних та національних стандартів, законодавчих документів щодо калібрування манометрів та вакуумметрів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Актуальність проблеми, визначення мети та завдань досліджень.

2. Дослідити сучасний стан та перспективи розвитку методів вимірювання тиску.

2. Дослідити вимоги щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напоромірів та тягомірів.

3. Розробити нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів. 4. Розробити методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру.

## 5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

## 6. Дата видачі завдання «10» вересня 2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Актуальність проблеми, визначення мети та завдань досліджень	01.10.2023	
2	Дослідити сучасний стан та перспективи розвитку методів вимірювання тиску	01.10.2023	
3	Дослідити вимоги щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напоромірів та тягомірів	01.11.2023	
4	Розробити нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів	01.11.2023	
5	Розробити методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру	01.12.2023	
6	Формулювання загальних висновків	10.12.2023	
7	Підготовка доповіді	14.12.2023	
8	Підготовка презентації	14.12.2023	
9	Оформлення роботи	20.12.2023	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Владислав ЯРИНА**

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи (проєкту)**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Олександр ІВЧЕНКО**

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ОЗНАК АКАДЕМІЧНОГО ПЛАГІАТУ**

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з повним звітом подібності, який був згенерований системою **StrikePlagiarism.com**.

**Автор:** Ярина Владислав Ростиславович

**Назва роботи:** 2023\_Yaryna\_Metrolog.pdf

**Науковий керівник:** . Анна Олександрівна Нешта

**Підрозділ:** \_\_\_\_\_

*(інститут (факультет), кафедра, навчальна група (для осіб, що навчаються))*

**Вид роботи:** Магістерська робота

**Коефіцієнт подібності 1:** 11.5%

**Коефіцієнт подібності 2:** 3.3%

**Особа, відповідальна за перевірку:**

\_\_\_\_\_  
*(відповідно до додатку до Положення про академічну доброчесність та етику академічних взаємовідносин у СумДУ)*

Після проведеного мною аналізу Звіту подібності, констатую наступне:

- Запозичення, виявлені в роботі, оформлені коректно і не мають ознак академічного плагіату.
- Виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки академічного плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

**Опис прийнятого рішення**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ  
відповідальної за перевірку особи, визначеної додатком до  
Положення про академічну доброчесність та  
етичу академічних взаємовідносин у СумДУ)*

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 202\_ р.

\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра становить 68 аркушів, в тому числі 10 рисунків, 2 таблиць, бібліографії із 31 джерела на трьох аркушах, один додаток на 15 аркушах.

Метою роботи є підвищення якості процесу калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напорометрів, тягомірів і тягонапорометрів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110 на основі розроблення нормативного забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі були встановлені та вирішенні наступні завдання:

1. Дослідити сучасний стан та перспективи розвитку методів вимірювання тиску.

2. Дослідити вимоги щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напорометрів та тягомірів.

3. Розробити нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

4. Розробити методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру.

Об'єкт дослідження – процес калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напорометрів, тягомірів і тягонапорометрів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110.

Предмет дослідження – нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

ТИСК, МАНОМЕТР, ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, КАЛІБРУВАННЯ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ, ПОХИБКА, НАДЛИШКОВИЙ ТИСК

## **ABSTRACT**

The master's qualification work consists of 68 sheets, including 10 figures, 2 tables, a bibliography of 31 sources on three sheets, one appendix on 15 sheets.

The purpose of the work is to improve the quality of the calibration process of indicating and signaling manometers, vacuum gauges, manovacuummeters, pressure gauges, weight gauges and tension gauges that meet the requirements of DSTU EN 837-1, DSTU EN 837-3 and DCTU OIML R 110 based on the development of regulatory support for the calibration procedure of manometers and vacuum gauges.

To achieve the set goal, the following tasks were set and solved in the work:

1. To study the current state and prospects for the development of pressure measurement methods.

2. To study the requirements for the method of verification (calibration) of pressure gauges, manovacuum meters, vacuum gauges, pressure gauges and weight gauges.

3. To develop regulatory support for the calibration procedure of pressure gauges and vacuum gauges.

4. Develop a methodology for calculating measurement uncertainty during manometer calibration.

The object of the study is the process of calibration of indicating and signaling pressure gauges, vacuum gauges, manovacuum gauges, pressure gauges, weight gauges and tension gauges that meet the requirements of DSTU EN 837-1, DSTU EN 837-3 and DCTU OIML R 110.

The subject of the study is regulatory support for the calibration procedure of pressure gauges and vacuum gauges.

**PRESSURE, MANOMETER, INSTRUMENT OF MEASURING TECHNIQUES, CALIBRATION, UNCERTAINTY, ERROR, EXCESS PRESSURE**

## ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	5
Розділ 1 Сучасний стан та перспективи розвитку методів вимірювання тиску.....	9
1.1 Аналіз принципу дії манометрів .....	9
1.1.1 Загальна характеристика приладів.....	9
1.1.2 U-трубчасті манометри .....	10
1.1.3 Манометри колодязного типу.....	13
1.1.4 Похилі манометри (тягові).....	14
1.1.5 Абсолютні манометри .....	14
1.2 Складові під час вимірювання тиску .....	16
1.2.1 Вимірювання тиску.....	16
1.2.2 Рідина для індикації показників манометру .....	16
1.3 Поправки до вимірювання манометрами .....	17
1.3.1 Загальна інформація.....	17
1.3.2 Поправки щодо впливу густини рідини на вимірювання.....	18
1.3.3 Поправки щодо впливу гравітації на вимірювання.....	19
1.3.4 Поправки щодо впливу напору рідини на вимірювання .....	21
1.3.5 Поправка на стисливість рідини.....	23
1.3.6 Поправка на абсорбовані гази .....	23
1.3.7 Поправка на капілярні ефекти .....	24
1.3.8 Точність вимірювань .....	24
1.4 Цифрові манометри .....	25
1.4.1 Загальні відомості.....	25
1.4.2 Вимірювач власної ваги .....	26
1.4.3 Оцінювання цифрових манометрів.....	27
1.5 Висновок .....	30



Розділ 2 Дослідження вимог щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напоромірів та тягомірів .....	31
2.1 Дослідження вимог нормативних документів щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напоромірів та тягомірів .....	31
2.2 Аналіз сфери застосування ДСТУ 7224.....	32
2.3 Аналіз сфери застосування ДСТУ 4007.....	33
2.4 Аналіз сфери застосування ДСТУ EN 837-1 .....	33
2.5 Аналіз сфери застосування ДСТУ EN 837-3 .....	34
2.6 Аналіз сфери застосування ДСТУ OIML R 110.....	34
2.7 Висновок .....	35
Розділ 3 Нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.....	36
3.1 Сфера застосування .....	36
3.2 Скорочення та позначення .....	36
3.5 Вимоги до персоналу .....	38
3.6 Умови проведення калібрування.....	38
3.7 Засоби калібрування .....	38
3.8 Операції калібрування .....	40
3.8.1 Підготовка до калібрування.....	40
3.8.2 Зовнішній огляд .....	40
3.8.3 Перевірка функціонування .....	40
3.8.4 Перевірка герметичності.....	40
3.8.5 Визначення метрологічних характеристик .....	41
3.9 Встановлення простежуваності .....	41
3.10 Оформлення результатів калібрування .....	41
3.11 Періодичність калібрування .....	41
3.12 Література .....	41
3.13 Висновок .....	42

Розділ 4 Методика розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру .....	43
4.1 Вхідні данні .....	43
4.2 Побудова модельного рівняння.....	43
4.3 Оцінювання стандартної невизначеності вхідних величин.....	44
4.4 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності.....	47
4.5 Оцінювання розширеної невизначеності.....	47
4.6 Визначення похибки вимірювань.....	47
4.7 Висновок .....	47
Висновки .....	49
Перелік джерел посилань .....	51
Додаток А Проект нормативного документу .....	54

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Більшість людей знають про явище атмосферного (зазвичай його називають барометричним) тиску, оскільки вони чують, що він згадується як стандартна характеристика прогнозів погоди, але більшість людей не заходять так далеко, щоб дослідити, який зв'язок і чому повітря відчуває тиск зміни взагалі.

Тиск – це величина у фізиці, яка стосується майже всіх фізичних процесів, які можна уявити. Він пов'язує силу  $F$  із площиною  $A$  у безлічі контекстів, виражається та визначається математично у своїй найпростішій формі як  $P = F / A$ . Він відіграє особливо важливу роль у галузі динаміки рідин. (Рідина складається з матерії в рідкому або газоподібному стані). Атмосфера навколо нас є рідиною, і вона чинить набагато більший тиск на нас і все інше, ніж ми думаємо [1].

Формально тиск – це вимірювання ефекту поширення сили (вимірюється в ньютонках, або  $N$ , у стандартній міжнародній системі вимірювання) через деяку реальну або математично визначену поверхню (вимірюється в квадратних метрах). Сила (наприклад, сила тяжіння) діє на об'єкт із масою та переміщує його, але тиск відрізняється тим, що він фактично описує зменшення або концентрацію сили.

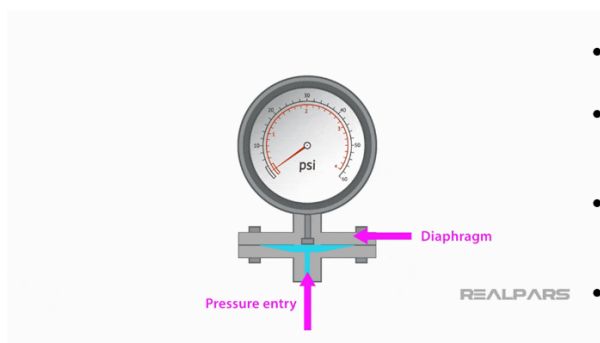
Одиницями тиску в стандартній системі є  $N/m^2$ , які частіше називають паскалями (Па). Оскільки в реальному світі це виявляється такою малою величиною, кілопаскаль (кПа) використовується набагато частіше [1].

Тиск атмосфери на поверхні Землі становить приблизно 101325 Па, або 101,3 кПа. Однак через засоби, за допомогою яких люди визначають тиск, повсякденно використовується ряд інших одиниць. Одним з них є *torr*, також відомий як міліметри ртутного стовпа (мм рт. ст.). 101,3 кПа, який також називають 1 атм для довідки, дорівнює 760 *torr* за цим стандартом. Нарешті, 1 мілібар = 0,001 атм, тому атмосферний тиск у мілібарах = 1013 мбар [1].

Манометр – це прилад, який вимірює тиск повітря за допомогою контейнера з U-подібною трубкою, відкритою з одного або обох кінців. У закритому манометрі зразок газу вводиться в один кінець, який потім закривається кришкою. Потім в інший кінець заливають рідину відомої густини. Рідина перестане рухатися, коли тиск газу, що потрапив між ковпачком і рідиною, разом із тиском у нижній частині стовпа рідини з тієї сторони збігається з тиском повітря плюс тиск стовпа рідини на відкритій стороні.

За даними сайту <https://uk.wikipedia.org/>: «...Манометри застосовуються у всіх випадках, коли необхідно знати, контролювати і регулювати тиск. Найчастіше манометри застосовують у теплоенергетиці, на хімічних, нафтохімічних підприємствах, підприємствах харчової галузі...» [2].

За призначенням манометри можна класифікувати як представлено на рис. 01.



За призначенням манометри бувають:

- для вимірювання абсолютного тиску, відлік якого ведеться від нуля (абсолютного вакууму);
- для вимірювання надлишкового тиску, тобто різниці між абсолютним і атмосферним тиском, коли абсолютний тиск більший від атмосферного;
- для вимірювання різниці двох тисків, які відмінні від атмосферного та мають назву диференціальні манометри;
- для вимірювання тиску розріджених газів — вакуумметри;
- для вимірювання атмосферного тиску — барометри.

Рисунок 0.1 – Класифікація манометрів [2]

Висота рідини на відкритій стороні буде вищою на тій стороні, коли тиск повітря менший за тиск газу, і нижчою на відкритій стороні, коли тиск повітря перевищує тиск газу. Можна використовувати цю різницю у висоті для розрахунку тиску газу.

Барометр – це тип манометра, який використовується спеціально для вимірювання атмосферного тиску. Ручний прилад, який використовується для

вимірювання артеріального тиску в медичних установах, називається сфїгмоманометром, де «sphyg» у вільному перекладі означає «стиск». Це пов'язано з тим, що манжета повинна бути надута на руці до рівня, що перевищує артеріальний тиск тіла, щоб правильно виміряти його; вони повинні буквально стиснути вашу руку, щоб це зробити.

Таким чином, манометри – зовсім невеликі прилади. Однак вони є важливою складовою системою у різних галузях. Візуальна індикація тиску в системі, що забезпечується ними, дозволяє зрозуміти, чи все працює в потрібному діапазоні або насувається проблема. Неточна робота манометра може призвести до зниження якості продукту на виході системи через порушення достовірності даних і подальше надмірне підвищення або зниження тиску в системі. У разі несправності манометра можливий викид технологічного середовища із системи, а значить, травми співробітників, пошкодження системи (на усунення яких знадобиться час та гроші), а також втрата вихідного продукту та прибутку.

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є підвищення якості процесу калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напорометрів, тягомів і тягонапорометрів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110 на основі розроблення нормативного забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі були встановлені та вирішені наступні **завдання**:

1. Дослідити сучасний стан та перспективи розвитку методів вимірювання тиску.
2. Дослідити вимоги щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напорометрів та тягомів.
3. Розробити нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

4. Розробити методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру.

**Об'єкт дослідження** – процес калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напорометрів, тягомірів і тягонапорометрів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110.

**Предмет дослідження** – нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

**Практичне значення отриманих результатів.** В роботі:

1. Розроблено нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів.

2. Розроблено методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно або за його активної участі.

**Апробація роботи.** Немає.

**Публікації.** Підготовлено тези доповіді на XI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ-2024)».

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, чотирьох розділів, переліку джерел посилань. Обсяг кваліфікаційної роботи магістра (без врахування додатків) становить 54 аркушів, у тому числі 10 рисунків, 2 таблиць, бібліографії із 31 джерела на 3 аркушах. Один додаток на 15 аркушах.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

### 1.1 Аналіз принципу дії манометрів

#### 1.1.1 Загальна характеристика приладів

Манометр, один з найперших приладів для вимірювання тиску, при правильному використанні дуже точний. Національний інститут стандартів і технології США (далі – NIST) визнає U-ламповий манометр основним стандартом завдяки притаманній йому точності та простоті експлуатації. Манометр не має рухомих частин, схильних до зносу, старіння або втоми. Манометри працюють за принципом гідростатичної рівноваги: стовп рідини відомої висоти буде чинити відомий тиск, коли відома вага одиниці об'єму рідини [3]. Фундаментальна залежність для тиску, виражена стовпом рідини, дорівнює [4]

$$p = P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot h, \quad (1.1)$$

де  $p$  – перепад тиску;

$P_1$  – тиск при з'єднанні низького тиску;

$P_2$  – тиск при з'єднанні високого тиску;

$\rho$  – густина рідини;

$g$  – прискорення сили тяжіння;

$h$  – висота стовпа рідини.

У всіх формах манометрів (U-трубки, типи свердловин і нахили) є дві поверхні рідини. Визначення тиску здійснюється за тим, як рухається рідина при прикладанні тиску до кожної поверхні. Для калібрувального тиску  $P_2$  дорівнює нулю (атмосферний еталон), що спрощує рівняння до [4]

$$p = \rho \cdot g \cdot h. \quad (1.2)$$

### 1.1.2 U-трубчасті манометри

Принципи роботи манометру найлегше продемонструвати на U-трубчастому манометрі, зображеному на рис. 1.1. Це просто скляна трубка, зігнута, щоб утворити букву U, і частково заповнена якоюсь рідиною. Коли обидві ніжки приладу відкриті для атмосфери або піддаються однаковому тиску, рідина підтримує абсолютно однаковий рівень або нульовий еталон.

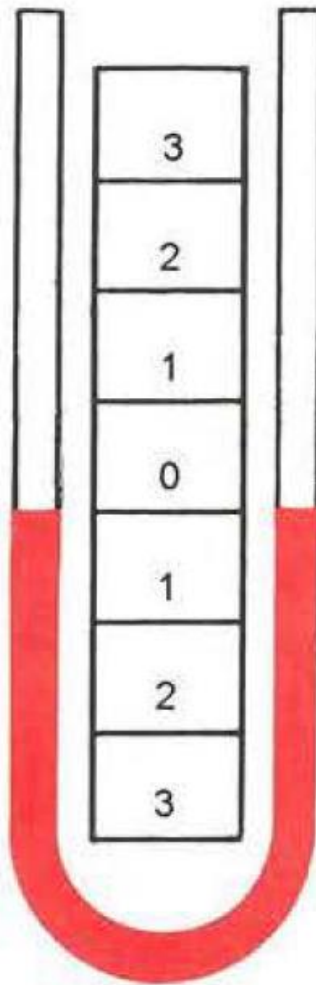


Рисунок 1.1 – U-трубчастий манометр [5]

Як показано на рис. 1.2, якщо натиснути на ліву сторону приладу, рідина відступає в лівій трубці і піднімається в правій трубці. Рідина рухається до тих пір, поки одиниця ваги рідини, як зазначено величиною «Н», точно не



врівноважить тиск. Це називається гідростатичною рівновагою. Висота рідини від однієї поверхні до іншої – це фактична висота рідини, протилежна тиску.

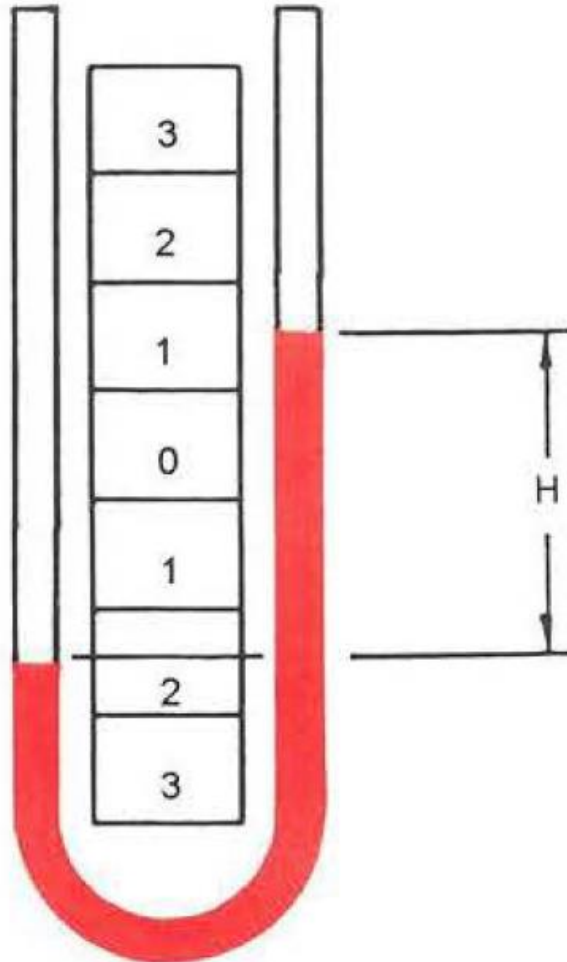


Рисунок 1.2 – U-трубчастий манометр [5]

Тиск – це завжди висота рідини від однієї поверхні до іншої, незалежно від форми або розміру трубок, як показано на рис. 1.3.

Лівий манометр має рівномірну трубку, центральний – збільшену трубку, а правий – неправильну трубку. Манометри на рис. 1.3 відкриті для атмосфери для обох трубок, тому індикативний рівень рідини в обох трубках однаковий. Накладення однакового тиску на ліву трубку кожного манометра, як показано на рис. 1.4, призводить до зміни рівня рідини в кожному манометрі. Через різницю в об'ємі трубок манометра відстані, що переміщуються стовпами

рідини, різні. Однак загальна відстань між рівнями рідини,  $H$ , залишається однакою в трьох манометрах.

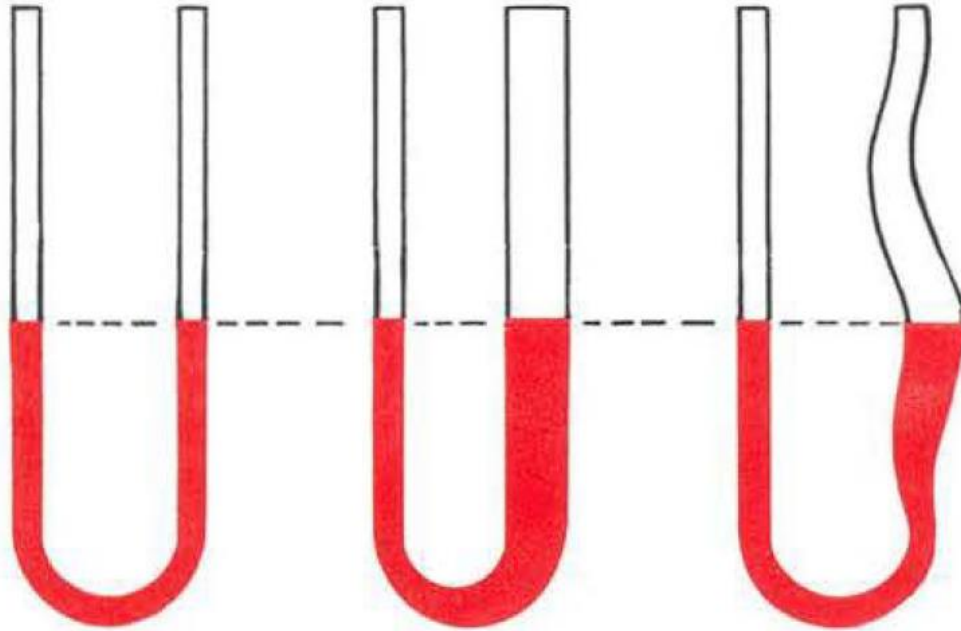


Рисунок 1.3 – U-трубчастий манометр [5]

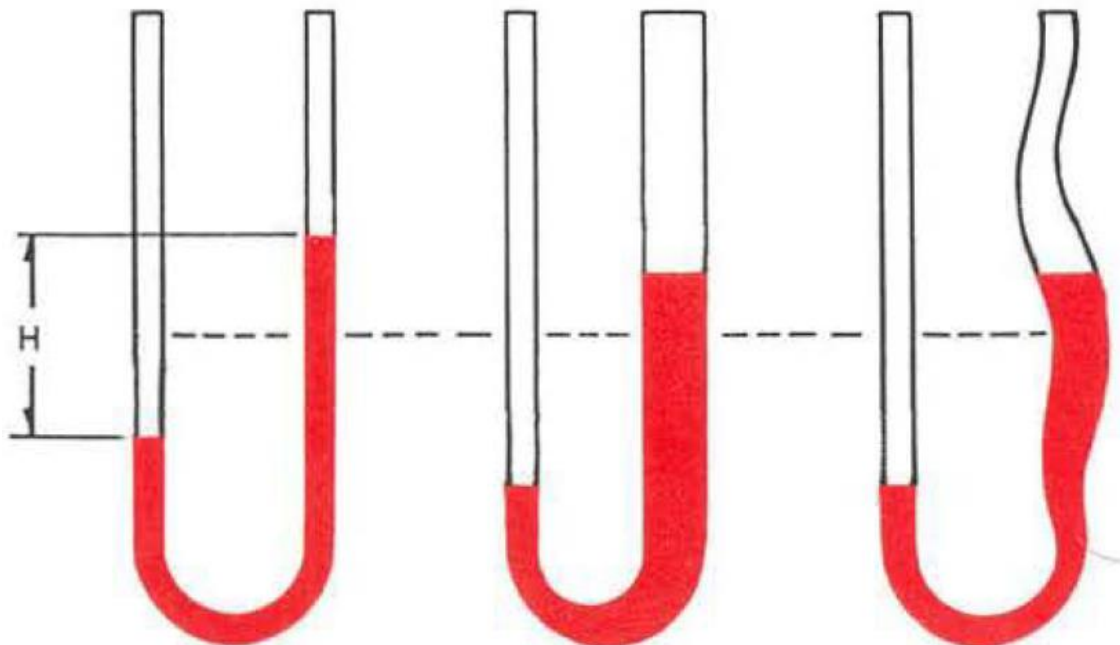


Рисунок 1.4 – U-трубчастий манометр [20]

### 1.1.3 Манометри колодязного типу

Принцип дії манометрів були розглянуті на прикладі U-трубчастого манометра. Як би там не було, манометр був влаштований в інших формах, щоб забезпечити більшу зручність і задовольнити різні вимоги до обслуговування [6]. Манометр колодязного типу є однією з таких варіацій. Як показано на рис. 1.5, площа поперечного перерізу однієї трубки манометра у багато разів більша за площу іншої трубки. Трубка більшої площі називається колодязем. Коли на більшу трубку чиниться тиск, рідина рухається вниз на незначну кількість порівняно зі збільшенням висоти маленької трубки. Така конструкція призводить до ідеального розташування, завдяки якому ви зчитуєте лише одну зручну шкалу, що примикає до однієї індикативної трубки, а не подвійну шкалу в U-трубці.

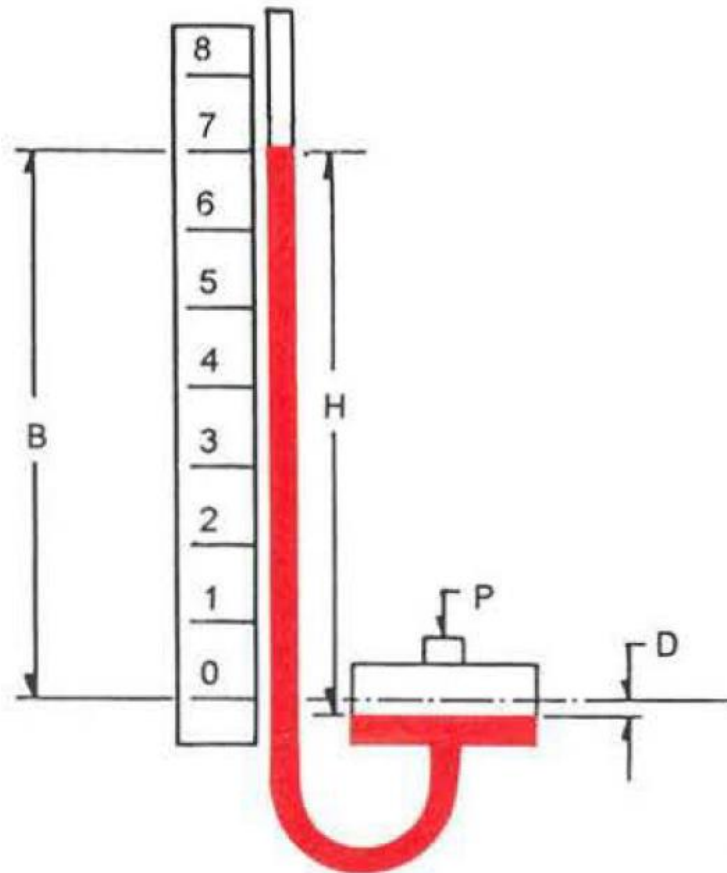


Рисунок 1.5 – Манометр колодязного типу

Істинний показник тиску відповідає заздалегідь викладеним принципам і вимірюється різницею між поверхнями рідини величина «Н». Оскільки тиск подається на величину «Р», то має відбутися деяке падіння рівня колодязя на величину «D». Це легко компенсується відстанню між градуваннями шкали в точній кількості, необхідній для корекції цього падіння колодязя. Щоб забезпечити точність цієї корекції, необхідно ретельно контролювати площу лунки та внутрішній діаметр індикативної трубки. [7]

Таким чином, манометер колодязного типу піддається використанню зі шкалами прямого зчитування, градуйованими в одиницях для технологічного процесу або тестової змінної. Це вимагає певних експлуатаційних обмежень, яких немає на U-трубці. Тиск, вищий за атмосферний, завжди подається до колодязя; Тиск, нижчий за атмосферний, завжди з'єднується з верхньою частиною трубки. Для перепаду тиску на колодязі підключається більш високий тиск. Піднятий манометр для колодязя, як би там не було, дозволяє проводити вимірювання як манометра, так і вакууму з отвору колодязя.

#### 1.1.4 Похилі манометри (тягові)

Багато застосувань вимагають точного вимірювання низького тиску, такого як тяги та дуже низькі перепади. Для кращої роботи з цими завданнями манометр розташований так, щоб індикативна трубка була нахилена, як на рисунку 1.6, що забезпечує кращу роздільну здатність. Таке розташування може дозволити 12 дюймам (304,8 мм) довжини шкали представляти 1 дюйм (25,4 мм) вертикальної висоти рідини. За допомогою поділок шкали можна прочитати тиск 0,00036 psi (одна сота дюйма води) [12].

#### 1.1.5 Абсолютні манометри

У манометрі абсолютного тиску вимірюваний тиск порівнюється з абсолютним нульовим тиском (ідеальним вакуумом) в герметичній трубці над ртутним стовпом, як показано на рисунку 1.7. Термін абсолютний нульовий тиск походить від визначення, що ідеальний вакуум – це повна відсутність будь-якого газу.

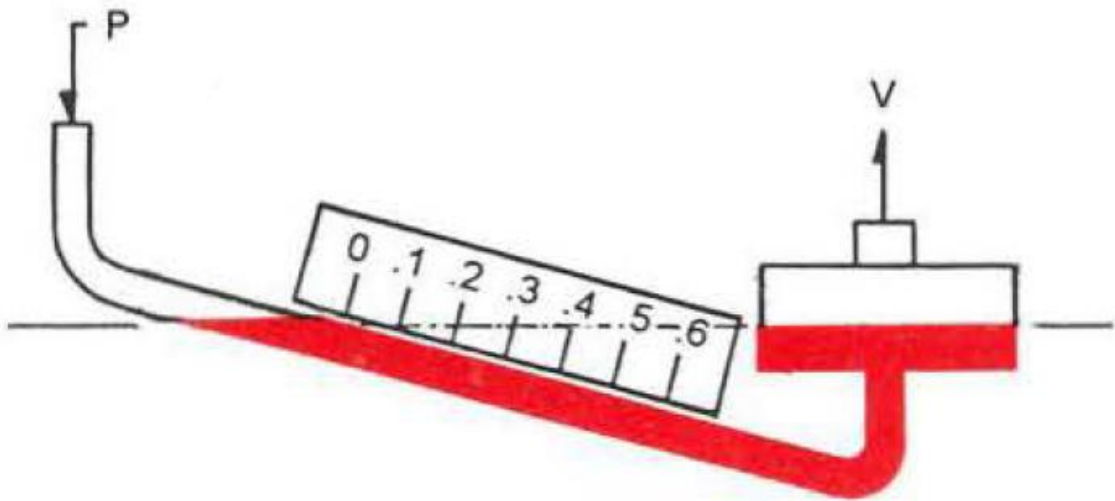


Рисунок 1.6 – Манометр похилого типу (тягові) [20]

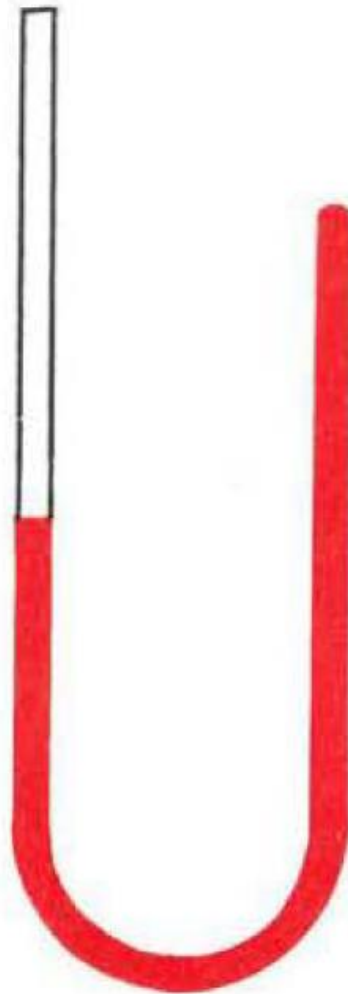


Рисунок 1.7 – Абсолютний манометр [20]

Найбільш поширеною формою герметичного трубчастого манометра є конвенційний ртутний барометр, який використовується для вимірювання атмосферного тиску. Ртуть є єдиною рідиною, яка використовується в цьому застосуванні. У цьому типі манометра є тільки одне з'єднання, за допомогою якого можна виміряти як тиск вище атмосферного, так і тиск нижче атмосферного. Абсолютні манометри випускаються в конфігураціях колодязного типу або U-трубки. [13]

## **1.2 Складові під час вимірювання тиску**

### **1.2.1 Вимірювання тиску**

Всі види зміни тиску легко вимірюються за допомогою манометра. З'єднання однієї трубки U-трубки з джерелом позитивного тиску, а інше залишення відкритим для атмосфери – це вимірювання манометричного тиску [14]. Таким чином, манометричний тиск коливається при зміні атмосферного тиску. Додавання атмосферного тиску до зазначеного манометричного тиску перетворює показання в одиниці абсолютного тиску. Якщо ж змінити нашу лінію подачі повітря на вакуумну, то єдиним ефектом є зворотний рух рідини. Він піднімався в з'єднаній трубці і опускається у відкритій трубці. Це вакуум або негативний тиск. Якщо відняти це зазначене показання манометричного тиску від атмосферного, то показання перетворюються в одиниці абсолютного тиску.

### **1.2.2 Рідина для індикації показників манометру**

Вибираючи індикативну рідину, можна змінити чутливість, дальність і точність манометра. Індикаційні рідини доступні з густиною від  $0,827 \text{ г/см}^3$  червоної олії до  $13,54 \text{ г/см}^3$  для ртуті. Для індикативної рідини, втричі важчої за воду, діапазон тиску буде втричі більшим, а роздільна здатність – на третину більшою. Індикативна рідина з густиною меншою, ніж у води, зменшує дальність і збільшує роздільну здатність (чутливість). Для даного розміру

приладу діапазон тиску можна розширити, використовуючи рідину з більшою густиною, і зменшити, використовуючи рідину з меншою густиною. Мірилом є стандарт, що вказує на рідини з властивостями, описаними в довідковій літературі [15, 16].

### 1.3 Поправки до вимірювання манометрами

#### 1.3.1 Загальна інформація

Якою б простою не була процедура вимірювання тиску, деякі аспекти часто не беруться до уваги. Манометричні вимірювання є функціями як густини, так і сили тяжіння. Значення цих двох не є постійними. Густина є функцією температури, а сила тяжіння є функцією широти і висоти. У зв'язку з цим взаємозв'язок необхідно вибирати специфічні умови навколишнього середовища як стандартні, щоб можна було підтримувати фіксоване визначення тиску.

Стандартні умови для ртуті [20]:

Густина  $13,5951 \text{ г/см}^3$ , при  $0^\circ \text{C}$  ( $32^\circ \text{F}$ )

Сила тяжіння  $980,665 \text{ см/с}^2$  ( $32,174 \text{ футів/с}^2$ ) на рівні моря і  $45,544$  градуса широти

Стандартні умови для води:

Густина  $1,000 \text{ г/см}^3$ , при  $4^\circ \text{C}$  ( $39,2^\circ \text{F}$ )

Сила тяжіння  $980,665 \text{ см/с}^2$  ( $32,174 \text{ футів/с}^2$ ) на рівні моря і  $45,544$  градуса широти

Повсюдне прийняття стандарту для води відбувається повільно. Meriam вибрала за стандарт  $4^\circ \text{C}$ . Ця температура була обрана через густину  $1,000 \text{ г/см}^3$ . Інші установи вибрали інші стандарти, наприклад, в авіації використовується  $15^\circ \text{C}$  ( $59^\circ \text{F}$ ). Американська газова асоціація використовує  $15,6^\circ \text{C}$  ( $60^\circ \text{F}$ ). Американське приладобудівне товариство (ISA) вибрало  $20^\circ \text{C}$  ( $68^\circ \text{F}$ ) як свій стандарт [20].

Визнаючи, що манометри можуть зчитуватися поза стандартною температурою та гравітацією, слід застосовувати поправки для підвищення точності показань манометра за будь-яких заданих умов.

### 1.3.2 Поправки щодо впливу густини рідини на вимірювання

Манометри показують правильний тиск тільки при одній температурі. Це пов'язано з тим, що індикативна густини рідини змінюється з температурою. Якщо індикативною рідиною є вода, дюймова шкала вказує на один дюйм води лише при температурі 4°C. За тією ж шкалою ртуть вказує на один дюйм ртутного стовпа при температурі 0 ° С. Показання з використанням води або ртуті, зняті при 20 ° С (68 ° F), не є точним показником. Введена похибка становить близько 0,4 % показань для ртуті і близько 0,2 % для води. Так як манометри використовуються при температурі вище і нижче стандартної, потрібні поправки. Простим способом корекції зміни густини є співвідношення густин [20].

$$\begin{aligned} (\text{Стандарт}) \rho_0 \cdot g \cdot h_0 &= (\text{Навколишнє середовище}) \rho_t \cdot g \cdot h_t \\ h_0 &= \frac{\rho_t}{\rho_0} \cdot h_t \end{aligned} \quad , \quad (1.3)$$

де  $h_0$  – скоригована висота індикуючої рідини до стандартної температури;

$h_t$  – висота індикативної рідини при температурі під час зняття показників;

$\rho_0$  – густина індикативної рідини при стандартній температурі;

$\rho_t$  – густина індикативної рідини при температурі під час зняття показників.

Цей метод дуже точний, коли відомі співвідношення густини і температури. Дані легко доступні для води та ртуті.

Густина (г/см<sup>3</sup>) як функція температури (°С) для ртуті дорівнює



$$13,556786 (1 - 0,0001818(T - 15,5556))$$

Густина (г/см<sup>3</sup>) як функція температури (°C) для води дорівнює

$$\begin{aligned} &0,9998395639 + 6,798299989 \times 10^{-5}(T) \\ &- 9,10602556 \times 10^{-6}(T^2) + 1,005272999 \times 10^{-7}(T^3) \\ &- 1,126713526 \times 10^{-9}(T^4) + 6,591795606 \times 10^{-12}(T^5) \end{aligned}$$

Для інших рідин шкали манометра та густина рідини можуть бути розроблені таким чином, щоб зчитувати сантиметр води або ртуті при заданій температурі. Ця температура, як правило, є температурою навколишнього середовища. Це зменшує похибку через зміну температури, оскільки більшість манометрів використовуються при температурі навколишнього середовища або близькій до неї. У деяких приладів прямі показання, близькі до розрахункової температури, досить точні. Манометр, як і раніше, показує правильні показання лише при одній температурі, і для точної роботи не можна ігнорувати поправки температури. Дані про співвідношення температури та щільності можуть бути надані для всіх рідин, що вказують на приладі.

### 1.3.3 Поправки щодо впливу гравітації на вимірювання

Необхідність в корекції сили тяжіння виникає тому, що сила тяжіння в місці розташування приладу регулює вагу стовпа рідини. Як і корекція температури, гравітаційна корекція є співвідношенням [19].

$$\begin{aligned} &(\text{Стандарт}) \rho_0 \cdot g_0 \cdot h_0 = (\text{Навколишнє середовище}) \rho_t \cdot g_t \cdot h_t \\ &h_0 = \frac{\rho_t \cdot g_t}{\rho_0 \cdot g_0} \cdot h_t \end{aligned} \quad , \quad (1.4)$$

де  $g_0$  – стандартна гравітація – 980,665 см/с<sup>2</sup> (45,54° північної широти і рівня моря);

$g_t$  – сила тяжіння в місці розташування приладів.

Зміна широти на  $10^\circ$  на рівні моря призведе до приблизно 0,1 % похибки в показаннях. На екваторі ( $0^\circ$ ) похибка становить приблизно 0,25 %. Збільшення висоти на 1 524 м призведе до похибки приблизно 0,05 %.

Значення сили тяжіння були визначені геодезичними службами країн Світу. Використовуючи ці значення, можна інтерполювати, щоб визначити значення сили тяжіння, достатнє для більшості робіт. Щоб отримати звіт про гравітацію, необхідні широта, довгота та висота над рівнем моря. Для точної роботи необхідно мати значення сили тяжіння, виміряне в місці розташування приладу.

Там, де високий ступінь точності не потрібен, а значення місцевої ваги не визначені, можна отримати розрахунки відмінностей від місцевої гравітації. Сила тяжіння на відомій широті дорівнює [20]

$$g_x = 980,616 (1 - 0,0026373 \cos 2x + 0,0000059 \cos^2 2x), \quad (1.5)$$

де  $g_x$  – значення сили тяжіння на широті  $x$ , рівень моря ( $\text{см}/\text{с}^2$ );

$x$  – широта (градуси).

Сила тяжіння на висотах над рівнем моря становить [21]

$$g_t = g_x - 0,000094 \cdot H + 0,00003408(H - H') (\text{см} / \text{с}^2), \quad (1.6)$$

де  $H$  – висота (фути) над середнім рівнем моря;

$H'$  – середня висота (фути) загальної місцевості в радіусі 100 миль від точки.

Другий доданок може бути виключений, коли  $H'$  невідомий, але точність визначення сили тяжіння зменшиться. Ступінь неточності визначається тим, наскільки  $H'$  змінюється від  $H$ . У гірській місцевості ця похибка може бути великою.

### 1.3.4 Поправки щодо впливу напору рідини на вимірювання

Зазвичай перепад тиску вимірюється висотою стовпа рідини. Власне диференціал тиску, що вимірюється індикативною висотою рідини, є різницею між густиною стовпа рідини і густиною рівної висоти середовища під тиском. Це проілюстровано на рис. 1.8. Густина останнього стовпчика визначається як корекція голови.

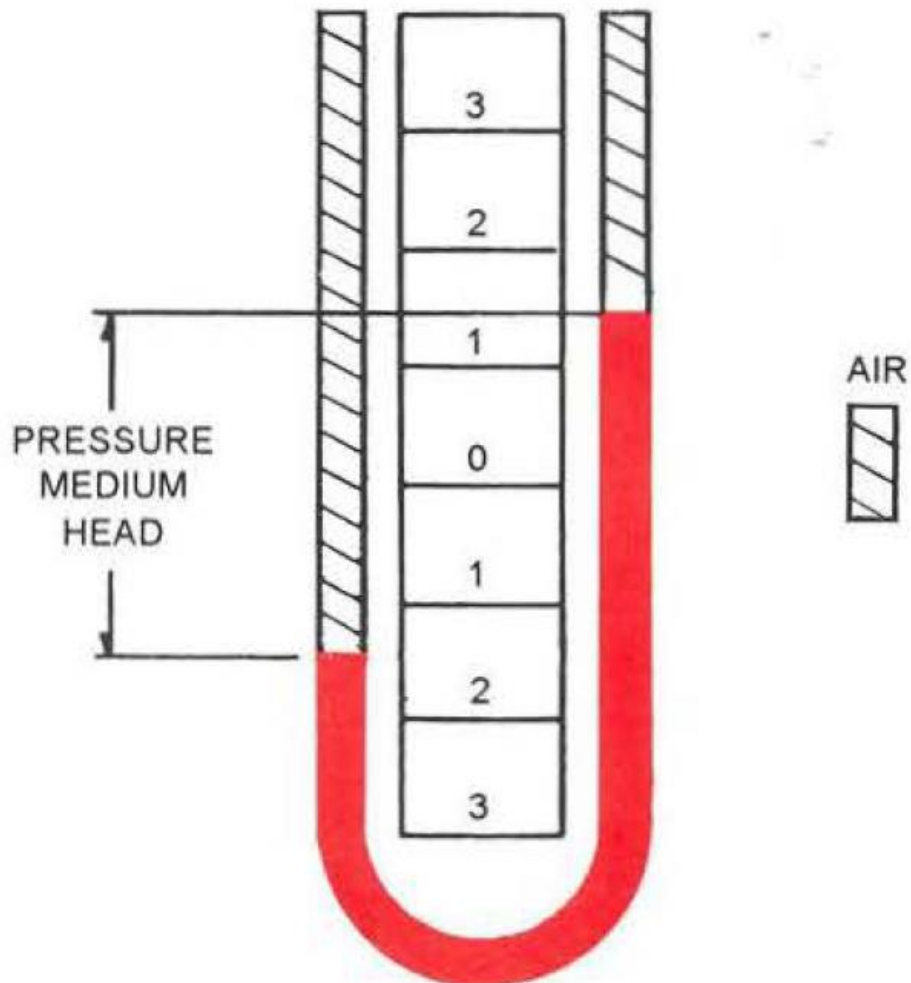


Рисунок 1.8 – Поправки щодо впливу напору рідини на вимірювання тиску [20]

Взаємозв'язок

$$\rho_0 \cdot g_0 \cdot h_0 + \rho_m \cdot g_t \cdot h_t = \rho_t \cdot g_t \cdot h_t$$

$$h_0 = \frac{(\rho_t - \rho_m) \cdot g_t}{\rho_0 \cdot g_0} \cdot h_t \quad (1.7)$$

Значення корекційного впливу напірного середовища на показання манометра залежить від показника рідини та середовища під тиском. Чи потрібна така корекція, залежить від вимог користувача до точності. Найпоширенішим середовищем під тиском є повітря. Відсутність поправки на повітря над водою дає похибку 0,12 % (використовуючи щільність повітря як 0,0012 г/см<sup>3</sup>). При точній роботі щільність повітря можна точно визначити, знаючи температуру, тиск і відносну щільність повітря. Поправка на повітря над ртуттю надзвичайно мала (похибка 0,008 %) і тому зазвичай може бути проігнорована.

Іншою комбінацією, яка часто використовується в проточних додатках, є вода над ртуттю. Корекція середовища тиску в даній ситуації є обов'язковою. Похибка в 7,4 % вноситься, якщо корекція не застосовується. У багатьох випадках шкали манометра можуть бути сконструйовані з цією вбудованою поправкою.

### 1.3.5 Поправка на застосування шкал

Як і у випадку з індикуючими рідинами, зміни температури впливають на шкалу. При більш високих температурах шкала буде розширюватися, і градації будуть знаходитися далі один від одного. Протилежний ефект виникне при більш низьких температурах. Стандартні манометри виготовляються при температурі 22 ° С (71,6 ° F). Зсув температури на десять градусів С від тієї, при якій були виготовлені прилади, викличе похибку в показаннях приблизно на 0,023 % в алюмінієвій шкалі. Ця поправка може бути проігнорована при роботі в межах  $\pm 10$  ° С від температури, при якій були виготовлені прилади [20]

$$h_0 = h_t \cdot (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (1.8)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розширення для матеріалу шкали (0,0000232/°C для алюмінію);

$T$  – температура при показаннях манометра;

$T_0$  – температура під час виготовлення шкали.

### 1.3.5 Поправка на стисливість рідини

Стисливість індикативних рідин незначна, за винятком кількох застосувань. Щоб стисливість мала ефект, манометр повинен використовуватися для вимірювання високих перепадів тиску. При великих перепадах тиску на манометрі може почати вирішуватися усадка рідини (збільшення густини). При 250 фунтах на квадратний дюйм щільність води змінюється приблизно на 0,1 %. Залежно від вимог до точності, стисливість може бути критичною, а може і не бути. Залежність між тиском і густиною для води становить [20]

$$\rho = 0,000003684 \cdot p + 0,9999898956. \quad (1.9)$$

де  $\rho$  – густина води (г / см<sup>3</sup>) при 4 ° C і тиску  $p$  ;

$p$  – тиск в psia.

Оскільки потреба в корекції виникає дуже рідко, інші показники, що вказують на стиснення рідини, не визначені. Стисливість ртуті незначна.

### 1.3.6 Поправка на абсорбовані гази

Поглинені гази – це ті гази, які знаходяться розчиненими в рідині. Тиск розчинених газів зменшує щільність рідини. Повітря – це зазвичай розчинений газ, який поглинається більшістю рідин манометра. Похибка щільності води, повністю насиченої повітрям, становить 0,00004 % при 20 °C [22]. Ефект варіативний і вимагає розгляд кожного газу, що контактує з певною рідиною. Ртуть є одним з винятків, в якому поглинені гази не зустрічаються. Це робить ртуть чудовою рідиною для манометра у вакуумі та абсолютному тиску.

Низький тиск пари запобігає втраті рідини від випаровування, а в деяких випадках запобігає забрудненню від конденсації показаної рідини в випробувальній установці. Його не можна використовувати в абсолютних одиницях, тому що він легко поглинає гази.

### 1.3.7 Поправка на капілярні ефекти

Капілярні ефекти виникають за рахунок характеристик поверхневого натягу або змочування між рідиною і скляною трубкою. В результаті поверхневого натягу або змочування більшість рідин утворюють опуклий меніск. Ртуть є єдиною індикативною рідиною, яка не змочує скло і, отже, утворює увігнутий меніск. Для отримання консистенційного результату ви завжди повинні спостерігати за рідинним меніском однаково, незалежно від того, опуклий він чи увігнутий. Щоб зменшити вплив поверхневого натягу, манометери повинні бути сконструйовані з трубами з великим отвором. Це сплющує меніск, полегшуючи читання. Трубка з великим отвором також сприяє відтоку рідини. Чим більше колодязь, тим менше затримка в часі при дренаванні. Ще одним фактором, що контролює, є накопичення корозії та бруду на поверхні рідини. Наявність стороннього матеріалу змінює форму меніска. З ртуттю це також допомагає постукувати або вібрувати трубку, щоб зменшити похибку в показаннях. Заключним моментом капілярного впливу є додавання в манометрну рідину змочувального агента. Додавання змочувального засобу допомагає в отриманні симетричного меніска. Це зменшує труднощі при проведенні показань.

### 1.3.8 Точність вимірювань

Типовий водяний манометр має точність 0,1 дюйма води, манометр з ноніусом має точність 0,01 дюйма води, тоді як манометр, оснащений мікрометром, може забезпечити точність 0,002 дюйма води [20].

## 1.4 Цифрові манометри

### 1.4.1 Загальні відомості

Що таке сантиметр води? Правильна відповідь на це питання набуває все більшого значення з вимогою кращої точності і впровадженням цифрових манометрів. Наприклад, припустимо, що ви щойно отримали свій новий цифровий манометр і вирішили перевірити його точність. Виробник заявляє про точність 0,1 % на 100 см води. Ви налаштуєте тест за допомогою дедвейт-тестера та водного манометра. Помістивши 100 см ваги води на дедвейт-тестер, ви запишете показання 99,8 см води на цифровому манометрі та 100,2 см води на манометрі. Що правильно? Відповідь на це питання стане очевидною після наступного обговорення манометрів і тестерів власної ваги та їх зв'язку з цифровими манометрами. Також відбудеться обговорення точності та роздільної здатності цифрового манометра.

Манометр вважається першочерговим еталоном, оскільки тиск, який чинить стовп рідини, можна точно визначити за допомогою вимірювання основних фізичних властивостей: висоти стовпа та щільності рідини. Для манометра, заповненого водою, рівняння тиску має вигляд [20]

$$p = \left( \frac{g_t}{g_0} \right) \cdot \frac{(\rho_w - \rho_a)}{\rho_0} \cdot h. \quad (1.10)$$

- де  $g_t$  – сила тяжіння при розташуванні приладу;  
 $g_0$  – стандартна сила тяжіння (9,80665 см/с<sup>2</sup>);  
 $\rho_a$  – густина повітря при спостережуваній температурі;  
 $\rho_w$  – густина води при спостережуваній температурі;  
 $\rho_0$  – густина води при стандартній температурі;  
 $h$  – висота водяного стовпа в мм.

Зверніть увагу, що для того, щоб визначити тиск, який вимірюється висотою водяного стовпа, потрібно знати більше, ніж висота стовпа. Необхідно знати як місцеву вагу, так і густину рідини манометра і рідини, що вимірюється, в даному випадку води і повітря. Як видно, тиск, який вказує мм води, змінюється залежно від місця розташування та температури. Для того, щоб показання були порівнянними, вони повинні бути повідомлені при однаковій температурі та силі тяжіння. Три поширені еталонні умови для водяних стовпів наведені нижче [20]:

Standard	Temperature	Gravity
Scientific	4° C (39.2° F)	9,80665
AGA	15.6° C (60° F)	9,80665
Industrial	20° C (68° F)	9,80665

Існує тільки одна загальноприйнята умова для ртутних стовпчиків: 0 ° C (32 ° F) і 9,80665 см/с<sup>2</sup>. Використання неправильної температурної прив'язки для водяних стовпів може призвести до похибки від 0,1 % до 0,2 %. Якщо не виправити ртутний стовпчик при спостережуваній температурі 68 ° F, це може призвести до похибки 0,36 %. На рис. 1.9 показані похибки на різних широтах, викликані відсутністю поправки на силу тяжіння.

#### 1.4.2 Вимірювач власної ваги

Вимірювач власної ваги є найточнішими доступними джерелами тиску. На відміну від манометрів, які вимірюють тиск, вимірювач власної ваги генерують точний тиск. Пневматичний тестер власної ваги врівноважує відому вагу на стовпі повітря з сопла відомої площі. Оскільки вагу та площу можна точно виміряти, тиск, що утворюється, можна визначити, розділивши вагу на площу. Вимірювач власної ваги вважається основним стандартом, оскільки і вага, і площа є властивостями, які можна легко і точно виміряти. Вимірювач власної ваги з точністю 0,015 % легко доступні.



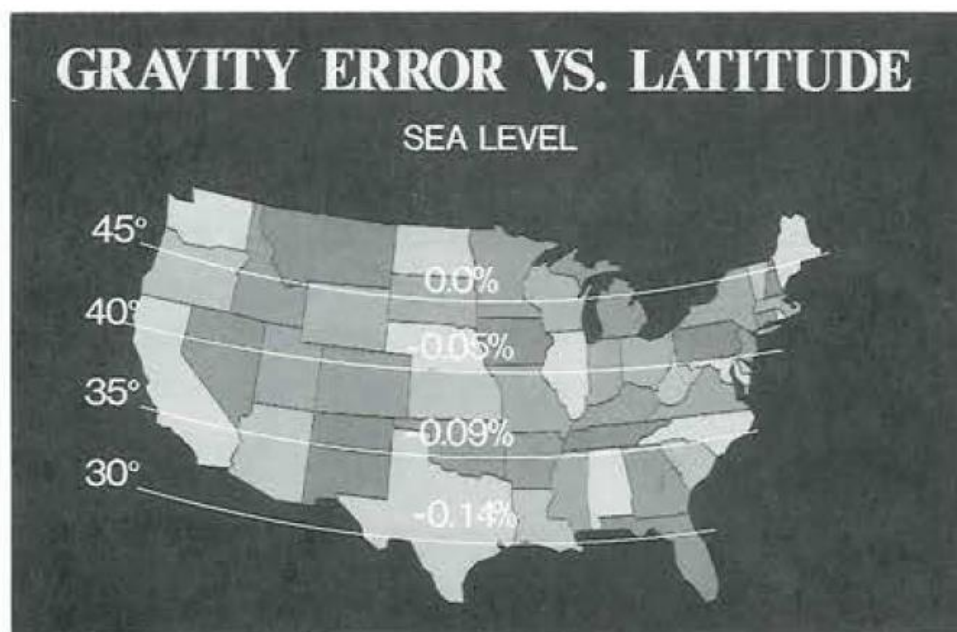


Рисунок 1.9 – Похибки на різних широтах, викликані відсутністю поправки на силу тяжіння [20]

Вимірювач власної ваги не вказують вихід тиску, необхідно бути впевненим у відсутності витоків в системі. Витік призведе до того, що тиск у випробуваному приміщенні буде нижчим, ніж зазначено вагами. Вимірювач власної ваги є точним обладнанням, і його слід ретельно обслуговувати та експлуатувати в чистому середовищі, щоб забезпечити його ефективність. Завдяки високій точності вимірювач власної ваги є рекомендованим джерелом тиску для оцінки цифрових манометрів.

#### 1.4.3 Оцінювання цифрових манометрів

Цифровий манометр є недавнім доповненням до приладів польового калібрування. Ці інструменти мають невелику вагу, приблизно 0,5 кг, і доступні з точністю від 0,2 % до 0,025 %. Їх точність розміщує їх між манометром і вимірювачем власної ваги, а їх розмір і вага роблять їх більш зручними для польового калібрування. Більшість доступних приладів мають 3,5 або 4,5 – значний дисплей з роздільною здатністю до 0,01 дюйма води. Цифрові манометри не є первинними стандартами, і їх відповідність слід періодично перевіряти на відповідність первинному стандарту. Коли цифрові

манометри відкалібровані з належним чином скоригованими первинними еталонами, вони не потребують додаткової корекції, щоб показати їх у межах заявленої точності.

Оцінка цифрового манометра починається з порівняння опублікованих виробником коефіцієнтів точності. Це не так просто, як здається, оскільки не існує стандартного формату тверджень про точність. Наприклад, один виробник може включити коефіцієнт похибки температури в рейтинг точності, вказавши точність у певному діапазоні температур, тоді як інший виробник може вказати коефіцієнт температури окремо. Щоб порівняти ці характеристики, температурну похибку потрібно було б обчислити в діапазоні робочих температур і додати до визначення точності.

Клас точності вказує на межу, яку похибки не перевищать, якщо прилад експлуатується в зазначених умовах. Оцінка точності зазвичай включає лінійність, гістерезис і мертву смугу. Якщо в специфікаціях компоненти точності вказані окремо, то їх необхідно об'єднати для визначення загального показника точності. Метод, рекомендований Товариством приладів Америки, полягає в тому, щоб взяти квадратний корінь з суми квадратів компонентів точності. Оскільки рейтинг точності вказаний за певних умов, ваші оціночні тести повинні проводитися за тих самих умов. Наприклад, якщо точність вказана на рівні 70 °F, то оціночні випробування слід проводити при цій температурі. В іншому випадку додатковий фактор похибки може вносити температурний коефіцієнт точності.

Точність може виражатися декількома різними способами. Серед них можна виділити:

- Відсоток від розмаху;
- Відсоток від повної шкали;
- Відсоток прочитання.

Найжорсткішим способом вираження точності є відсоток читання, а найпоширенішим – відсоток повної шкали. Прилад з дальністю 200 дюймів

води та рейтингом точності 0,1 % від повної шкали матиме похибку +/-0,2 дюйма від показань при будь-якому показанні. Таким чином, при 10 дюймах води похибка становитиме 0,2 дюйма води або 2% від показань. Фактичну похибку в кожній тестовій точці потрібно буде обчислити, перш ніж приступити до оцінки.

Роздільна здатність є дуже важливою характеристикою в цифрових приладах. Роздільна здатність визначається як найменший приріст, який можна розрізнити або відобразити. Між точністю і роздільною здатністю існує наступний зв'язок: роздільна здатність може перевищувати точність, але точність не може перевищувати роздільну здатність. 3-дюймовий / 2-розрядний прилад розділяє вхідний сигнал на 1999 частини. Найменший приріст, який може бути відображений, становить 1 деталь у 1999 частинках або 0,05 % від повної шкали. Це обмежило б точність цього приладу до 0,05 % від повної шкали. Хоча зменшення роздільної здатності призведе до зниження точності приладу, збільшення роздільної здатності не збільшить точність. Наприклад, 0,05 % повномасштабного приладу з 4 дюймовим розрядним дисплеєм має роздільну здатність 0,005 % від повної шкали, так як точність не змінюється, додаткова цифра, що забезпечується збільшеною роздільною здатністю, безглузда.

Після визначення меж похибки для кожної тестової точки можна приступати до оцінки приладу. Слід використовувати прилад або джерело тиску з точністю від 3 до 10 разів більшою, ніж у приладу, що оцінюється. Рекомендується вимірювач власної ваги з точністю до 0,015% показань. Якщо вимірювання проводиться в дюймах води, то повинна бути відома наступна інформація: еталонна температура, при якій вимірювач власної ваги був відкалібрований; і еталонна температура, при якій прилад був відкалібрований. Це дуже важливо, оскільки зазначена похибка між різними еталонними температурами може становити до 0,2 %. Крім того, на вимірювач власної ваги

повинні бути застосовані всі відповідні поправочні коефіцієнти, особливо сила тяжіння, і в системі не повинно бути витоків.

Мінімальна кількість рекомендованих тестових балів – два. Вони повинні бути на рівні 50 % і 100 % кожного діапазону приладу. Більш жорсткий тест включатиме чотири тестові бали, на 25 %, 50 %, 75 % і 100 % кожного діапазону. Повний десятибальний тест зазвичай не потрібен для оцінки приладу, але він надає найдетальнішу інформацію про прилад.

### **1.5 Висновок**

Таким чином, цифровий індикатор тиску є ідеальним приладом для польового калібрування передавачів і самописців. Він легкий, точний і простий у використанні. Підбір прийняттого приладу можна спростити з розумінням специфікацій точності. Оцінка точності приладу вимагає глибоких знань основного стандарту, що використовується, і необхідних поправочних коефіцієнтів.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ ЩОДО МЕТОДИКИ ПОВІРКИ (КАЛІБРУВАННЯ) МАНОМЕТРІВ, МАНОВАКУУММЕТРІВ, ВАКУУММЕТРІВ, НАПОРОМІРІВ ТА ТЯГОМІРІВ

#### **2.1 Дослідження вимог нормативних документів щодо методики повірки (калібрування) манометрів, мановакуумметрів, вакуумметрів, напоромірів та тягомірів**

В роботі розглядається процес калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напоромірів, тягомірів і тягонапоромірів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110, з верхніми межами вимірювань від мінус 100 кПа до 60 МПа, класів точності 0,6; 1,0; 1,5 (1,6), 2,5 і 4,0, призначені для вимірювань надлишково тиску і розрідження рідини і газу.

Відповідно встановлено, що для розроблення методики калібрування необхідно врахувати вимоги наступних нормативних документів:

ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення [8]

ДСТУ 3711-98 Засоби вимірювань тиску. Терміни та визначення [9]

ДСТУ 3989-2000 Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів [10]

ДСТУ 4007-2001 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань надлишкового тиску в діапазоні від мінус 100 кПа до 250 МПа [23]

ДСТУ 4028-2001 Манометри та калібратори надлишкового тиску поршневі. Загальні технічні вимоги [24]

ДСТУ 7224:2011 Метрологія. Манометри, мановакуумметри, вакуумметри, напороміри, тягонапороміри, тягоміри з пневматичними вихідними сигналами. Методика повірки (калібрування) [25]

ДСТУ ГОСТ 8.395:2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормальні умови вимірювань при повірці. Загальні вимоги [26]

EA-4/02 Expression of the uncertainty of measurement in Calibration (Вираження невизначеності вимірювань при калібруванні) [27]

РМУ 13-064-2008 Метрологія. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники [28]

ДСТУ EN 837-1:2004 Манометри. Частина 1. Манометри з трубкою Бурдона. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-1:1996, IDT) [29]

ДСТУ EN 837-3:2004 Манометри. Частина 3. Манометри з мембраною та мембранною коробкою. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-3:1996, IDT) [30]

ДСТУ OIML R 110:2013 Метрологія. Манометри вантажопоршневі (OIML R 110:1994, IDT) [31]

## **2.2 Аналіз сфери застосування ДСТУ 7224**

Відповідно до сфери застосування ДСТУ 7224 [25]:

«...Цей стандарт поширюється на манометри, мановакуумметри, вакуумметри, напороміри, тягонапороміри, тягоміри, давачі тиску та манометри абсолютного тиску з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом (далі – прилади) з верхніми границями вимірювань від мінус 100 кПа до 250 МПа та границями допустимої основної зведеної похибки від  $\pm 0,2\%$  і більше, призначеними для вимірювань надлишкового та абсолютного тиску, тиску розрідженого газу, різниці тисків газу, рідин чи пари й встановлює методику первинної та періодичної повірки (калібрування) приладів (далі – повірка).

Методи та засоби, що вказані в цьому стандарті, можуть бути застосовані під час проведення метрологічного атестування приладів...».

### **2.3 Аналіз сфери застосування ДСТУ 4007**

Відповідно до сфери застосування ДСТУ 4007 [23]:

«...Цей стандарт поширюється на державну повірочну схему для засобів вимірювань надлишкового тиску в діапазоні від мінус 100 кПа до 250 МПа (додаток А) і встановлює призначення державного первинного еталона одиниці тиску для надлишкового тиску – Паскаля (Па), комплекс основних засобів вимірювальної техніки, що входять до його складу, основні метрологічні характеристики еталона і порядок передачі розміру одиниці тиску від державного еталона за допомогою вторинних і робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки з позначенням похибок і основних методів повірки...».

### **2.4 Аналіз сфери застосування ДСТУ EN 837-1**

Відповідно до сфери застосування ДСТУ EN 837-1 [29]:

«...Цей стандарт установлює вимоги до показувальників манометрів, вакуумметрів і мановакуумметрів (складні манометри] із Трубкою Бурдона (познака В, див. розділ 12) із круговою, спіральною чи кільцевою формами чутливого елемента; з номінальними розмірами від 40 мм до 250 мм і діапазонами вимірювання до 1 600 бар.

Вважаємо, що 0 бар – це атмосферний тиск. 1 бар = 105 Па. Манометри мають круглі циферблати з концентричними шкалами для промислового використання і випробовування.

Стандарт містить методи випробовування технічних характеристик, необхідних для затвердження типу промислових зразків.

Стандарт поширюється на манометри промислової призначеності, що працюють із загальнопромисловими робочим середовищами. Він поширюється також на рідинні манометри, вимірювачі газів високого тиску і манометри, що працюють із киснем. Стандарт не поширюється на манометри з електричними контактами.

Цей стандарт не містить вимог до манометрів для апаратів зварювання, різання та пов'язаних з цим процесів. Вимоги до них описано в БН 562...».

## **2.5 Аналіз сфери застосування ДСТУ EN 837-3**

Відповідно до сфери застосування ДСТУ EN 837-3 [10]:

«...Цей стандарт установлює вимоги до показувальних манометрів, вакуумметрів і мановакуумметрів (складні манометри) з мембраною та мембранною коробкою (позначені В і С, див. розділ 12) з номінальними розмірами від 50 мм до 250 мм і діапазонами вимірювання до 25 бар.

Вважаємо, що 0 бар – це атмосферний тиск, 1 бар = 105 Па.

Манометри мають круглі циферблати з концентричними шкалами для промислового використання.

Стандарт містить методи випробовування у робочих умовах, необхідних для затвердження типу та виробництва промислових зразків.

Стандарт поширюється на манометри промислового використання, що працюють зі звичайними робочими середовищами. Стандарт не поширюється на манометри з електричними контактами, що працюють з киснем чи ацетиленом.

У цьому стандарті немає вимог до манометрів для апаратів зварювання, різання та аналогічних процесів. Вимоги до них описано в ЕМ 562...»

## **2.6 Аналіз сфери застосування ДСТУ OIML R 110**

Відповідно до сфери застосування ДСТУ OIML R 110 [31]:

«...Цей стандарт поширюється на вантажопоршневі манометри з простим поршнем та манометри з простим поршнем у циліндрі з протитиском, які безпосередньо навантажують і використовують для вимірювання надлишкового тиску в діапазоні від 0,1 МПа до 500 МПа. У стандарті встановлено метрологічні й технічні вимоги до цих засобів виміральної техніки (далі – ЗВТ), методи їхнього випробовування, а також форми звіту про



випробування. Цей стандарт також поширюється на вантажі, які використовують із вантажопоршневими манометрами, а також цей стандарт застосовують під час калібрування вантажопоршневих манометрів у випадках, коли є потреба у високій точності.

Цей стандарт не поширюється на вантажопоршневі манометри з гідравлічним мультиплікатором, вантажопоршневі манометри індикаторного типу, вантажопоршневі манометри з поршнем, що навантажується з використанням опорної штанги, автоматичні задавачі тиску та вантажопоршневі манометри з електромагнітним зрівноважуванням. Цей стандарт також не поширюється на прилади, які вимірюють абсолютний тиск...».

## **2.7 Висновок**

Проведено дослідження вимог міжнародних та національних нормативних документів щодо проектування, організації та проведення процесу калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напорометрів, тягомірів і тягонапорометрів, які відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110, з верхніми межами вимірювань від мінус 100 кПа до 60 МПа, класів точності 0,6; 1,0; 1,5 (1,6), 2,5 і 4,0, призначені для вимірювань надлишково тиску і розрідження рідини і газу.

## РОЗДІЛ 3

### НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУРИ КАЛІБРУВАННЯ МАНОМЕТРІВ ТА ВАКУУММЕТРІВ

#### 3.1 Сфера застосування

Ця методика калібрування (далі за текстом – методика) поширюється на показуючі та сигналізуючі манометри, вакуумметри, мановакуумметри, напоромери, тягоміри і тягонапороміри (далі – прилади), що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110, з верхніми межами вимірювань від мінус 100 кПа до 60 МПа, класів точності 0,6; 1,0; 1,5 (1,6), 2,5 і 4,0, призначені для вимірювань надлишково тиску і розрідження рідини і газу.

У разі використання цієї методики для калібрування аналогічних ЗВТ, на які не розповсюджується зазначені НД, потрібно провести оцінювання придатності цієї методики згідно Пр20.

У разі використання цієї методики для калібрування ЗВТ за особливими вимогами замовника (в окремих точках діапазону, в спеціальних умовах експлуатації тощо) також потрібно провести додаткове оцінювання придатності цієї методики згідно Пр20.

#### 3.2 Скорочення та позначення

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;

НД – нормативна документація

ЕД – експлуатаційна документація

М – методика системи управління якістю метрологічних підрозділів

#### 3.3 Нормативні посилання

ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT).

ДСТУ 4007 – 2001 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань надлишкового тиску в діапазоні від мінус 100 кПа до 250 МПа.

ДСТУ ГОСТ 8.187:2009 ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений разности давлений до  $4 \cdot 10^4$  Па.

ДСТУ EN 837-1:2004 Манометри. Частина 1. Манометри з трубкою Бурдона. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-1:1996, IDT)

ДСТУ EN 837-3:2004 Манометри. Частина 3. Манометри з мембраною та мембранною коробкою. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-3:1996, IDT)

ДСТУ OIML R 110:2013 Метрологія. Манометри вантажопоршневі (OIML R 110:1994, IDT)

МИ 2124 – 90 Рекомендация .ГСИ. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Методика поверки

МПУ 003/04 – 2003 Рекомендация. Метрология. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Методика поверки

Пр22-2016 Калібрування засобів вимірювальної техніки.

Пр20-2016 Оцінювання придатності методик.

### **3.4 Вимоги безпеки**

При проведенні калібрування приладів потрібно дотримуватися вимог безпеки, встановлених в ЕД на прилади та в ЕД на еталонне і допоміжне обладнання.

При проведенні калібрування приладу також потрібно дотримуватися вимог безпеки, встановлених в інструкції з охорони праці на робочому місці.

При проведенні калібрування приладу у замовника додатково потрібно додержуватися вимог безпеки, встановлених замовником.

До проведення калібрування приладу допускаються особи, які пройшли інструктаж щодо питань охорони праці у встановленому на підприємстві порядку.

### 3.5 Вимоги до персоналу

До проведення калібрування допускаються атестовані працівники, що пройшли навчання щодо вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025, мають практичний досвід в розрахунку невизначеностей і забезпеченні простежуваності при калібруванні та освоїли дану методику.

### 3.6 Умови проведення калібрування

Калібрування проводиться за умов:

- температура навколишнього середовища ( $293 \pm 2$ ) К ( $(20 \pm 2)$  °С);
- відносна вологість навколишнього повітря від 20% до 80 %;
- атмосферний тиск від 90 кПа до 105 кПа;

При калібруванні також необхідно дотримуватися умов, встановлених в п. 4 МПУ 003/04.

### 3.7 Засоби калібрування

Для проведення калібрування приладів використовується обладнання, вказане у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Назва засобу калібрування	Основні технічні характеристики	Номер пункту методики
Гігрометр психрометричний ВІТ-1 ТУ У 14307481.001-92	Діапазон вимірювання відносної вологості від 20 % до 90 %, абсолютна похибка $\Delta = \pm 6$ %. Діапазон вимірювання температури від 0 °С до 25 °С, ціна поділки 0,2 °С	6.1
Барометр-анероїд М67 ТУ 25-04-1797-75	Діапазон вимірювання атмосферного тиску від 81 кПа до 108 кПа, абсолютна похибка $\Delta = \pm 0,11$ кПа	6.1

Назва засобу калібрування	Основні технічні характеристики	Номер пункту методики
Манометр поршневий МП-60М, еталон 1 розряду ТУ 50.418-84	Діапазон вимірювання від 0,1 до 6,0 МПа; Клас точності 0,05	8.5
Манометр поршневий МП-600М, еталон 1 розряду ДСТУ 4028-2001	Діапазон вимірювання від 0,1 до 60,0 МПа; Клас точності 0,05	8.5
Мановакуумметр поршневий МВП-2,5 ТУ4212-005-48318935-99	Діапазон вимірювання від мінус 0,1 до 0,25 МПа; Клас точності 0,05	8.5
Мікроманометр рідинний МКВ-250 ГОСТ 11161-84	Діапазон вимірювання від мінус 2 до 2,5 кПа; Клас точності 0,02.	8.5
Секундомір СОПр-2а-2-010 ТУ 25-1894.003-90	Діапазон вимірювання часу від 0 с до 60 с, ціна поділки 0,2 с, від 0 хв до 30 хв, із ціною поділки 1 хв	8.5
Термометр ртутний скляний ТЛ-4 – робочий еталон 3 розряду ТУ 25-2021.003-88	Діапазон вимірювання температури від 0 °С до 55 °С; абсолютна похибка $\pm 0,1$ °С	8.5
Спеціальний сигнальний пристрій	-	8.5
Газорідинна (повітря - масло) розділова камера	Діапазон вимірювання робочого тиску до 1,6 МПа	8.5
Рідинна (вода - масло) розділова камера	Діапазон вимірювання робочого тиску до 60 МПа	8.5
Вакуумний насос	Граничний залишковий тиск 1 Па	8.5

Допускається застосування інших засобів калібрування, метрологічні характеристики яких відповідають вимогам цієї методики. У разі, якщо застосовуються інші еталони, необхідно прийняти рішення щодо необхідності додаткового оцінювання придатності методики.

Еталони, що застосовуються для калібрування, повинні бути відкалібровані. Допускається використовувати еталони, які пройшли перевірку. У цьому випадку відповідну складову невизначеності калібрування потрібно оцінювати за типом В згідно Пр22 на основі встановленої похибки еталону з посиланням на ДСТУ 4007 для встановлення простежуваності.

Допоміжне обладнання (засоби вимірювальної техніки тощо), яке використовується для проведення калібрування та не вносить суттєвого

вкладу в оцінку невизначеності, має бути оцінене (відкаліброване, повірене чи атестоване) із задокументованим результатом.

### **3.8 Операції калібрування**

#### **3.8.1 Підготовка до калібрування**

Необхідно ознайомитися з ЕД на прилади та вимогами замовника (при наявності).

У разі наявності вимог замовника, відмінних від вказаних в методиці, необхідно провести оцінювання методики.

До початку калібрування, прилад має бути витриманий в приміщенні, в якому буде проводитись калібрування, не менше ніж 4 години.

Засоби калібрування мають бути підготовлені до роботи відповідно до вимог ЕД на них та п. 4 МПУ 003/04.

#### **3.8.2 Зовнішній огляд**

При зовнішньому огляді прилад має відповідати вимогам ЕД та п. 5.2 МПУ 003/04.

Маркування приладів має відповідати вимогам п. 1.4, 1.6. ГОСТ 2405.

Результат зовнішнього огляду вважається позитивним у разі, якщо прилад відповідає вимогам 3.8.1 та 3.8.2 з урахуванням вимог замовника.

#### **3.8.3 Перевірка функціонування**

Перевірка функціонування приладу проводиться згідно вимогам ЕД та п. 5.4 МПУ 003/04.

Результат перевірки функціонування вважається позитивним у разі, якщо прилад відповідає вимогам 8.3.1 з урахуванням вимог замовника.

#### **3.8.4 Перевірка герметичності**

Перевірка герметичності приладу проводиться згідно вимогам ЕД та п. 5.5 МПУ 003/04.

Результат перевірки герметичності вважається позитивним у разі, якщо прилад відповідає вимогам 8.4.1 з урахуванням вимог замовника, у разі встановлення невідповідності вимогам 8.4.1 з урахуванням вимог замовника.

### 3.8.5 Визначення метрологічних характеристик

Визначення метрологічних характеристик приладу здійснюється відповідно до вимог п. 5.6 МПУ 003/04 з урахуванням вимог замовника.

Примітка: У разі проведення одноразових вимірювань згідно МПУ 003/04 , потрібно прописати процедуру багаторазових вимірювань з метою встановлення значення невизначеності по типу А.

### 3.9 Встановлення простежуваності

Простежуваність вимірювань при калібрування приладу встановлюється згідно вимог Пр22 згідно порядку, наведеному у Додатку В.

### 3.10 Оформлення результатів калібрування

Результати калібрування манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напоромірів, тягомірів та тягонапоромірів показуючих (приладів) оформляються протоколом за формою Додатку Г.

При позитивних результатах калібрування оформляється свідоцтво про калібрування за формою Додатку Д.

### 3.11 Періодичність калібрування

Рекомендований міжкалібрувальний інтервал манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напоромірів, тягомірів та тягонапоромірів показуючих (приладів) становить 1 рік.

Примітка: Власник приладів несе особисту відповідальність за своєчасне надання ЗВТ на калібрування, враховуючи результати попередніх калібрувань, інтенсивність і умови експлуатації ЗВТ, стабільність його показів та ступінь ризику від використання недостовірних результатів вимірювань.

### 3.12 Література

Документи, необхідні для проведення калібрування:

- ця методика;

– настанови з експлуатації манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напоромірів, тягомірів та тягонапоромірів показуючих (приладів), що калібруються;

- настанови з експлуатації еталонного та допоміжного обладнання;
- свідоцтва про калібрування еталонів;
- інструкція з охорони праці.

Інші НД та довідкові матеріали:

1 ДСТУ 3989-2000 Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів.

2 ДСТУ ГОСТ 8.395:2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормальні умови вимірювань при повірці. Загальні вимоги.

3 EA-4/02 Expression of the uncertainty of measurement in Calibration (Вираження невизначеності вимірювань при калібруванні).

4 РМУ 13-064-2008 Метрологія. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники.

### **3.13 Висновок**

Розроблено методику калібрування показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів, мановакуумметрів, напоромірів, тягомірів і тягонапоромірів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110.



## РОЗДІЛ 4

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ КАЛІБРУВАННІ МАНОМЕТРУ

#### 4.1 Вхідні данні

Калібрування манометру ДМ 02, класу точності 1,5 та верхня границя вимірювання 1 МПа.

#### 4.2 Побудова модельного рівняння

Для побудови модельного рівняння необхідно ідентифікувати основні (істотні) джерела невизначеності вимірювання величини  $P_i$ . В даному випадку такими є:

- невизначеність (границі допустимої похибки або клас точності) еталонного ЗВТ (МП-60М);
- неточність зчитування показів оператором;
- вплив випадкових причин;
- неточність, обумовлена відхиленням температури;
- неточність, обумовлена герметичністю приладу;
- неточність, обумовлена варіацією показів приладу.

З врахуванням цих джерел модельне рівняння набуде вигляду:

$$P_i = P_e + \Delta_e + \Delta_o + \Delta_d + \Delta_m + \Delta_z + \Delta_g \quad (4.1)$$

де вхідні величини:

$P_e$  – тиск, показаний еталоном;

$\Delta_e$  – складова, обумовлена невизначеністю в момент останнього калібрування еталона або його класом точності;

$\Delta_o$  – складова, обумовлена похибкою зчитування показів оператором;

$\Delta_d$  – складова, обумовлена дією випадкових факторів;

$\Delta_m$  – складова, обумовлена відхиленням температури;

$\Delta_z$  – складова, обумовлена негерметичністю приладу;

$\Delta_g$  – складова, обумовлена варіацією показів приладу.

### 4.3 Оцінювання стандартної невизначеності вхідних величин

Для оцінки невизначеності вимірювання по типу А проведемо розрахунки в результаті яких виключимо з результату вимірювання грубі похибки та промахи, для цього проведемо 3 вимірювання тиску величиною 0,6 МПа, що заданий еталоном:

Результати вимірювання 0,60 МПа, 0,58 МПа та 0,59 МПа при збільшенні тиску та 0,61 МПа, 0,59 МПа та 0,60 МПа при зменшенні тиску.

Середнє арифметичне результату вимірювань:

$$\bar{P} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 P_i. \quad (4.2)$$

$$\bar{P} = 0,59 \text{ (Мпа)}.$$

Розрахуємо експериментальне стандартне відхилення результату вимірювання (середньоарифметичного) по типу А

$$u_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (P_i - \bar{P})^2}{n(n-1)}}. \quad (4.3)$$

$$u_a = 0,006 \text{ (МПа)}.$$

Оцінимо складові сумарної стандартної невизначеності по типу В:

– невизначеність, обумовлена класом точності еталона

$$u_e = \frac{P_{e\max} \cdot \delta}{\bar{P} \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}. \quad (4.4)$$

$$u_e = 0,003 \text{ (МПа)}.$$

де  $P_{e\max}$  – верхня межа вимірювання еталону;

$\delta$  – клас точності еталону.

– невизначеність, обумовлена впливом температури. При відхиленні температури від номальної на  $\Delta t = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , відповідна складова невизначеності дорівнює:

$$u_t = \frac{\delta_t \cdot \Delta t}{\sqrt{3}}. \quad (4.5)$$

$$u_t = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot 1,0}{100 \cdot 10 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{3}} = 0,001 \text{ (МПа)}.$$

де  $\delta t = \pm 0,5 \%$  на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  від верхньої межі вимірювання – додаткова похибка манометру внаслідок відхилення температури від нормальної.

– невизначеність, обумовлена негерметичністю приладу.

Згідно п. 5.5 МПУ 003/4 допускається негерметичність, що не перевищує  $\delta g = 1 \%$  від значення тиску впродовж  $t_g = 10$  хвилин. За час вимірювання одного значення тиску  $t=1$  хвилину відповідна складова невизначеності дорівнюватиме:

$$u_g = \frac{\delta_g \cdot t \cdot \bar{P}}{100 \cdot t_g \cdot \sqrt{3}}. \quad (4.6)$$

$$u_g = 0,0003 \text{ (МПа)}.$$

– невизначеність, обумовлена варіацією показів приладу визначаємо наступник чином. Спочатку вираховуємо значення варіації показів  $v$  за формулою:

$$v = \left| \bar{P}_{up} - \bar{P}_{dn} \right| \quad (4.7)$$

$$v = 0,59 - 0,60 = 0,01 \text{ МПа},$$

де  $\bar{P}_{up}$  – середнє значення тиску при його збільшенні;

$\bar{P}_{dn}$  – середнє значення тиску при його зменшенні.

Невизначеність, обумовлена варіацією показів приладу становить:

$$u_v = \frac{v}{\sqrt{12}}. \quad (4.8)$$

$$u_v = 0,003 \text{ (МПа)}.$$

Таблиця 4.1 – Бюджет невизначеності

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини, МПа	Стандартна невизначеність, МПа	Розподіл	Коефіцієнт чутливості	Внесок у невизначеність, МПа
$L_o$	0,60	0,006	Нормальний	1,0	0,006
$u_e$	0,00	0,003	Рівномірний	1,0	0,003
$u_t$	0,00	0,001	Рівномірний	1,0	0,001
$u_g$	0,00	0,0003	Рівномірний	1,0	0,0003
$u_v$	0,00	0,003	Рівномірний	1,0	0,003
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини, МПа	Стандартна сумарна невизначеність, МПа	Рівень довіри	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, МПа
$\bar{P}$	0,59	0,007	$p = 0,95$	2,0	0,014

Аналіз бюджету невизначеності показує, що відсутня невизначеність визначальна за розміром, тому приймаємо закон розподілу сумарної невизначеності нормальним. Відповідно  $k = 2$  при  $p = 0,95$

#### 4.4 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності

Сумарну стандартну невизначеність вихідної величини розраховуємо за формулою

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_e^2 + u_t^2 + u_v^2 + u_g^2}, \quad (4.9)$$

$$u_c = 0,007 \text{ (МПа)}.$$

#### 4.5 Оцінювання розширеної невизначеності

Розширену невизначеність для  $p = 0,95$  оцінимо за формулою:

$$U = k \cdot u_c, \quad (4.10)$$

$$U = 2,0 \cdot 0,007 = 0,014 \text{ (МПа)}.$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення при  $p = 0,95$ .

#### 4.6 Визначення похибки вимірювань

Результат калібрування манометра ДМ 02

$(0,59 \pm 0,014)$  МПа при  $p = 0,95$  при  $k=2$

Похибка: 0,01 МПа

#### 4.7 Висновок

Розроблено методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні показуючих та сигналізуючих манометрів, вакуумметрів,

мановакуумметрів, напорометрів, тягомірів і тягонапорометрів, що відповідають вимогам ДСТУ EN 837-1, ДСТУ EN 837-3 та ДСТУ OIML R 110.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень сучасного стану та перспектив розвитку методів вимірювання тиску було встановлено, що:

1. Значення контрольно-вимірювальних приладів на підприємстві дуже високе, найбільш часто використовуються манометри. Манометр - це прилад, призначений для вимірювання тиску рідини або газу. Тому його використовують практично повсюдно, в промисловому виробництві, машинобудівних підприємствах, житлово-комунальному господарстві, на будівельних майданчиках, в медичних установах і навіть в транспортних засобах.

2. Чим точніше манометр, тим краще він визначає потрібний тиск, для цього існують різні види приладів. Вони відрізняються один від одного за класом точності, кожна модель має технічні характеристики у вигляді цифр, чим менше цифра, тим точніше буде результат. Залежно від конструкції розрізняють також деформаційні, дедвейтні поршневі і рідинні манометри. Від установки манометрів залежить подальша експлуатація іншого обладнання, наприклад, перед установкою запірної арматури на трубопровід спочатку необхідно виміряти показники робочого середовища.

3. Встановлено, що найчастіше використовується манометр загального призначення. Дуже важливо, незалежно від сфери застосування та інших факторів, при виборі манометра враховувати рівень якості та технічні характеристики. На виробництві повинні встановлюватися моделі з широким діапазоном вимірювань, зразковою відмовостійкістю і мінімальними похибками показників. З точки зору конструкції, вимірювальний прилад повинен бути компактним, а його корпус - дуже міцним.

4. Неточна робота манометра може призвести до зниження якості продукту на виході системи через порушення достовірності даних і подальше надмірне підвищення або зниження тиску в системі. У разі несправності манометра можливий викид технологічного середовища із системи, а значить,

травми співробітників, пошкодження системи (на усунення яких знадобиться час та гроші), а також втрата вихідного продукту та прибутку.

5. В роботі розроблено нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів. Проект нормативного документу представлено в додатку А.

6. Для забезпечення впровадження нормативне забезпечення процедури калібрування манометрів та вакуумметрів розроблено методику розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні манометру.



**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Манометр // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 120-121.
2. [Електронний ресурс] : — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>
3. Massey, B.S. 1989. Mechanics of Fluids, 6th Ed., London: Van Nostrand Reinhold.
4. Meriam Instrument. 1997. Using Manometers to Precisely Measure Pressure, Flow and Level, Cleveland: Meriam Instrument.
5. Meriam, J.B. 1938. The Manometer and Its Uses. 2nd Ed., Cleveland: Meriam Instrument.
6. Omega Engineering. 1999. Transactions in Measurement and Control: Force-Related Measurements, 2nd Ed. Stamford, CT: Putnam Publishing and Omega Press.
7. Yeager, John, and Hrusch-Tupta, M.A., Eds. 1998. Low Level Measurements. 5th Ed. Cleveland: Keithley Instruments.
8. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення
9. ДСТУ 3711-98 Засоби вимірювань тиску. Терміни та визначення
10. ДСТУ 3989-2000 Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів.
11. [Електронний ресурс] : — Режим доступу: <https://www.enotes.com/homework-help/how-does-manometer-work-what-its-purpose-how-can-531462>
12. [Електронний ресурс] : — Режим доступу: <https://sciencing.com/do-manometers-work-5187684.html>

13. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/106548-using-au-tube-manometer-for-measuring-fluid-and-gas-pressures/>
14. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Manometer/Manometer.html>
15. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://www.meriam.com/assets/eng/050-MHB-1.pdf>
16. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://sciencestruck.com/manometer-working-principle-types-applications>
17. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://www.dwyer-inst.com/DC/HVACCatalog/>
18. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://www.validyne.com/blog/simplicity-accuracy-nothing-beats-pressure-manometer/>
19. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://sciencing.com/inclined-manometer-advantages-8761430.html>
20. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN1573.pdf?&srch=1>
21. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://www.surecontrols.com/how-low-pressure-transducers-work/>
22. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://www.fierceelectronics.com/components/manometer-basics>
23. ДСТУ 4007-2001 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань надлишкового тиску в діапазоні від мінус 100 кПа до 250 МПа
24. ДСТУ 4028-2001 Манометри та калібратори надлишкового тиску поршневі. Загальні технічні вимоги
25. ДСТУ 7224:2011 Метрологія. Манометри, мановакуумметри, вакуумметри, напороміри, тягонапороміри, тягоміри з пневматичними вихідними сигналами. Методика повірки (калібрування)

26. ДСТУ ГОСТ 8.395:2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормальні умови вимірювань при повірці. Загальні вимоги.
27. EA-4/02 Expression of the uncertainty of measurement in Calibration (Вираження невизначеності вимірювань при калібруванні).
28. РМУ 13-064-2008 Метрологія. Методика расчета неопределенности измерений при проведении калибровки средств измерительной техники.
29. ДСТУ EN 837-1:2004 Манометри. Частина 1. Манометри з трубкою Бурдона. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-1:1996, IDT)
30. ДСТУ EN 837-3:2004 Манометри. Частина 3. Манометри з мембраною та мембранною коробкою. Розміри, метрологічні характеристики, вимоги та випробування (EN 837-3:1996, IDT)
31. ДСТУ OIML R 110:2013 Метрологія. Манометри вантажопоршневі (OIML R 110:1994, IDT)

**ДОДАТОК А**  
**ПРОЄКТ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТУ**