

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: **Комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та
калібрування датчика тиску**

Виконав: студентка 2 курсу, групи ЗІВТ-23м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-вимірювальні
технології»

Нечипоренко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ Нечипоренко В.В.

1. Тема роботи: Комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску

Керівник роботи: доцент кафедри ІВТ кандидат технічних наук, доцент Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2024 р. № 655/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 15 » грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт вимірювань – процеси вимірювання тиску, проводити перевірку та калібрування перетворювача тиску СДВ-И-1,6-П-01-Л

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз існуючих методів вимірювання тиску, розробка структурної, функціональної і принципової схеми стенду, вибір технічних засобів вимірювання тиску, розробка математичної моделі стенду, розрахунок метрологічних характеристик стенду

5. Перелік графічного матеріалу
структурна, функціональна і електрична принципова схеми стенду

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації	01.10.24 – 05.10.24	Виконано
2	Формулювання завдань кваліф. роботи	06.10.24 – 10.10.24	Виконано
3	Аналіз методів вимірювання тиску	25.10.24 – 09.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми	11.10.24 – 15.10.24	Виконано
5	Вибір технічних засобів стенду	16.10.24 – 24.10.24	Виконано
6	Розробка функціональної схеми	10.11.24 – 22.11.24	Виконано
7	Розробка електричної принципової схеми	23.11.24 – 03.12.24	Виконано
8.	Розрахунок метрологічних характеристик	04.12.24 – 10.12.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.12.24 – 17.12.24	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Нечипоренко В.В.

(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання і протікання процесу перевірки та калібрування.

Розроблений стенд може застосовуватися в метрологічних лабораторіях підприємств, зосереджених на транспорті газу, і його застосування можливе й у освітніх цілях.

Був вивчений вимірювальний перетворювач тиску його пристрій, а також принцип дії. Виконано розробку структурної і функціональної схеми комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску. Вибрано вимірювальні засоби та елементну базу автоматизованої комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску.

Ключові слова: комп'ютеризований лабораторний стенд, датчик тиску, калібрування, метрологічна лабораторія .

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized laboratory stand for testing and calibrating a pressure sensor is developed, which ensures safe operation of the equipment and the testing and calibration process.

The developed stand can be used in metrology laboratories of enterprises focused on gas transportation and its use is also possible for educational purposes.

The measuring pressure transducer in its device, as well as the operating principle, were studied. The structural and functional diagram of the computerized laboratory stand for testing and calibrating the pressure sensor was developed. Measuring instruments and the element base of the automated computerized laboratory stand for testing and calibrating the pressure sensor were selected.

Keywords: computerized laboratory stand, pressure sensor, calibrating, metrology laboratory.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ	10
1.1. Види та одиниці вимірювання тиску	10
1.2. Класифікація методів та засобів вимірювання (зв) тиску	13
1.3. Перевірка засобів вимірів	18
1.4. Калібрування засобів вимірів.....	21
2. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ	24
2.1. Призначення лабораторного стенда	24
2.2. Перетворювач тиску вимірювальний	26
2.3. Схема лабораторного стенду	31
2.4. Режими роботи лабораторного стенду	33
2.5. Розробка структурної і функціональної схеми.....	35
2.6. Розробка математичної моделі стенду	38
2.7. Елементна база комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску	41
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ	57
3.1. Пристрій діагностики електричної схеми датчика	57
3.1. Розробка електричної схеми підключення обладнання стенду	57
3.2. Розробка схеми з'єднань зовнішньої проводки	58

3.3. Реалізація схеми пристрою діагностики	61
3.4. Робота пристрою діагностики електричної схеми датчика тиску	63
4. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ	65
4.1. Визначення основної наведеної похибки.....	65
4.2. Розрахунок похибок виміру.....	66
4.2. Розрахунок похибки вимірювального каналу	68
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТКИ	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗВ – засіб вимірювання

ПЛК – програмований логічний контролер

КВП – контрольно-вимірювальний прилад

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

КР – клапан регулюючий

ДПТ – датчик пульсуючого тиску

ПІ – перетворювач інтерфейсу

ДЖ – джерело живлення

АРМ – автоматизоване робоче місце оператора

ВСТУП

Актуальність теми. Однією зі складових системи технічного регулювання є метрологічна система України, яка забезпечує єдність вимірювань у державі і створює умови для захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Нормативно-правова база метрологічної системи чинний Закон України „Про метрологію та метрологічну діяльність”. Метрологічним наглядом є діяльність, яка провадиться у сфері законодавчо регульованої метрології з метою перевірки додержання суб'єктами господарювання вимог цього Закону, технічних регламентів та інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності.

В даній роботі розроблено комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску, що дозволяє замінити застарілі плати апаратної логіки надійним обладнанням, що відповідає сучасним вимогам до вимірювальної і іспитової техніки, але в той же час цілком зберігає колишню функціональність і особливості роботи з механізмами керування.

Метою даної роботи є розробка нового стенду для перевірки та калібрування датчика тиску, що має можливість автоматичного регулювання тиском у пневмосистемі.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідження датчика тиску як об'єкта контролю;
- вибір контрольованих параметрів і розробка на їх основі структури стенду.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання тиску.

Предмет дослідження – комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) Розроблено структурну схему комп'ютеризованого лабораторного

стенду для перевірки та калібрування датчика тиску;

- 2) Розроблено функціональну схему комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску;
- 3) Розроблено електричну принципову схему підключень комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску;
- 2) розраховано метрологічні характеристики комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску;
- 3) пропонується впровадити новий комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 4 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 73 сторінках основного тексту і містить 18 рисунків та 12 таблиць.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

1.1. Види та одиниці вимірювання тиску

Тиск рідин газів пари є важливим параметром що характеризує хід багатьох хіміко-технологічних процесів в харчовій промисловості.

Тиском називається фізична величина, яка характеризується інтенсивністю нормальних, тобто, перпендикулярних до поверхні, розподілених сил, з якими одне тіло діє на поверхню іншого. Наприклад фундамент будови на ґрунт, рідина на стінки ємності.

Іншими словами **тиск характеризується силою**, що рівнорозподілена по нормалі до поверхні іншого тіла, на яке вона діє. Якщо сили розподілені вздовж поверхні рівномірно, то тиск на будь-яку частину поверхні дорівнює:

$$P=G/F, \quad (1.1)$$

де G- сума сил, прикладених перпендикулярно до поверхні; F- площа цієї поверхні. **Такий тиск ще називають гідростатичним.**

Іншими словами, **гідростатичний тиск характеризується відсутністю напруженостей зсуву (дотичними напруженнями).** В нерухомих рідинах з точністю, обумовленою власною вагою середовища, тиск є гідростатичним. Гідростатичним є тиск і у в'язких рідинах при повільному зростанні тиску, коли опір зсуву дорівнює нулю. Таким є тиск і в твердій речовині, яку стискають. Коли із збільшенням тиску міжatomні сили притягіння стають набагато меншими, в порівнянні із силами стискування, починає проявлятися в тій чи іншій формі властивість течії твердих тіл.

При нерівномірному розподілі сил формула (5.1) визначає середній тиск на дану площу, а в межі при $F \rightarrow 0$ – тиск в даній точці.

В цьому випадку у в'язких рідинах і твердих тілах, середнім тиском (середньою нормальною напруженістю) в даній точці тіла називається середнє арифметичне значення нормальних напруженостей в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Тиск, який відповідає такому визначенню, називають **квазігідростатичним**. Чим менше величина напруженостей

зсуву, тим ближче квазігідростатичний тиск до гідростатичного. **Техніка вимірювання тисків і розрідження відноситься виключно до вимірювання гідростатичних тисків.**

З іншої сторони тиск можна розглядати як кількість потенціальної енергії, яка вміщується в одиниці об'єму рідини, що стискується. Це витікає з того, що якщо помножити чисельник і знаменник формули (5.1) на одиницю довжини, в якій виміряна площа, то в правій частині замість сили отримуємо роботу або потенціальну енергію, яка віднесена до одиниці об'єму середовища, яке знаходиться під тиском.

Розрізняють поняття: абсолютного , атмосферного та надлишкового тисків.

Абсолютний тиск $P_{абс}$ — це тиск, який відраховується від стану повної відсутності тиску, тобто, за початок абсолютного тиску приймають абсолютний нуль тиску, що відповідає тиску в середині ємності після повної відкачки із неї повітря. Нуль такого тиску — це «тиск пустоти».

Прикладом абсолютного тиску — є **атмосферний тиск $P_{атм}$** , який ще називають барометричним. Він визначається вагою стовпа атмосфери (слоїв атмосфери), що знаходиться на точкою вимірювання атмосферного тиску. Тиск в космосі близький до абсолютного нуля тиску і складає 10^{-12} атмосферного тиску. В більшості випадків тиск, який необхідно вимірювати, утворюється і відкритих чи закритих посудинах, тобто, в просторі оточеному атмосферою і який знаходиться під дією атмосферного тиску. В цих випадках практичне значення має перевищення тиску в посудині над атмосферним. Таке перевищення називають **надлишковим тиском $P_{над}$** . За початок відліку надлишкового тиску $P_{над}$ приймають значення атмосферного тиску. Приклад надлишкового тиску це тиск, який утворюється у відкритій посудині вагою рідини, яка в ній знаходиться. На горизонтальне дно посудини в будь-якій її точці діє, крім атмосферного, однаковий надлишковий тиск, величина якого

може бути оцінена вагою стовпа рідини, який розміщений над кожним см² дна посудини. Абсолютний тиск $P_{абс}$ на дно посудини дорівнює:

$$P_{абс} = P_{атм} + P_{над}.$$

Таким чином, надлишковий тиск дорівнює відповідному йому абсолютному тиску за відрахуванням значення атмосферного:

$$P_{над} = P_{абс} - P_{атм}. \quad (5.2)$$

Від'ємне значення надлишкового тиску за цією формулою називають розрідженням або вакуум метричним тиском $P_{вак}$. Термін вакуум походить від латинського «vacuum» (пустота) і означає тиск, що значно нижчий атмосферного.

Це тиск, що менший атмосферного і дорівнює:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}. \quad (5.3)$$

Ця залежність показує, що вакуум метричний тиск $P_{вак}$ не може перевищувати атмосферний тиск $P_{атм}$, який має місце в даний момент і в даному місці, і що від'ємне значення абсолютного тиску не може бути. Найбільш глибокий вакуум, який досягнуто сучасними існуючими методами, відповідає абсолютному тиску 10^{-13} від атмосферного.

Термін вакуум використовується для позначення двох різних понять, таких як: **розрідження**, тиск який відраховується вниз від тиску атмосфери, який прийнятий за нуль, **так і абсолютного тиску**, меншого по величині з атмосферний. Щоб запобігти цій двоякості, ввели термін вакуум метричний тиск для поняття розрідження.

Одиниці вимірювання тиску.

Одиницею вимірювання тиску в системі СІ є паскаль (Па). 1Па – тиск прикладений силою 1 ньютон (Н), яка рівномірно розподілена по нормальній до неї площі в 1м². Приставки кратності: 1кПа = 10³Па, а 1МПа = 10⁶Па.

В манометрії допускається використання і позасистемних одиниць тиску. Найбільш розповсюджена - технічна атмосфера (ат або кгс/м²), що являє собою тиск, який утворюється силою в 1кг, рівномірно розподіленою по

нормалі до поверхні, площею в 1см^2): $1\text{ат} = 1\text{кгс/см}^2 = 98066,5\text{Па} \cong 100\text{кПа} = 0,1\text{ МПа}$.

Так як тиск в одну технічну атмосферу є досить великою величиною, то на практиці для вимірювання малих тисків використовують одиниці тиску: мм ртутного та водяного стовпа:

$$1\text{ат} = 735,56\text{ мм. рт.ст. при температурі } 0^\circ\text{C}$$

$$1\text{кгс/см}^2 = 738,2\text{ мм. рт.ст. при температурі } 20^\circ\text{C};$$

$$1\text{ат} = 10\text{ м водяного стовпа при } 4^\circ\text{C}.$$

$$1\text{мм рт.ст.} = 133,322\text{ Па}$$

$$1\text{мм.вод.ст.} = 9,8\text{ Па}.$$

Наступна одиниця тиску – бар: $1\text{бар} = 10^5\text{Па} = 0,1\text{ МПа}$ і є по величині трохи більшим за технічну атмосферу.

Ще використовується одиниця тиску - фізична атмосфера (атм), яка дорівнює тиску стовпа ртуті висотою 760мм при температурі 0°C на 1 см^2 і прискоренні вільного падіння $g = 9,81\text{ м/с}^2$.

$1\text{ атм} = 1,0332\text{ кгс/см}^2 \cong 103\text{ КПа}$ – відповідає нормальному атмосферному тиску і використовується як одиниця при перерахунках об'ємів газу та повітря, при їхньому переході із одного стану в інший (при зрідженні газів).

Для вимірювання тиску використовуються манометри, назва яких походить від грецького слова «manos» – рідкий, негустий, розріджений.

1.2. Класифікація методів та засобів вимірювання (ЗВ) тиску

По виду вимірюваного тиску манометри діляться на дві групи, які відрізняються різними початками відліку тиску, тобто, різними, прийнятими за нуль, значеннями тиску: **в першу групу входять манометри надлишкового тиску**, а у другу - **абсолютного тиску**.

В манометрах надлишкового тиску, як позитивного, тобто, більшого за атмосферний тиск, так і від'ємного (вакуум метричного, тобто, меншого за

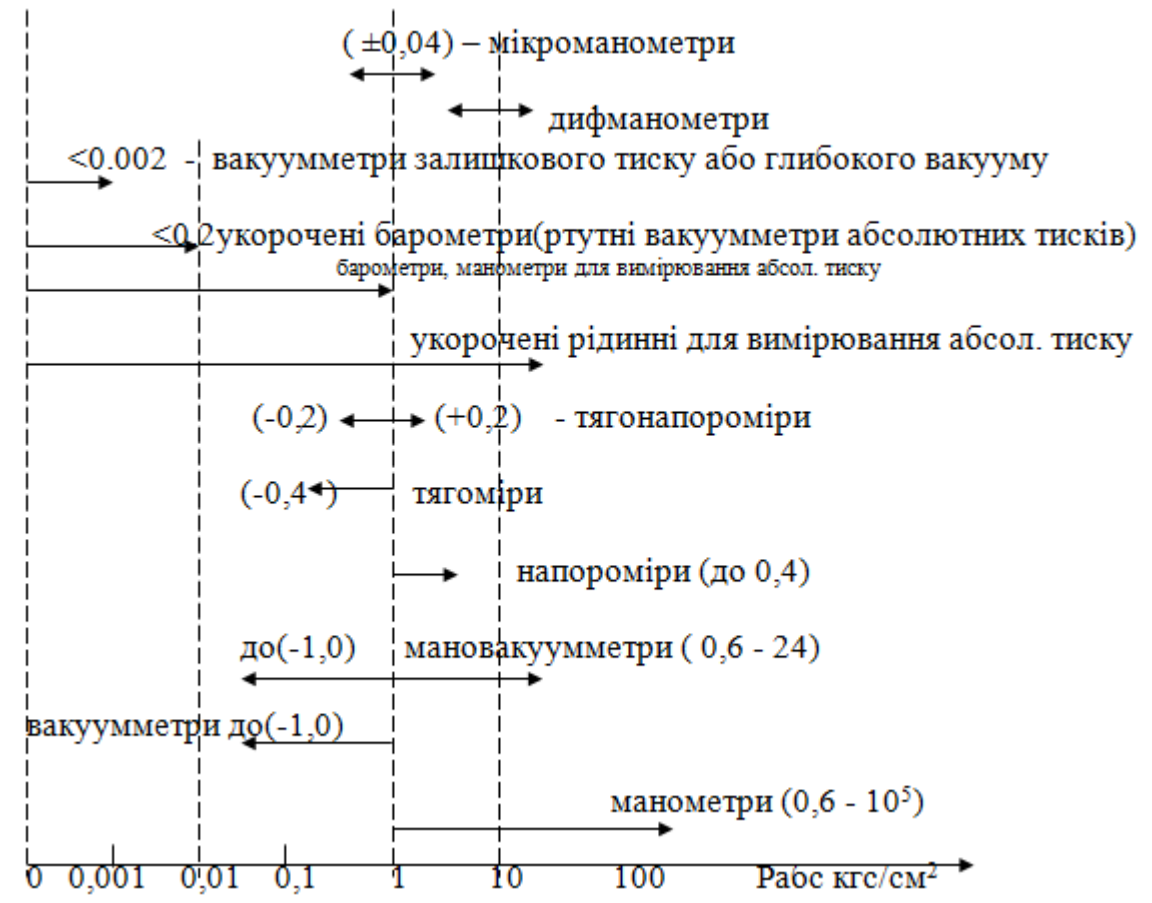
тиск навколишнього середовища), за нуль приймається значення атмосферного тиску. До них відносяться:

- **манометри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 10^5 кгс/см (0,06...10МПа);
- **вакуумметри** - прилади для вимірювання розрідження (вакуумметричних тисків) до $-1,0$ кгс/см² (-0,1МПа);
- **мановакуумметри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 24 кгс/см² так і вакуумметричного тиску до $-1,0$ кгс/см²;
- **напороміри** – манометри для вимірювання малих надлишкових тисків (до +0,4 ат) від атмосферного;
- **тягоміри** – вакуумметри верхньою межею вимірювання тиску яка не перевищує $-0,04$ МПа = $-0,4$ кгс/см²;
- **тягонапороміри** – мановакуумметри з крайніми межами вимірювання відхилення тиску від атмосферного в сторону розрідження та надлишкового тиску
 $\pm 0,2$ кгс/см² (+- 0,02МПа або ± 20 КПа).

Якщо на горизонтальній вісі відкласти логарифмічну шкалу абсолютних тисків, які необхідно виміряти, причому нуль відповідає нульовому абсолютному тиску, то можна побудувати схематичний графік розподілу манометрів по видам вимірюємих тисків:

Другу групу складають манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску, що відраховується від абсолютного нуля тиску, тобто, повної його відсутності. До них відносяться:

- **барометри** – манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску атмосфери;
- **укорочені барометри** – це ртутні вакуумметри для вимірювання абсолютних тисків (менше $0,2$ кгс/см²);
- **вакуумметри залишкового тиску** - призначені для вимірювання глибокого вакууму, тобто, абсолютних тисків менш $0,002$ кгс/см².



Дещо осторонь стоїть третя група манометрів, яка включає в себе диференціальні манометри та мікроманометри.

Диференціальні манометри (дифманометри) - це манометри, які вимірюють різницю двох тисків, ні один із яких не є атмосферним, і використовуються в різних областях промисловості. Приклади використання дифманометрів: вимірювання перепадів тиску; вимірювання витрати рідин, газів та пари по перепаду тиску на спеціальних звужуючих пристроях; вимірювання рівня рідин, що знаходяться під дією атмосферного, надлишкового та вакуумметричного тисків тощо.

Мікроманометри – це дифманометри лабораторного типу які використовуються для вимірювання тиску чи різниці тисків в газових середовищах з верхньою межею вимірювання більше за $0,04 \text{ кгс/см}^2$.

Прилади для вимірювання тиску можуть бути показуючими, самописними, а також з електроконтактним регулюючим чи сигналізуючим улаштуванням.

По класам точності встановлений наступний ряд класів манометрів:

0,005; 0,02; 0,05; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0

По метрологічному призначенню манометри діляться на:
а) технічні (робочі); б) лабораторні (контрольні); в) зразкові, які призначені для повірки ними інших манометрів.

По принципу дії манометри можуть бути розділені на дві великі групи.

I група: прилади, в яких сили, що утворюються вимірюваним тиском, врівноважуються відомими силами (силою ваги або пружною силою деформації). До цієї групи входять: рідинні, деформаційні та вагові манометри.

Рідинні манометри засновані на гідростатичному принципі, коли вимірюєми тиск врівноважується гідростатичним тиском стовпа манометричної рідини. До них належать:

- а) двохтрубний (U - подібний) манометр або вакуумметр;
- б) однострубний (чашковий) манометр з постійним або змінним кутом нахилу;
- в) ртутний барометр (чашковий або сильфонний);
- г) компенсаційний манометр;
- д) укорочений рідинний манометр;
- е) багато трубний манометр;
- ж) компресійний манометр.

Деформаційні (пружинні) манометри, в яких вимірюєми тиск або різниця тисків визначаються по деформації пружкого чутливого елемента, в якості яких використовують:

- а) трубчасті пружини різної конфігурації: одно- та багато виткові; S-подібні гвинтові;

б) мембрани: плоскі та з гофрами (трапеційдальними, синусоїдальними та крайовими); мембранні коробки; батареї мембранних коробок; **сильфони** (гармонікові мембрани).

Вагопоршньові манометри. В них тиск або різниця тисків врівноважується тиском, який утворюється в циліндрі мірними вагами (гирями) та вагою не ущільненого поршню. Такі манометри діляться на види:

- з простим поршнем;
- з диференційними поршнями;
- із зрівноваженими поршнями ;
- з поршнеvim мультиплікатором тиску.

II група: прилади, тиск в яких вимірюється по зміні іншої фізичної властивості тіла під дією сил тиску. Групу складають манометри: електричні та спеціального призначення.

Принцип дії **електричних манометрів**, що отримують найбільше розповсюдження за останнім часом, ґрунтується на залежності зміни електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірюємого тиску.

До них відносяться:

Манометри опору, принцип дії яких ґрунтується на зміні опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску.

Манометри з тензоперетворювачами – принцип дії ґрунтується теж на зміні електричного опору чутливого елемента, виготовленого із тензочутливого матеріалу (константану, або сплавів нікелю і міді чи нікелю і хрому), але за його деформації вимірюваним тиском.

П'єзоелектричні (п'єзокварцові) манометри – принцип дії ґрунтується на властивості деяких кристалічних речовин утворювати електричні заряди під дією зусилля, що прикладене до них.

Ємнісні манометри – ґрунтуються на зміні ємності плоского конденсатора за зміни відстані між його обкладинками під дією тиску.

До манометрів спеціального призначення відносяться:

Теплові манометри - в них мірою розрідження є зменшення теплопровідності розрідженого газу.

Оптичні манометри – ґрунтуються на зміні показника заломлення світла в газі із зміною тиску.

Акустичні манометри – використовують зміну густини газу із зміною тиску і зв'язану з цим зміну резонансної частоти заповненого газом коліна скороченого рідинного манометру, який є акустичним резонатором.

Іонізаційні вакуумметри – ґрунтуються на залежності іонного струму спеціальної манометричної лампи, під'єднаної до вимірюваного за тиском газового середовища та вторинного вимірювального приладу, від тиску в цьому середовищі. Перераховані групи не вичерпують повністю все різноманіття принципів дії, які використовуються в приладах вимірювання тиску.

1.3. Перевірка засобів вимірів

Перевірка засобів вимірів проводиться до установлення їхньої придатності до застосування. Засоби вимірів повинні проходити первинну, періодичну, позачергову та інспекційну перевірку. Первинна перевірка повинна проводитися при випуску засобів вимірів в обіг з виробництва й ремонту. Періодична перевірка повинна проводитися при експлуатації й зберіганні засобів вимірів через певні між повірочні інтервали, установлені з розрахунком забезпечення справності засобів вимірів на період між перевірками. Позачергова перевірка повинна проводитися при експлуатації (зберіганні) засобів вимірів незалежно від строків періодичної перевірки: коли необхідно впевнитися в справності засобів вимірів; при введенні в експлуатацію засобів вимірів, що надходять по імпорту; при проведенні робіт з коректування між повірочних інтервалів; при контролі результатів періодичної перевірки; коли засоби вимірів установлюються як комплектуючі вироби після витікання половини гарантійного строку на них, зазначеного

постачальником у супровідній документації; при ушкодженні повірюючого клейма, пломби та втраті документів, що підтверджують проходження засобами вимірів періодичної перевірки; при уведенні в експлуатацію після зберігання, протягом якого не могла бути проведена періодична перевірка у зв'язку з вимогами до консервації засобів вимірів.

Інспекційна перевірка повинна проводитися для виявлення справності засобів вимірів, що випускаються; з виробництва або ремонту й перебувають в обігу, при проведенні метрологічної ревізії на підприємствах, складах, базах постачання й у торговельних організаціях.

Метрологічна ревізія проводиться для визначення відповідності засобів вимірів і застосовуваних методик вимірів сучасним вимогам народного господарства й рівня метрологічного забезпечення виробництва, а також перевірки готовності засобів вимірів до виконання вимірів з нормованою точністю з метою вдосконалювання парку засобів вимірів і підвищення ефективності метрологічного забезпечення виробництва. Метрологічної ревізії повинні піддаватися засоби вимірів підприємств, що здійснюють виготовлення, ремонт, експлуатацію, зберігання й продаж засобів вимірів.

Метрологічна експертиза проводиться для експертної оцінки стану засобів вимірів і правильності їхньої перевірки й застосування. Метрологічна експертиза проводиться при виникненні спірних питань по метрологічних властивостях, методам і засобам перевірки, справності засобів вимірів і придатності їх до застосування.

Засоби вимірів не допускаються до застосування, якщо при перевірці, метрологічній ревізії або метрологічній експертизі встановлено, що вони несправні, у тому числі мають зовнішні ушкодження або вчасно не повірені. Всі засоби вимірів підлягають обов'язковій державній або відомчій перевірці. До проведення перевірки засобів вимірів допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання та іспити, що

здали, у навчальних закладах Держстандарту. Дозволу на виконання перевірочних робіт органам відомчих метрологічних служб повинні видаватися органами державної метрологічної служби й оформлятися реєстраційними посвідченнями.

При напрямку засобів вимірів на перевірку в органи державної метрологічної служби на їх вимогу повинні представлятися випускні атестати (паспорта) або останні свідчення про перевірку й опису засобів вимірів.

Первинна перевірка засобів вимірів, що підлягають обов'язковій державній перевірці, повинна проводитися органами державної метрологічної служби контрольно-перевірочних пунктах, організуючих цими органами на приладобудівні й приладо ремонтних підприємствах, які для цієї цілі повинні надавати окремі приміщення.

Первинна перевірка засобів вимірів, та випуску в обіг відомчій перевірці, повинна вироблятися: при випуску з виробництва – підприємством–виготовлювачем; при випуску з ремонту метрологічною службою підприємства, зареєстрованою державною метрологічною службою.

Періодична перевірка засобів вимірів, що перебувають в експлуатації та на зберіганні, повинна проводитися в календарний термін, установлені річними календарними графіками перевірки або розкладом, обумовленим органами державної метрологічної служби.

Річні календарні графіки перевірки складаються підприємствами у вигляді переліків засобів вимірів із вказівкою періодичності й календарних строків їхньої перевірки. Органи державної метрологічної служби повинні безвідмовно приймати засоби вимірів, що представляються на перевірку підприємствами.

Метрологічна служба підприємства повинна мати обмінний і прокатний фонд засобів вимірів для потреб підрозділів підприємства, вести їхній облік і організовувати роботи з обміну й зберігання.

1.4. Калібрування засобів вимірів

Калібрування – це операція надання показам засобу вимірювання міри вимірюваної величини в нормальних умовах. Ця міра передається з визначеною точністю, що виражається через граничну похибку каліброваного засобу вимірювання. Метою калібрування є визначення і фіксація характеристики вимірювального засобу або системи з похибкою, що не перевищує наперед заданої величини [4].

Існують такі основні способи калібрування засобів вимірювання та вимірювальних систем:

а) *Використання типових (печатних) шкал.* Для більшості робочих і багатьох взірцевих приладів використовуються типові шкали, які виготовляються попередньо у відповідності з рівнянням статичної характеристики ідеального приладу.

б) *Індивідуальне калібрування шкал.* Її здійснюють в тих випадках, коли статична характеристика приладу нелінійна або близька до лінійної, але характер зміни систематичної похибки в діапазоні вимірювань випадковим чином змінюється від приладу до приладу даного типу. Індивідуальне калібрування виконується таким чином:

— на попередньо відрегульованому приладі встановлюють шкалу з ще не нанесеними відмітками;

— на даний прилад подають декілька наперед заданих або вибраних значень вхідної величини;

— на шкалі наносять відмітки, що відповідають положенням показника при цих значеннях вимірюваної величини, а відстань між відмітками поділяють на рівні частини.

в) *калібрування умовної шкали.* Умовною називається шкала, яка має деякі умовні рівномірно нанесені ділення, наприклад, через міліметр або кутовий градус. Калібрування шкали полягає у визначенні при допомозі взірцевих мір або вимірювальних приладів значень вимірюваної величини,

яка відповідає деяким відміткам шкали. В результаті визначають залежність числа ділень шкали, які пройдені показником, від значень вимірюваної величини.

Під *пovіркою* розуміють сукупність операцій, виконання яких дозволяє стверджувати, що покази засобу вимірювання відповідають встановленій характеристиці в межах допустимої похибки.

Методика *пovірки* приладів тиску складається з наступних етапів:

1. *Зовнішній огляд приладу.* Прилад не повинен мати пошкоджень і дефектів.

2. *Встановлення стрілки на нульову відмітку.* Стрілка приладу повинна встановлюватися з допомогою коректора нуля на нульову відмітку шкали при значенні вхідного сигналу $S_0=0.2 \text{ кгс/см}^2$.

3. *Повірка герметичності вузла чутливого елемента* вимірювального блоку приладу. Герметичність визначається при витримці його на верхній границі вимірювання. Прилад вважається герметичним, якщо протягом 5 хвилин зміна показів не перевищує 1% від діапазону показів приладу.

4. *Визначення основної похибки і варіації*

а) шляхом встановлення стрілки приладу, що повіряється на відмітку шкали і визначення вхідного сигналу, що відповідає цій відмітці, а також визначення дійсного вхідного сигналу по взірцевому приладі.

б) шляхом завдання по взірцевому приладі значення вхідного сигналу, що відповідає повіряємій відмітці, і відрахунку по шкалі приладу, що повіряється.

Основну похибку визначають шляхом порівняння дійсних значень з розрахунковими, які шукаються за формулою :

$$S_p = 0.2 + 0.8 \frac{P}{P_{\max}},$$

де P – значення тиску в точці *пovірки*,

$P_{\max}$ – верхня межа вимірювань.

Основну похибку приладів класу точності 0.5 визначають не менше ніж при 9 значеннях вхідного сигналу ; класу точності 1; 2.5 – не менше ніж при 6 значеннях вхідного сигналу рівномірно розподілених в діапазоні вимірювань (в тому числі нульове значення вхідного сигналу). Повірку проводять в двох напрямках : прямому і зворотньому.

Варіація визначається як різниця між показами приладу при прямому і зворотньому ході в одній і тій самій оцифрованій точці шкали .

Повірка ЗВ проводиться тоді, коли виникає сумнів у зберіганні позначених (паспортних) його якостей. Крім того її проводять після калібрування і для періодичного контролю приладу.

Повірка – це контрольна процедура, яка визначає, чи придатний ЗВ до подальшої експлуатації.

2. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ

2.1. Призначення лабораторного стенда

Лабораторний стенд - це комплекс обладнання, що призначається для проведення приймання та технічного обслуговування датчиків тиску, насамперед, датчиків пульсуючого тиску. Цей стенд розробляється для вирішення наступних завдань:

- перевірка справності вимірювального перетворювача тиску перед його встановленням на компресор газоперекачувального агрегату;
- калібрування датчика.

Обладнання, яке необхідне для забезпечення функціонування даного лабораторного стенду, надано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Обладнання стенду

№ п/п	Найменування пристрою	Кількість, шт
1	Пристрій діагностики електричної схеми датчика тиску	1
2	Джерело живлення	1
3	Перетворювач інтерфейсів K8485-И8Б	1
4	Приймач кодового сигналу (персональний комп'ютер)	1
5	Джерело пневматичної енергії (повітряний компресор)	1
6	Електромагнітні клапана	3
7	Регулюючий клапан	1
8	Ручний клапан	1
9	Датчик тиску	1
10	Еталон (Зразковий манометр, калібратор тиску тощо)	1
11	Програмуємий логічний контролер (ПЛК)	1

Вибір фірми-постачальника даних у таблиці 2.1 контрольно-вимірювальних приладів (КВП) та виконавчих механізмів ґрунтується на альтернативному виборі та обґрунтовується на техніко-економічних умовах. Також буде врахована можливість розширення кількості входів/виходів, задіяних у контролері, тобто необхідна підтримка модульної архітектури. У роботі стенда, що розробляється, були визначені чотири режими роботи:

- перевірка справності електричних ланцюгів датчика за допомогою пристрою діагностики електричної схеми датчика тиску;
- діагностика вихідних сигналів датчика по цифровому інтерфейсу;
- перевірка вихідних сигналів датчика із завданням пневматичного сигналу;
- визначення основної наведеної похибки.

У режимі роботи діагностики електричної схеми датчика датчик, що перевіряється, підключають до пристрою діагностики, а потім подають сигнал «ТЕСТ» шляхом перемикання Тумблера «Тест», після чого проводять контроль індикації. При перевірці вихідних сигналів датчика тиску його підключають до пристрою діагностики та ПК за допомогою цифрового перетворювача інтерфейсів, де здійснюють перевірку вихідних сигналів шляхом подачі команд цифрового інтерфейсу E8-485. Подаючи команди датчику, оператор проводить контроль індикації на пристрої діагностики електричної схеми датчика і робить висновок.

У режимі перевірки вихідних сигналів із завданням пневматичного сигналу робота стенду повинна здійснюватися в наступній послідовності:

- 1) підключення датчика до пневмосистеми та влаштування діагностики з електричної схеми датчика тиску лабораторного стенду;
- 2) перевірка герметичності всієї пневмосистеми стенду;
- 3) скидання тиску;
- 4) подання тиску;
- 5) подання пневматичного імпульсу;
- 6) контроль вихідних сигналів датчика тиску.

Крім вище наведених операцій, виконується перевірка вихідних сигналів датчика.

У режимі визначення основної наведеної похибки також здійснюються пункти з перевіркою герметичності пневмосистеми та контролем вихідних сигналів датчика тиску. А також послідовно, згідно з порядком, проводяться такі операції:

- 1) подача тиску п'ятьма інтервалами «прямим ходом»;
- 2) зняття показань згідно інтервалів;
- 3) проведення вимірювань показання тиску шляхом скидання тиску п'ятьма інтервалами «зворотним ходом»;
- 4) оцінка одержаних результатів.

2.2. Перетворювач тиску вимірювальний

2.2.1 Призначення перетворювача тиску СДВ-И

Перетворювач призначений для безперервного вимірювання та перетворення абсолютного або надлишкового тиску газоподібних і рідких середовищ, вихідний сигнал інтерфейсу зв'язку RS485 [11] (рис. 2 1).



Рис. 2.1 – Перетворювач тиску СДВ-И-1,6-П-01-Л К АГБР.416.00.00

ТУ

Область застосування даного датчика тиску – системи автоматичного

контролю, регулювання та управління технологічними процесами на підприємствах газової, металургійної, хімічної, харчової галузей промисловості [11].

Робоче середовище для перетворювача тиску — рідини, пар, газу, парогазові та газові суміші, по відношенню до яких титановий сплав ВТ- 9 і сталь 12Х18Н10 є корозійностійкими. Також не допускається кристалізація або затвердіння робочого середовища в приймачі датчика пульсуючого тиску [11].

2.2.2 Технічні характеристики перетворювача тиску

Перетворювач тиску має такі технічні характеристики (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 Технічні характеристики перетворювача вимірювального тиску

Технічні параметри	Значення
Верхня межа вимірюваного тиску	1,6 МПа
Номінальна статична характеристика перетворювача	лінійна, і має такий вигляд: $Y = Y_H + \frac{(Y_B - Y_H)}{(P_B - P_H)} (P - P_H)$ де Y – поточне значення вихідного електричного сигналу (або цифрового коду) перетворювачів; P – значення вимірюваної фізичної величини; Y_H, Y_B – відповідно нижнє та верхнє граничні значення вихідного сигналу; P_H, P_B – відповідно нижній та верхній межі вимірів.

Межі допустимого значення основний наведеної похибки вимірювання	$\pm 0,5 \%$ від верхньої межі виміру
Межі допустимого значення наведеної додаткової похибки, пов'язаної з зміною температури навколишнього середовища	$\pm 0,15 \%$ / 10°C
Похибка виміру перетворювача при зміні зовнішнього тиску від 92,0 кПа до 106,7 кПа	Не більше 0,1 %
Додаткова похибка, пов'язана з впливом вібрації	Не більше $\pm 0,1 \text{ Pв}$
Додаткова похибка, пов'язана із зміною напруги живлення	Не більше 0,2
Частота вимірювань значень перетворювача	600 Гц, 1200 Гц
Номінальна напруга живлення перетворювача	$(24 \pm 0,5) \text{ В}$
Потужність	1,0 В • А
За замовчуванням встановлення одиниці тиску	МПа
Діапазон температур навколишнього середовища	від мінус 50°C до 105°C
Інтерфейс зв'язку перетворювача із зовнішніми пристроями	RS485
Комунікаційний протокол	MODBUS RTU
Середній термін служби перетворювача до списання	14 років
Вибухозахисне виконання	Вибухонепроникна оболонка типу 1ExdbIIBT4GbX

Також перетворювач має аналогові вхідні та вихідні ланцюги. Аналогові вихідні ланцюги перетворювача тиску містять «твердотільні реле, які призначені для передачі сигналу справного стану, сигналу «Помпаж_НЗ» (нормально замкнутий (закритий) перемикаючий контакт), «Помпаж_НР» (нормально розімкнутий (відкритий) перемикаючий контакт. Ланцюг «Помпаж» - три провідний електричний ланцюг постійного струму має твердотільне реле у вигляді двох груп перемикаючих контактів із загальним контактом. Аналоговий ланцюг «Попередження помпажу» (нормально розімкнений (відкритий) перемикаючий контакт) призначений для передачі сигналу передпомпажного стану.

Аналогові вхідні ланцюги - ланцюг «Тест +», ланцюг «Тест -», призначені для здійснення контролю функціонування (діагностики) перетворювача.

Аналогові вхідні та вихідні ланцюги гальванічно ізольовано від ланцюгів живлення та ланцюгів цифрового інтерфейсу.

За інтерфейсом зв'язку перетворювач тиску видає наступні параметри:

- статус перетворювача, в якому відображений стан сигналів «Справність», «Помпаж НО», «Попередження помпажу», «Тест» та інша діагностична інформація;

- середнє значення тиску протягом встановленого інтервалу часу P_{cp} у одиницях тиску;

- величину провалу тиску ΔP в встановлених одиницях тиску;

- відношення величини провалу тиску до середнього значення тиску $\frac{\Delta P}{P_{cp}}$;

- середнє квадратичне відхилення тиску за встановленням проміжок часу, σ в встановлених одиницях тиску;

- відношення середнього квадратичного відхилення до середнього значення тиску $\frac{\sigma}{P_{cp}}$ » [11].

Також варто зазначити, що «стан сигналів «Помпаж АЛЕ», «Попередження помпажу» та «Справність» відображається в байті статусу перетворювача тиску, крім того вони продублюються вхідними ланцюгами твердотільних реле» [11].

2.2.3. Пристрій та робота перетворювача тиску

Перетворювач тиску складається з «чутливого елемента і блоку електроніки. Подача вимірюваного тиску здійснюється через штуцер з різьбленням М14×1.

Принцип дії перетворювача тиску заснований на перетворенні різниці тиску вимірюваного середовища і тиску всередині корпусу, що впливає на мембрану чутливого елемента, яка перетворює її в електричний сигнал, пропорційної механічної деформації мембрани.

Для отримання інформації про абсолютний тиск вимірюваного середовища використовується перетворювач абсолютного тиску, що вимірює тиск усередині корпусу перетворювача тиску, сигнал якого обробляється додатковим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

Цифрові сигнали АЦП зчитуються мікроконтролером, коригуються з урахуванням налаштувальних коефіцієнтів, що усувають нелінійності і температурні залежності чутливих елементів, перетворюється в величину абсолютного або надлишкового тиску відповідно від виконання перетворювачів. Послідовність отриманих значень обробляється у відповідність до встановлених алгоритмами за двома умовами:

- 1) Швидкість падіння тиску повітря за компресором;
- 2) Величині відносних пульсацій тиску.

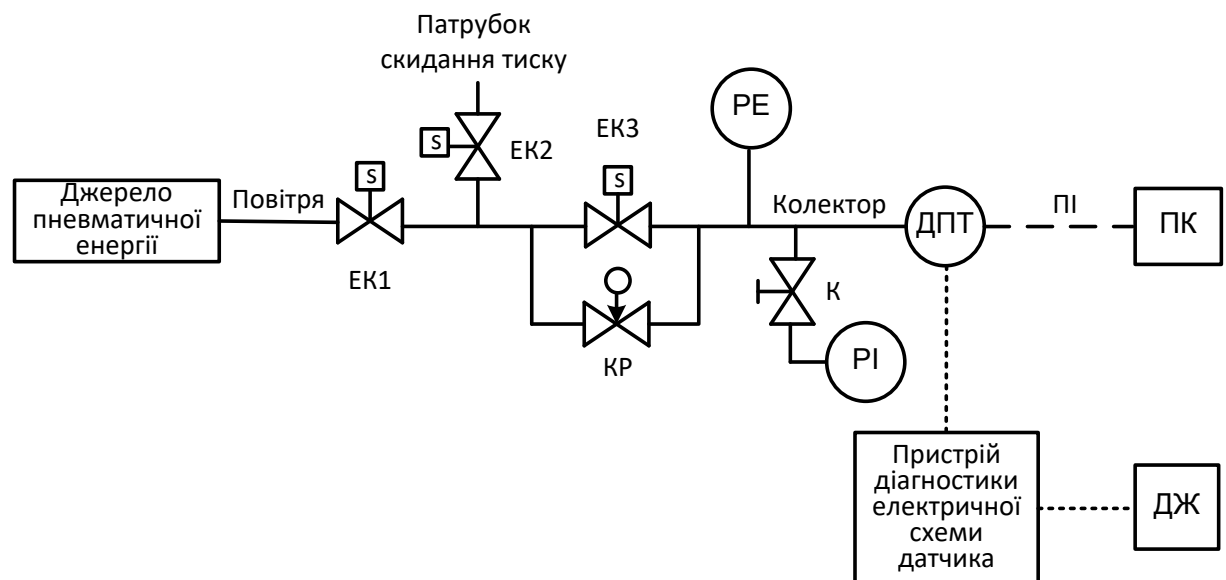
Обидві умови аналізуються лише в тому випадку, якщо середній рівень тиску перевищує встановлені мінімальний рівень $P_{\min 1}$ або $P_{\min 2}$ » [3].

2.3. Схема лабораторного стенду

Автоматизований лабораторний стенд для перевірки справності та калібрування датчика пульсуючого тиску є невід'ємною частиною метрологічної лабораторії, оскільки він виконує функцію перевірки виходів цифрового інтерфейсу RS-485, а також калібрування датчика.

Схема лабораторного стенду наведена на рис. 2.2.

Для проектування системи управління стенду були використані наступні елементи: джерело пневматичної енергії (повітряний компресор), повітропровід, що забезпечує транспортування пневматичної енергії (поліпропіленові труби), виконавчі механізми (електромагнітні та регулюючий клапанний), датчик тиску та програмуємий логічний контролер.



ЕК1-ЕК3 – електромагнітні клапани, КР – регулюючий клапан, К – ручний клапан, РЕ – датчик тиску, РІ – зразковий манометр (також можлива установка калібратора тиску), ДПТ – датчик пульсуючого тиску, ПІ – перетворювач інтерфейсу RS-485, ДЖ – джерело живлення

Рис. 2.2. Схема лабораторного стенду

Робота стенду починається з перевірки справності аналогових вхідних вихідних ланцюгів датчика за допомогою пристрою діагностики електричної схеми датчика. Далі йде діагностика вхідних сигналів датчика по цифровому інтерфейсу за допомогою подачі послідовних команд, здійснюючи одночасний контроль зміни стану індикації сигналів у вікні програм і зміни стану індикаторами, підключеними до аналогових ланцюгів датчика.

Потім виключається підключення датчика до магістралі подачі тиску, де далі проводять перевірку герметичності датчика, що перевіряється шляхом завдання тиску, рівного верхньому межі вимірювання датчика, за допомогою регулюючого клапана КР автоматизованого задатчика тиску.

Після йде перевірка вхідних сигналів за допомогою завдання пневматичного сигналу шляхом вводу датчика на робочий тиск з подальшою подачею пневматичних імпульсів (створення пульсацій тиску), завдяки якому можна отримати відповідну індикацію вихідних сигналів у вікні програми та світлодіодами пристрою діагностики.

Заключним етапом є визначення основної наведеної похибки. На даному етапі діапазон вимірювання датчика, що перевіряється, розбивається на 5 рівних інтервалів, після чого задається тиск по 6 розрахованих точках «прямим ходом» за допомогою регулюючого клапана КР при відкритому клапані ЗК1 і «зворотним ходом» (тільки при перекритті патрубку скидання тиску - ЗК2), де в кожній точці показання еталона (зразковий манометр/калібратор тиску) РІ підключений через патрубок клапаном К і датчика (ДПТ), що перевіряється, порівнюються (метод безпосереднього звірення).

На основі отриманих вище даних роблять висновок про справність датчика.

2.4. Режими роботи лабораторного стенду

2.4.1. Перевірка аналогових вхідних та вихідних ланцюгів датчика

Робота стенду починається з перевірки аналогових вхідних ланцюгів датчика сигналів «Помпаж НЗ», «Помпаж НО», «Попередження Помпажа» та «Справність» та аналогових вхідних ланцюгів – ланцюг «Тест+» та ланцюг «Тест-». За допомогою пристрою діагностики електричної схеми тумблером SA1 «Увімк. Тест» подати сигнал «ТЕСТ». Після цього піде індикація подачі сигналу на світлодіоді «Тест».

Далі необхідно проконтролювати вдачу вхідних сигналів «Помпаж_НО» та «Помпаж_НЗ», інверсних фактичному стану сигналів датчика на момент перевірки (контролю). Індикацію стану сигналів відображають світлодіоди «НО» та «НЗ».

Якщо індикація вихідних сигналів датчика правильно відображається світлодіодами пристрою діагностики під час впливу сигналу «ТЕСТ» при живленнях, то датчик вважається таким, що витримає випробування.

2.4.2. Перевірка вихідних сигналів датчика по цифровому інтерфейсу

Після перевірки аналогових ланцюгів проводять перевірку вихідних сигналів датчика пульсуючого тиску «Помпаж НО», «Попередження помпажу» та «Справність» за цифровим інтерфейсом R8-485.

Спочатку датчик підключають до джерела живлення (ДЖ), потім до ПК за допомогою цифрового інтерфейсу.

Далі запускають програму діагностики датчика помпажу «SensorPompage.exe» та проводять пошук датчика. Потім рахують дані з датчика кнопкою «Читання даних» і здійснюють контроль прийому даних від датчика.

Після встановлення підключення та зчитування даних проводять тест.

Для цього у вкладці «Тест» послідовно вибирають кнопки контролю сигналів по цифровому інтерфейсу «Помпаж», «Справність», «Попередження помпажу». Проконтролюйте зміну стану індикації цих сигналів у вікні програми, а також виконання цих команд аналоговими ланцюгами зміною стану відповідними індикаторами РМ подачі та контролю сигналів.

Завершуючи перевірку сигналів, кнопки контролю повертають у вихідний стан і повторно здійснюють прийом та контроль даних від датчика.

Датчик вважається таким, що пройшов випробування, якщо при подачі команд контролю цифрового каналу індикація вихідних сигналів датчика правильно відображається у вікні програми і світлодіодами пристрою діагностики під час впливу команд.

2.4.3. Перевірка вихідних сигналів датчика з допомогою завдання пневматичного сигналу

Для перевірки вихідних сигналів датчика за допомогою задатчика тиску необхідно провести наступні дії.

Приєднати датчик, що перевіряють, до магістралі подачі тиску від задатчика тиску.

Потім датчик підключити до пристрою діагностики та ПК за допомогою перетворювача інтерфейсів (ПІ). На пристрої тумблер встановіть у положення «ВІІКЛ.». Далі включити живлення датчика та приладів для перевірки.

Систему, що складається із засобів перевірки, сполучних ліній та допоміжних засобів для завдання та передачі вимірюваного параметра перевірити на герметичність.

Перевірка на герметичність проводиться при тиску, що дорівнює верхній межі вимірювань датчика.

Створюється необхідний тиск та відключається джерело тиску.

Система вважається герметичною, якщо після трихвилинної витримки

під тиском, що дорівнює верхній межі вимірювань, протягом наступних 2 хв в ній не спостерігають падіння тиску.

Скинути тиск за допомогою регулюючого клапана КР2.

Далі за допомогою джерела пневматичної енергії в магістралі «КР - ДПТ» за допомогою клапана КР задати робочий тиск, потім за допомогою електромагнітного клапана ЕК3 подати пневматичний імпульс на датчик пульсуючого тиску.

Датчик вважається тим, що витримав випробовування, якщо при подачі пневматичного імпульсу була правильна індикація вихідних сигналів датчика у вікні програм і світлодіодами пристрою діагностики під час впливу.

2.5. Розробка структурної і функціональної схеми

Система автоматичного регулювання тиску в колекторі лабораторного стенду побудована за принципом відкритої три рівневої ієрархії, яка включає польовий рівень (нижній), контролерний рівень (середній) і верхній рівень. Структурну схему комплексу апаратно-технічних засобів лабораторного стенду представлено на рис. 2.3.

Польовий (нижній) рівень складається з виконавчих пристроїв і приводів, які відповідають за регулювання та управління технологічними параметрами та контрольно-вимірювальних приладів (первинні датчики, вимірювальні перетворювачі), які здійснюють збір, передачу технологічних параметрів та встановлень вони виключно на місці проведення технологічного процесу.

У проектованій системі автоматичного регулювання тиску лабораторного стенду на польовому рівні розташовується такий вимірювальний прилад, як датчик тиску.

Також на польовому рівні встановлено регулюючий клапан.

Контролерний (середній) рівень складається з програмованого

логічного контролера (ПЛК) і модулів вводу/виводу. На контролерному рівні здійснюється збір та первинна обробка технологічних параметрів із засобів вимірювань, розміщених на польовому рівні, формування регулюючого або керуючого алгоритму, передача даних на наступний (верхній) рівень і виведення його команд.

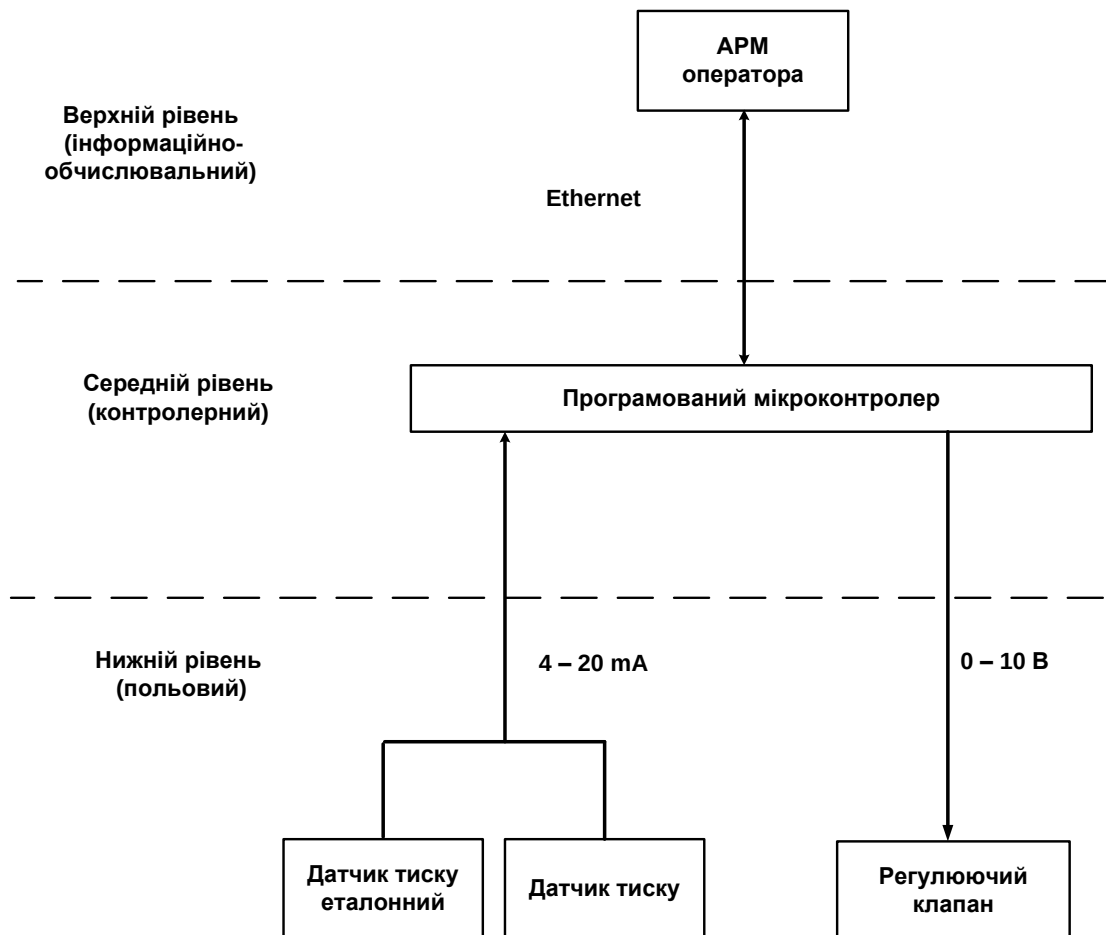


Рис. 2.3 Структурна схема комплексу апаратно-технічних засобів стенду

У проектованій системі середній рівень складається із стійки, на якій розміщені DIN-рейки для встановлення ПЛК.

Верхній рівень складається з автоматизованого робочого місця оператора (АРМ), комп'ютера з операційною системою Windows та оснащеного SCADA-пакетом. На ньому здійснюється збір та обробка

інформації з контролерного (середнього) рівня. А також на верхньому рівні виконується формування звітної документації.

На рис. 2.4 наведена функціональна схема автоматизації лабораторного стенду.

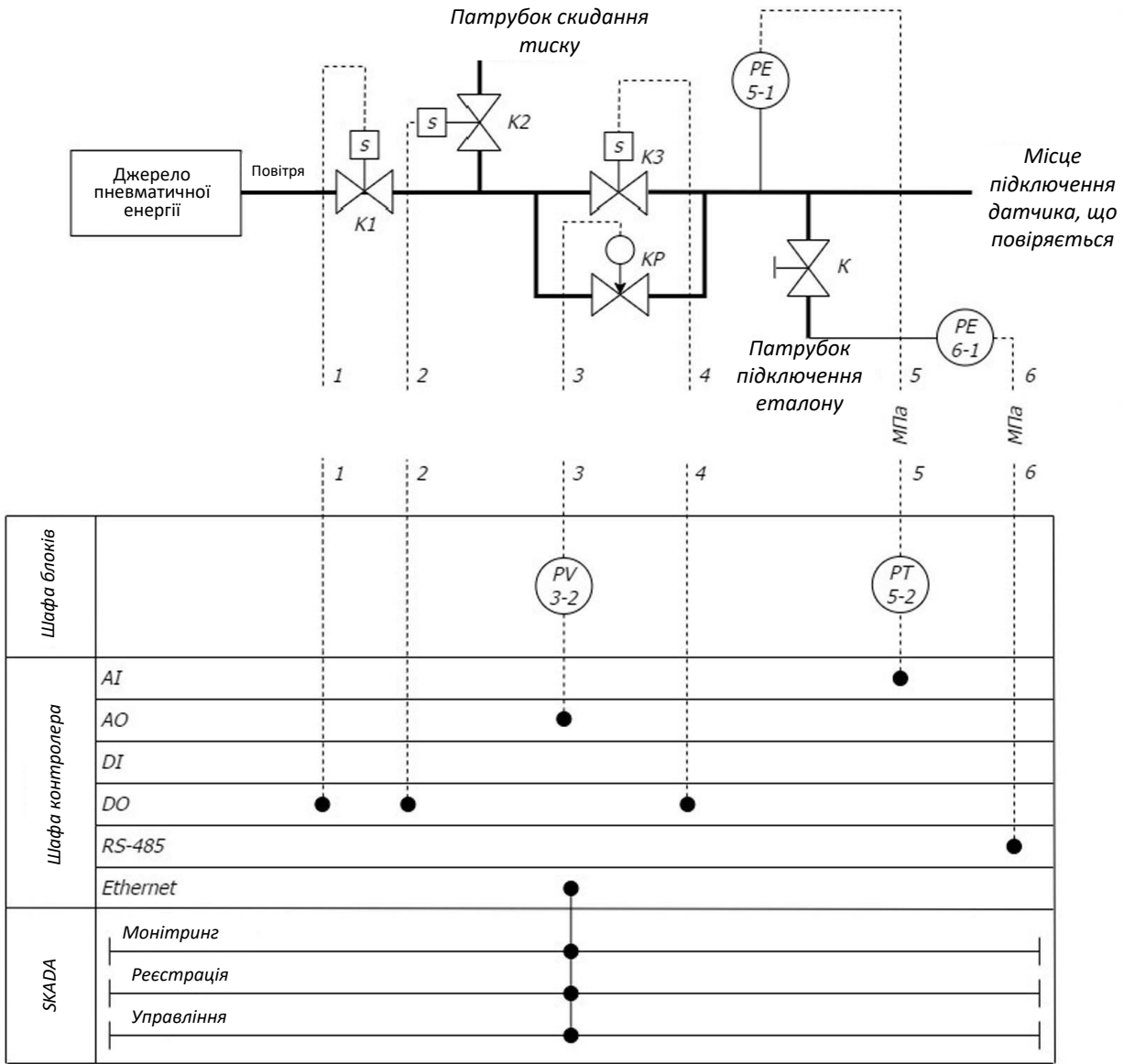


Рис. 2.4 Функціональна схема автоматизації лабораторного стенду

2.6. Розробка математичної моделі стенду

Simscape призначений для створення моделей фізичних систем в середовищі Simulink. За допомогою Simscape моделюються такі системи, як електродвигуни, мостові вщямники, гідроприводи та системи охолодження. Додаткові продукти Simscape представляють складніші компоненти та інструменти аналізу.

Simscape допомагає розробляти системи керування та тестувати продуктивність на рівні системи. Доступно створення власних моделей компонентів мовою Simscape, заснованого на MATLAB. Мова Simscape дозволяє створювати текстові компоненти, домени та бібліотеки для фізичного моделювання. Моделі параметризуються за допомогою змінних та виразів MATLAB. Системи управління для фізичної системи розробляються в Simulink».

Схема моделі стенду, спроектована за допомогою бібліотек Simscape Simulink наведена на рис. 2.5.

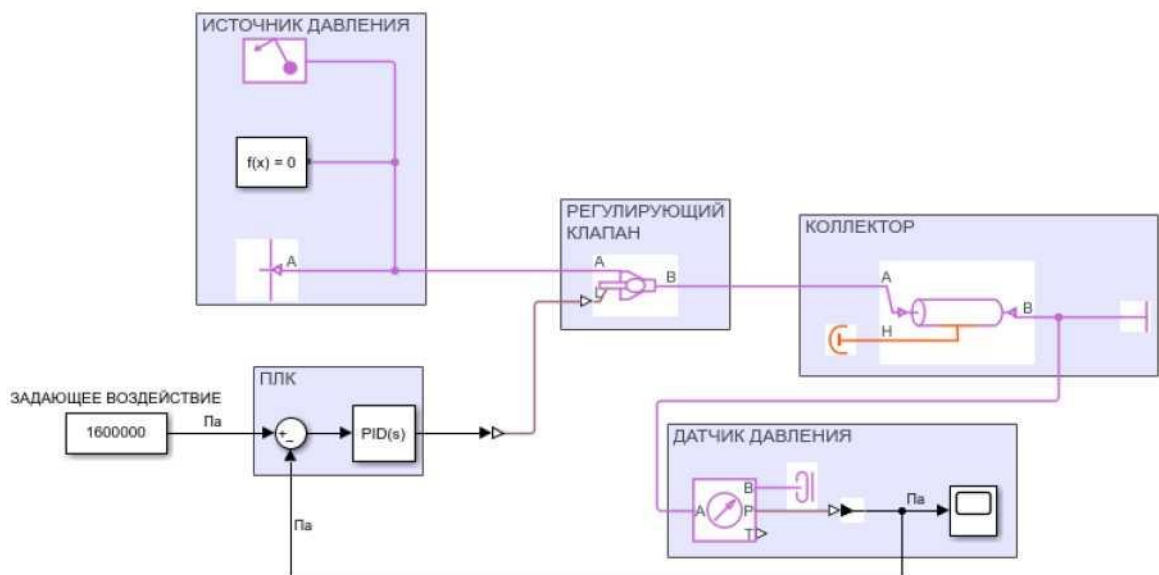


Рис. 2.5 Схема моделі стенду, спроектована за допомогою бібліотек Simscape Simulink

Для створення моделі стенду були використані наступні блоки бібліотеки Simscape:

- блок Reservoir (G), який представляє нескінченний резервуар з фіксованим тиском та температурою, іншими словами, є джерелом тиску;
- блок Gas Properties (G), за допомогою якого задаються газові властивості, які діють як глобальні параметри для всіх блоків;
- блок Ball Valve (G) моделює отвір з кулькою, що переміщається, який уповільнює потік через клапан. У повністю закритому положенні кулька спирається на парафіроване сидло, повністю блокуючи проходження рідини між отворами "A" та "B";
- блок Pipe (G) з блоком Cap (G) у даній роботі моделюють посудину з постійним об'ємом, колектор;
- блок Pressure & Temperature Sensor реалізує датчик тиску.

Рівень тиску є одним з основних технологічних параметрів, що регулюються в колекторі. Необхідно, щоб значення даного параметра підтримувалося на заданому рівні.

Як алгоритм регулювання був використаний алгоритм ПІД-регулювання. Даний алгоритм може забезпечити максимально близьке значення заданого параметра і високу швидкодію системи.

Регулювання параметра у системі відбувається так. Датчик тиску відправляє сигнал на порівняльний пристрій, де відбувається порівняння дійсного та заданого значень. Потім обчислена помилка надходить на ПІД-регулятор, далі керуючий сигнал надходить на регулюючий клапан. Відбувається регулювання тиску в колекторі.

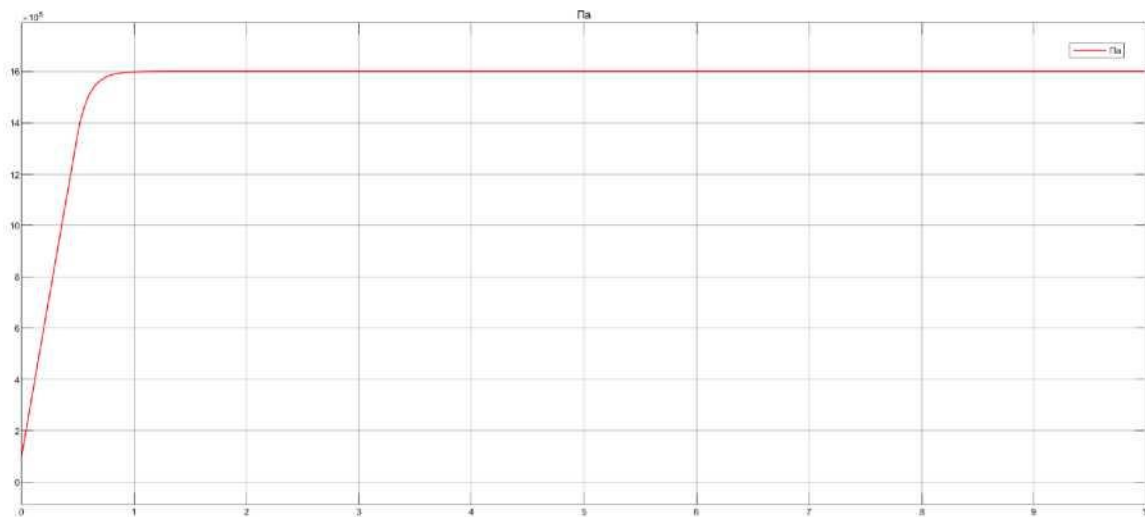


Рис. 2.6 - Графік перехідного процесу регулювання тиску в колекторі стенда в режимі перевірки герметичності датчика

Так, з рис. 2.6 видно, що час перехідного процесу дорівнює приблизно 1,2 с. Проаналізувавши результати моделювання, можна сказати, що система працездатна.

Крім того, було проведено моделювання роботи стенда в режимі калібрування датчика тиску, де отримали також задовільні результати (рис. 2.7).

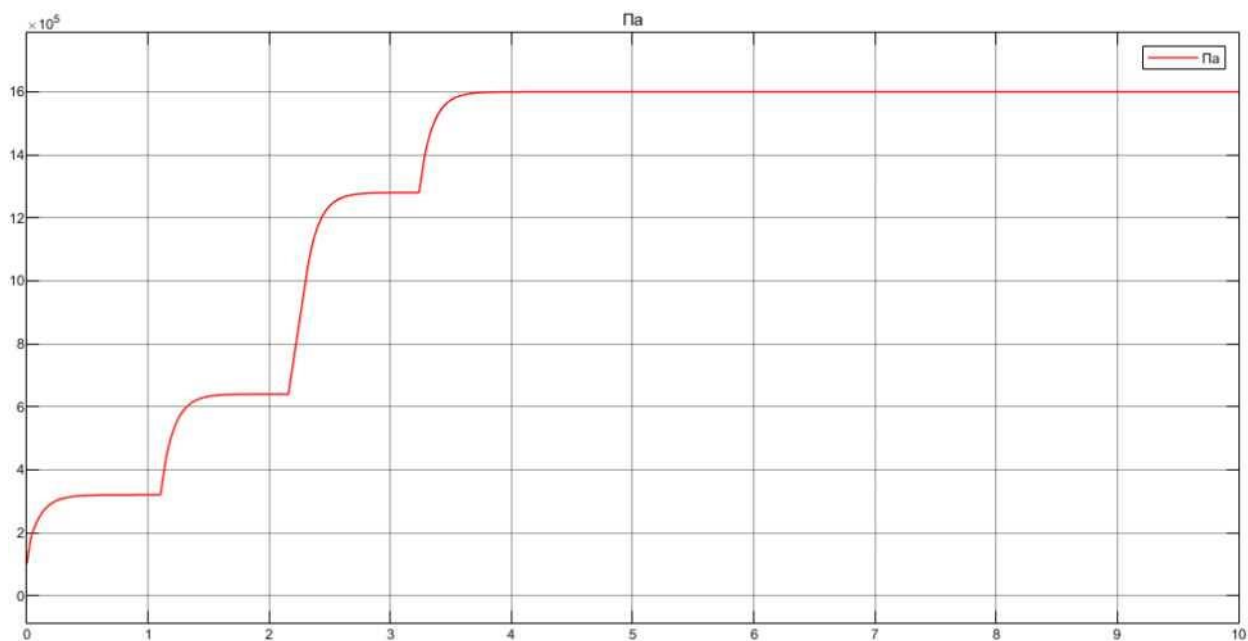


Рис. 2.7 Графік перехідного процесу регулювання тиску в колекторі стенду в режимі калібрування датчика тиску

2.7. Елементна база комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску

2.7.1. Датчик тиску Rosemount 2088

Вибір датчика тиску для контролю значення тиску в пневмосистемі лабораторного стенду був зроблений на користь датчика тиску Rosemount 2088 (рис. 2.8), , виходячи з наступних основних характеристик [12]:

- діапазон вимірів;
- вимірювана величина;
- робоче середовище;
- основна наведена похибка;
- тип вихідного сигналу;
- діапазон робочих температур.



Рис. 2.8 Датчик тиску Rosemount 2088

Простий і швидкий монтаж перетворювача надлишкового та абсолютного тиску Rosemount 2088 дає змогу завжди дотримуватися

графіка. Локальний інтерфейс оператора перетворювача з простими меню і кнопками налаштування дає змогу ввести прилад в експлуатацію без використання будь-яких інструментів. Перетворювачі також доступні в зборі з клапанними блоками і виносними мембранами [12].

Датчик Rosemount 2088, маючи компактність і малу масу, являє собою надійний і точний засіб вимірювання. собою надійний і точний засіб вимірювань. Датчик Rosemount 2088 може переналаштовуватися на діапазони від 0 до 10,34 кПа (мінімальна верхня межа вимірювань) і від 0 до 27,58 МПа (максимальний верхня межа вимірювань). Датчик також можна використовувати для вимірювання тиску-роздільності. Вимірювальні можливості датчика Rosemount 2088 забезпечують його надійну роботу практично в будь-якій сфері застосування.

Технічні характеристики:

Гарантія	Обмежена гарантія на строк до 5 років
Діапазон переналаштування меж вимірювань	До 50:1
Протокол передачі даних	4-20 мА HART®, HART® 1-5 В (мала споживана потужність)
Діапазон вимірювань	До 275,8 бар надмірне, до 275,8 бар абсолютне
Матеріали, що контактують із робочим середовищем	Нерж. сталь 316L, сплав С-276
Діагностика	Базова діагностика
Сертифікація	NSF, NACE®, небезпечні зони, повний перелік сертифікатів доступний у аркуші технічних даних

Переваги:

- Вимірювання середовища: рідина, газ, пара;

- Надлишковий, абсолютний тиск (тиск-розрідження);
- Верхні межі вимірювань від 4,137 до 27 579 кПа;
- Основна зведена похибка:
 - $\pm 0,065\%$ (ісп.Р8),
 - $\pm 0,075\%$ (базовий);
- Вихідні сигнали 4-20 мА/HART, 1-5 В/HART, можливість перемикання між 5-ою та 7-ою версіями HART;
- Переналаштування діапазону вимірювань 50:1;
- Додатково: РК індикатор, зовнішні та внутрішні кнопки управління, зовнішня кнопка нуля, кронштейни, клапанні блоки;
- Діапазон температур:
 - довкілля від -40 до 85°C ;
 - вимірюваного середовища:
 - від -40 до 121°C ,
 - від -75 до 350°C (у зборі з виносними) розділовими мембранами 1199);
- Наявність вибухозахищених виконань;

2.7.2. Датчик тиску для проведення калібрування

Для проведення на стенді калібрування датчика необхідний еталон (зразковий манометр, калібратор тиску тощо), тому вибір був зроблений на користь датчика тиску МІДА-ДІ-15-ЕТАЛОН [13] (рис. 2.9).

Вибір даного датчика ґрунтувався на таких характеристиках:

- діапазон вимірів;
- вимірювана величина;
- робоче середовище;
- основна наведена похибка;
- тип вихідного сигналу.



Рис. 2.9 - Датчик тиску МІДА-ДІ-15-ЕТАЛОН

Усі характеристики датчика докладно наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Характеристики датчика тиску [13]

№ п/п	Найменування пристрою	Характеристики
1	Діапазон вимірювань	0...2,5 МПа
2	Вимірювана величина	Надлишковий тиск
3	Робоче середовище	Гази, парогазові та газові суміші, що не кристалізуються та рідини, що не твердіють, неагресивні

		к титановим и корозійностійким сплавам
4	Межі основної наведеної похибки	± 0.05
5	Тип вихідного сигналу	0...20 мА, 4...20 мА, К8-485
6	Протокол зв'язку	Modbus RTU
7	Діапазон робочих температур	- 10.35 °С

Час затримки вихідного сигналу після подачі напруги живлення для датчиків з кодами вихідних сигналів 01, 051, 052, 53,54, 055, 56, 057, 058, 059 - трохи більше 70 мс.

Час готовності до роботи після подачі живлення для датчиків з кодами вихідного сигналу 061-063 не більше 5 мс, з кодом 064 не більше 25 мс.

Час оновлення даних для датчиків з кодом лінії 064 не більше 250 мс (з увімкненим апаратним фільтром) і не більше 25 мс з вимкненим.

Інтервал видачі даних у режимі безперервної роботи для датчиків з кодом 061, 062 трохи більше 35 мс.

Час реакції на запит датчиків з кодами вихідних сигналів 061-063 не більше 35 мс, з кодом 064 не більше 5 мс.

Примітка. - Дано час для режиму з вимкненим апаратним фільтром і без усереднення вимірюваних значень. Метод розрахунку часу реакції в залежності від кількості точок усереднення та режиму апаратного фільтра для сигналів 061-063 наведено в додатку «І».

Час готовності до роботи після подачі живлення для датчиків з кодами вихідного сигналу 061-063 не більше 5 мс, з кодом 064 не більше 25 мс.

Час оновлення даних для датчиків з кодом лінії 064 не більше 250 мс (з увімкненим апаратним фільтром) і не більше 25 мс з вимкненим.

Інтервал видачі даних у режимі безперервної роботи для датчиків з кодом 061, 062 трохи більше 35 мс.

Час реакції на запит датчиків з кодами вихідних сигналів 061-063 не більше 35 мс, з кодом 064 не більше 5 мс.

Примітка. - Дано час для режиму з вимкненим апаратним фільтром і без усереднення вимірюваних значень. Метод розрахунку часу реакції в залежності від кількості точок усереднення та режиму апаратного фільтра для сигналів 061-063 наведено в додатку «І».

Номінальні статичні характеристики всіх датчиків мають лінійно зростаючу характеристику вихідного сигналу. Для датчиків ДД з цифровим вихідним сигналом, в режимі «Контроль діапазону», «Вимкнено» (див. додатки І, К) вона лінійна при подачі тиску або розрідження з боку «плюсового» або «мінусового» входу.

Номінальна статична характеристика датчиків із незалежним від напруги живлення вихідним сигналом у вигляді напруги постійного струму має вигляд

$$U_{ВИХ} = \left[(U_B - U_H) \times \frac{P - P_{МИН}}{P_{МАКС} - P_{МИН}} \right] + U_H \quad (2.1)$$

де $U_{ВИХ}$ - поточне значення вихідного сигналу, В;

U_B - верхнє граничне значення вихідного сигналу, В;

U_H - нижнє граничне значення вихідного сигналу, В;

P - поточне значення вимірюваного тиску, МПа;

$P_{МИН}$ - нижня межа вимірювання тиску, МПа;

$P_{МАКС}$ - верхня межа вимірювання тиску (розрідження для ДВ).

Номинальна статична характеристика датчиків з вихідним сигналом у вигляді напруги постійного струму та з пропорційною залежністю від напруги живлення має вигляд

$$N = \frac{k \cdot P}{P_{MAX} - P_{MIN}} \quad (2.2)$$

де N – поточне значення тиску в кодах стандарту IEEE754 за показаннями датчика;

P – поточне значення вимірюваного тиску;

P_{MIN} - нижня межа вимірювання тиску;

P_{MAX} - верхня межа вимірювання тиску (розрідження для датчиків ДВ);

k – коефіцієнт перетворення вимірюваного тиску.

Примітка – Для вихідного сигналу, вираженого у відсотках від діапазону вимірів, $k=100\%$. Для вихідного сигналу, вираженого в одиницях вимірювання тиску (кПа, МПа, бар тощо), $k = P_{MAX} - P_{MIN}$.

Номинальна статична характеристика датчиків з вихідним вихідним сигналом 4-20 мА має вигляд

$$I_{ВИХ} = \left[(I_B - I_H) \times \frac{P - P_{MIN}}{P_{MAX} - P_{MIN}} \right] + I_H \quad (2.3)$$

де $I_{ВИХ}$ - поточне значення вихідного сигналу, мА;

I_B - верхнє граничне значення вихідного сигналу, мА;

I_H – нижнє граничне значення вихідного сигналу, мА;

P – поточне значення вимірюваного тиску, МПа;

P_{MIN} - нижня межа вимірювання тиску, МПа;

P_{MAX} - верхня межа вимірювання тиску (розрідження для ДВ), МПа.

Примітка. – Для датчиків ДІВ у формулах 2.1, 2.2, 2.3 вираз $(P - P_{MIN}) / (P_{MAX} - P_{MIN})$ замінюється на вираз $(P_{MAX} \cdot \text{розр.} + P) / P_{MAX}$ при вимірі

надлишкового тиску., і на $(P_{\text{МАКС. РОЗР.}} - P) / P_{\text{МАХ.}}$ при вимірі розрідження, де $P_{\text{МАКС. РОЗР.}}$ – верхня межа вимірюваного розрідження; $P_{\text{МАХ.}}$ - сума меж вимірювання розрідження ($P_{\text{МАКС. РОЗР.}}$) та надлишкового ($P_{\text{МАКС.}}$) тиску.

Високоточний (еталонний) датчик С призначений для високоточного вимірювання надлишкового тиску рідин і газів.

Датчики можуть використовуватися як високоточний (еталонний) засіб вимірювання тиску, так і в складі калібраторів тиску при перевірці вимірювальних перетворювачів тиску і манометрів.

Датчик М може застосовуватися як цифровий манометр при підключенні до комп'ютера або смартфона через пристрій зв'язку МІДА-ПЗ-410/408.

Датчик може бути атестований як зразок 1-го чи 2-го розряду» [9].

2.7.3. Вибір регулювального клапана

Для регулювання потоку робочого середовища стенду необхідний регулюючий клапан. Були розглянуті такі моделі регулюючих клапанів:

- клапан, що регулює CV216 RGA IMI TA [14] з електроприводом TA-MC55Y IMI TA (рис. 2.10);
 - кульовий клапан з електроприводом SMART QT7304 [15]
- кульовий з електроприводом SMART QT7304 (рис. 2.11).

Характеристики регулюючих клапанів наведено у таблицях 2.4 і 2.5.



Рис. 2.10 Регулюючий клапан CV216 RGA IMI TA з електроприводом TA-MC55Y IMI TA



Рис. 2.11 Кран кульовий з електроприводом QT7304

Таблиця 2.4 Характеристики регулюючого клапана CV216 RGA IMI TA [14]

№	Найменування параметра	
1	Умовний прохід	25 мм
2	Пропускна спроможність	10 м ³ /год.
3	Номінальний тиск	16 бар
4	Максимальна висота підйому штока	14 мм
5	Електропривод	TA-MC55Y IMI TA
6	Зусилля, що розвивається	600 Н
7	Напруга живлення приводу	24 В (пост./змін.)
8	Потужність приводу	Не більше 3,5 Вт
9	Час повного ходу	70 с
10	Вхідний сигнал	0.10 В 2.10 В 0.20 мА 4.20 мА
11	Вихідний сигнал	0.10 В

Таблиця 2.5 Характеристики крана кульового з електроприводом QT7304 [15]

№	Найменування параметра	
1	Умовний прохід	25 мм
2	Пропускна спроможність	10 м ³ /год.
3	Номінальний тиск	20 бар
4	Максимальна висота підйому штока	-
5	Електропривод	PT7304
6	Зусилля, що розвивається	-
7	Напруга живлення приводу	24 В (пост./змін.)
8	Потужність приводу	-
9	Час повного ходу	90.120 с
10	Вхідний сигнал	0.10 В 2.10 В 0.20 мА 4.20 мА
11	Вихідний сигнал	0.10 В 2.10 В 0.20 мА 4.20 мА

Як регулюючий клапан, виходячи з поставлених вимог до вибору клапана та вартості, був обраний кульовий клапан з електроприводом SMART QT7304 (рис. 2.11).

2.7.4. Вибір електромагнітних клапанів

Електромагнітні (соленоїдні) клапани встановлюються на трубопроводі для дистанційного керування відкриттям або закриттям потоку робочого середовища. Для стенду застосовні клапани 2/2 (2 лінійні, тобто 1

вхід та 1 вихід, 2 позиційні, тобто відкритий та закритий стан). Для роботи стенду більше підходять нормально закриті клапани (без подачі напруги закритий при подачі напруги відкривається).

Як клапани були розглянуті:

- SLP-10 [16]:
- SMART SB5502.



Рис. 2.12 Клапан SLP-10



Рис. 2.13 Клапан SMART SB5502

Таблиця 2.6 Характеристики клапана 8EP-10 [16]

№	Найменування параметра	
1	Напруга живлення	12 В, 24 В, 220 В
2	Виконання	Нормально закритий
3	Максимальний тиск робочий	13 бар
4	Температура довкілля	- 40.80 °C
5	Температура робочого середовища	- 20 до 120 °C
6	Робоче середовище	Повітря, вода, розчини легких олій, нафтопродукти, інші неагресивні рідини та гази

Таблиця 2.7 Характеристики клапана SMART SB5502 [17]

№	Найменування параметра	
1	Напруга живлення	24 В
2	Виконання	Нормально закритий
3	Максимальний тиск робочий	20 бар
4	Температура довкілля	0.65 °C
5	Температура робочого середовища	- 10.120 °C
6	Робоче середовище	Вода, пара, повітря, неагресивні гази

Для системи, що розробляється, був обраний електромагнітний SMART SB5502 Т.К. Його характеристики відповідають вимогам проекту, що розробляється.

2.7.5. Контролер Modicon M171

Для збору та обробки сигналів з датчиків та формування подальших команд для управління виконавчими механізмами необхідний промисловий логічний контролер.

Вибір ПЛК для проекту, що розробляється, повинен відповідати наступним вимогам:

- працювати у несприятливих умовах;
- мати вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи;
- підтримувати уніфіковані сигнали 0...10 В та 0...20 мА. 4...20 мА;
- підтримувати периферію, тобто додаткові модулі;
- працювати без тривалого обслуговування;
- мати найменшу вартість

Вибираємо логічний контролер Modicon M171 [18].

Логічні контролери Modicon M171/172 мають кращу в класі масштабованість і енергетичну безпеку

- ПЛК Modicon M171, призначені для систем управління (BMS). Контролери забезпечують великий обсяг пам'яті, I/Os та вбудований веб-сервер

- ПЛК Modicon M172 для систем з вищими вимогами для більш високої продуктивності та масштабованості



Рис. 2.14. Контролер Modicon M171

Вбудовані всі необхідні функції [18]:

- Широкий вибір дискретних та аналогових входів/виходів
- Протоколи Modbus SL, Modbus TCP, BACnet MS/TP, BACnet/IP, CAN, Profibus, ASCII, LonWorks
- Завдяки вбудованій функції WebVisu ви можете читати та записувати дані та робити відповідні коригування у будь-якому місці
- Живлення: 12-24 В пров./пост. струму або 100-240 В пров. струму
- Простота та продуктивність

Завдяки високому ступеню універсальності дуже просто встановлювати додаткові модулі – при цьому все відбувається в одній конфігурації:

- Віддалені дисплеї
- Модулі розширення
- Комунікаційні модулі

Технічні характеристики

Серія продукту	Modicon M171/M172
Тип виробу або компоненту	Контролер
Конкретне застосування виробу	ОВіК та насосні рішення
Виконання	Програмований
Всього входів/виходів	14
Кількість дискретних входів	2
Кількість дискретних виходів	3 для релейні виходи SPST з одним загальним 1 для релейні виходи SPDT з одним загальним
Струм дискретного виходу	2 А для Реле
Кількість аналогових входів	2 допускає можливість зміни конфігурації 3 аналоговий вхід NTC
Кількість аналогових виходів	2 напруга, діапазон: 0...10 В 2 ШІМ/ФІМ, діапазон: 20 кГц, 12 В, 35 мА 1 струм, діапазон: 0...20 мА/4...20 мА
Кількість портів	1 Шина розширення локальної мережі
Кількість входів/виходів	5 аналоговий вихід 4 цифровий вихід 5 аналоговий вхід
Логіка дискретних входів	Споживач або джерело струму (позитивний / негативний)
Використання контактів	Без вольтові контакти
Тип аналогового входу	напруга 0...5 В (ратіометричний) напруга 0...10 В NTC датчик температури - 50...100 °C -

	роздільна здатність 0.1 °C Pt 1000 датчик температури - 50...400 °C - роздільна здатність 0.1 °C струм 0...20 мА/4...20 мА напруга 0...1 В
Живлення датчика	12 В постійна напруга на 85 мА
[Us] номінальна напруга живлення	100...240 В
Ширина	70,2 мм
Висота	87 мм
Глибина	61,6 мм
Маса нетто	0,19 кг

Габаритні розміри наведено на рис. 2.15.

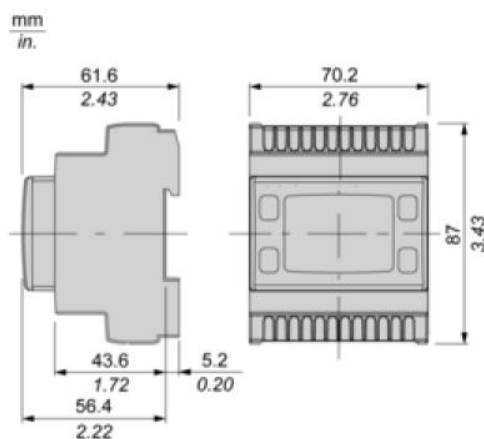


Рис.2.15 Габаритні розміри контролера Modicon M171

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ

3.1. Пристрій діагностики електричної схеми датчика

Пристрій діагностики електричної схеми датчика являє собою пристрій, призначений для діагностики входних сигналів датчика через перетворювач інтерфейсу та перевірки справності входних і вихідних аналогових ланцюгів датчика «шляхом подачі на контакти "Тест +" і "Тест -" сигналу перевірки за дво провідною схемою струму від 16 до 32 ст. Для перетворювачів в режимі контролю функціонування (діагностики) повинні бути видані вихідні сигнали «Помпаж_НО» і «Помпаж_НЗ», інверсні фактичному стану сигналів перетворювача на момент перевірки (контролю)» [3].

Також через нього реалізовано живлення напругою датчика пульсуючого тиску.

Схема аналогових входних та вихідних ланцюгів представлена в додатку А.

3.2. Розробка електричної схеми підключення обладнання стенду

Електрична схема підключень стенду, що розробляється, представлена на рис. 3.1.

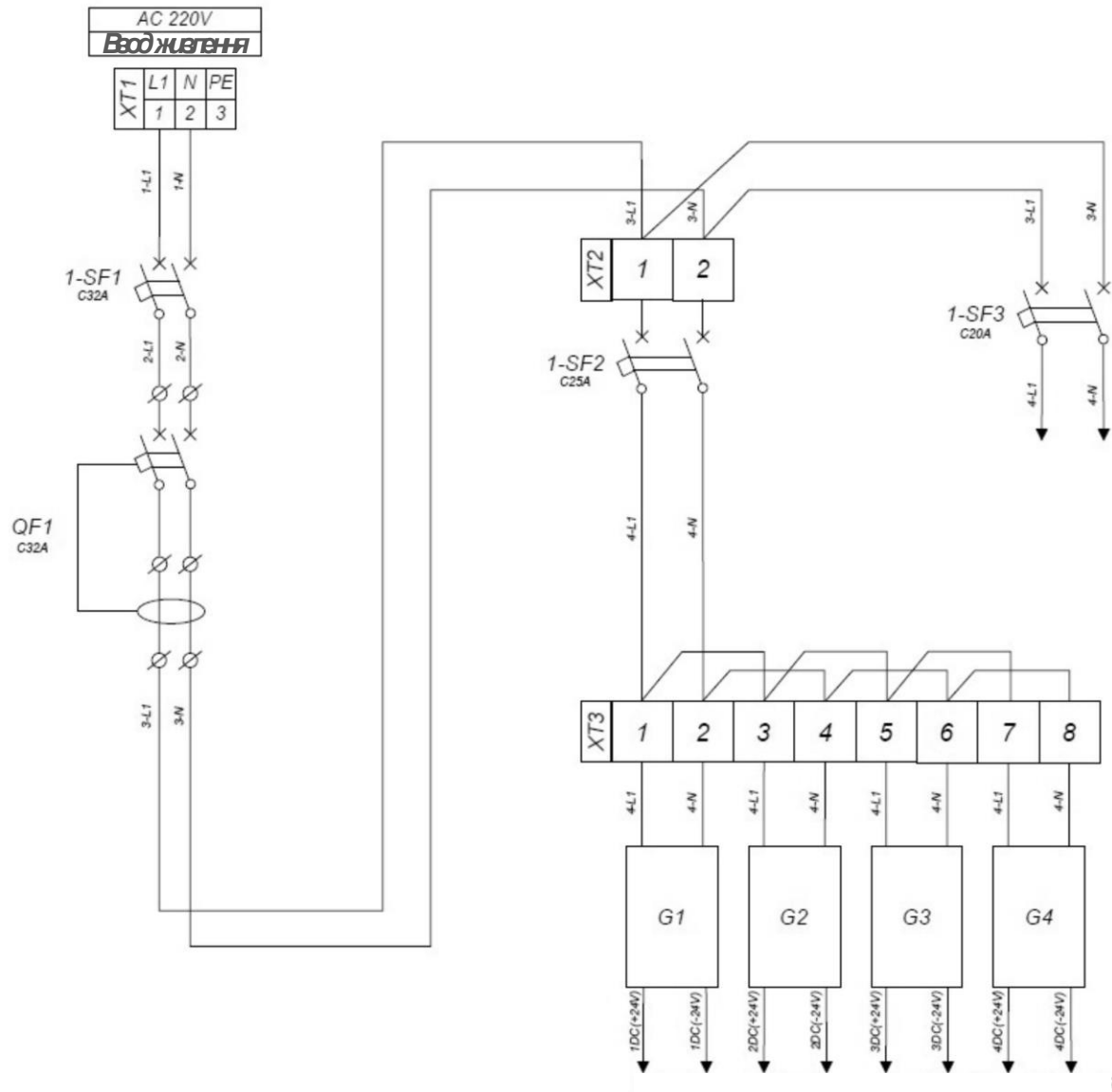


Рис. 3.1. Електрична схема підключень стенду

3.2. Розробка схеми з'єднань зовнішньої проводки

Схема з'єднань зовнішніх проводок - це комбінована схема, на якій зображені електричні та трубні зв'язки між приладами та засобами автоматизації, встановленими на технологічному, інженерному обладнанні та комунікаціях (трубопроводах, повітроводах та т.д.), поза щитами та на щитах, а також зв'язки між щитами, пультами, комплексами чи окремими пристроями комплексів.

Відповідно до схеми автоматизації всі канали вимірювання та канали управління виконані на основі уніфікованого сигналу 4-20 мА. Усі провідники пронумеровані.

Для об'єднання окремих проводів від приладів на відстані встановити: клемні сполучні коробки (КСК), але в даному проекті КСК було вирішено не використовувати, оскільки використовується один прилад.

Кожному КВПіА присвоєно номер позиції, що відповідає функціональній схемі автоматизації. Сегменти кабелю між клемними колодками пронумеровані наскрізною нумерацією. Клемні колодки приладів відповідно до документації постачальника виконані по 3-х клемній монтажній конструкції. По 1 та 2 клеми призначені для електричного живлення приладів та сигналу 4-20 мА. 3-та клема призначена для заземлення приладу.

В якості кабелів від приладів до шафи КВП вибраний кабель КВВГнг чотирижильний (рис. 3.2).



Рис. 3.2.- – КВВГнг 4×1

Конструкція:

- струмопровідна жила – мідна одно провідна жила першого класу за ГОСТ 22483-77,
- ізоляція – негорючий ПВХ пластикат різного забарвлення,
- заповнення – ПВХ пластикату зниженої пожежної небезпеки,
- оболонка – пожежобезпечний ПВХ пластикат».

Кабель КВВГнг є конструкцією з мідних жил в ізоляції, а також в

оболонці із пластику.

Електротехнічний контрольний кабель КВВГНГ призначений для приєднання до електроапаратури, електроприладів.

Для захисту електричних проводок від механічних пошкоджень, попадання пилу та вологи, монтажний кабель прокладено в лотку.

Схема зовнішньої проводки для лабораторного стенду показані на рис. 3.3.

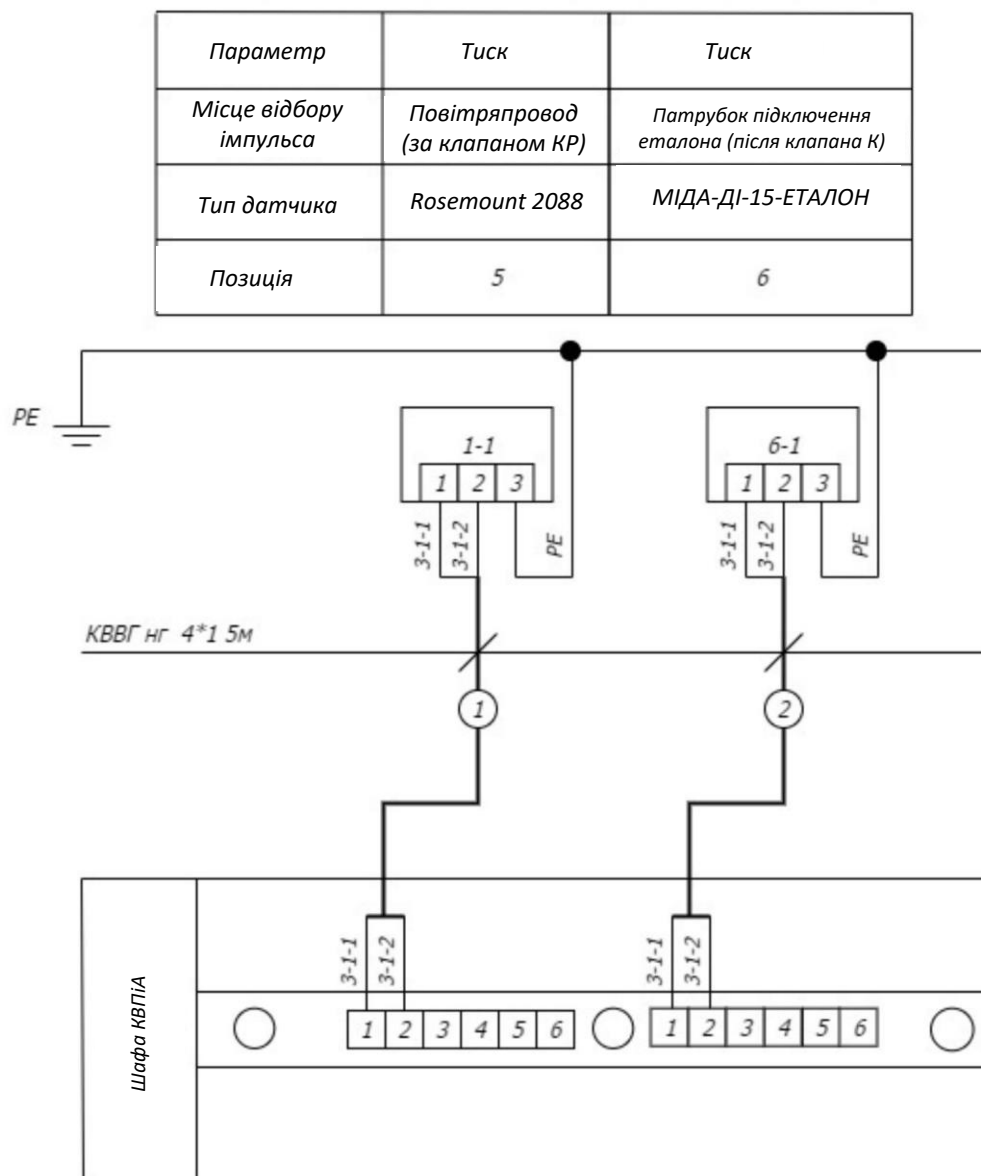


Рис. 3.3. Схема зовнішньої проводки для лабораторного стенду

3.3. Реалізація схеми пристрою діагностики

Схема пристрою діагностики наведена у додатку А. Вона складається з наступних елементів:

- 2 резистора опором 5,6 кОм;
- 4 резистора опором 2,4 кОм;
- 4 зелених світлодіода (напруга 24 В);
- 2 красних світлодіода (напруга 24 В);
- 2 тумблера двохпозиційних.

Технічні характеристики перетворювача інтерфейсів USB-RS485 був представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики перетворювача інтерфейсів USB-RS485

№	Найменування параметра	Значення параметра
1	Технічні характеристики	Клемна колодка під вінт, провід 0,13...0,82 кв. мм
2	Тип підключення RS-485	від USB-порту ПК
3	Живлення приладу	
4	Споживаний струм, не більше	200 мА
5	Тип обміну даними	напів дуплексний
6	Швидкість передачі даних	110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с
7	Електрична міцність ізоляції	до 2500 В протягом 1 хвилини
8	Робочий діапазон температур	- 30...50 °С

9	Відносна вологість повітря	до 93 % при + 40 °С
10	Габаритні розміри	19 × 67 × 11 мм
11	Маса, не більше	11 г
12	Середній термін служби	не менше 8 років

Далі перетворювач інтерфейсу комутується двома виходами "DATA-", "DATA+" клемною коробкою під гвинт.

Для забезпечення живлення обладнання був використаний модуль гарантованого живлення СІЕЛ-1941 (рис. 3.4). Технічні характеристики блоку живлення представлені у таблиці 3.2.



Рис. 3.4 Модуль гарантованого живлення СІЕЛ-1941

Таблиця 3.2. Технічні характеристики блоку живлення

№ п/п	Технічні характеристики	Значення
1	Основне живлення	220 В, частота 50Гц
2	Номінальна вихідна напруга	23,53...24,48 В
3	Максимальний струм навантаження	0,23 А
4	Струм споживання	Не більше 65 мА
5	Величина опору навантаження	104,3 Ом
6	Маса	270 г
7	Габаритні розміри	23 × 99 × 114 мм

3.4. Робота пристрою діагностики електричної схеми датчика тиску

Для проведення діагностики електричної схеми датчика тиску, а саме вихідних сигналів, датчик, що перевіряється, встановлюють на кронштейн, а потім до нього підключають пристрій для перевірки електричної схеми.

Далі необхідно переконатися у правильності підключення всіх контактних груп (заземлення, напруга живлення та ін.).

Перевірка аналогових вхідних та вихідних ланцюгів починається з подачі напруги живлення на датчик перемиканням тумблера «Живлення» в положення «ВКЛ», після чого спостерігається індикація світло діодів "Живлення", "НЗ", "Випр.".

Після подачі напруги живлення на датчик та контролю індикації, приступають до наступного етапу перевірки, подачі сигналу «ТЕСТ» перемиканням тумблера SA1 в положення «Увімк. Тест». Після подачі сигналу піде індикація на світлодіоді «Тест», а також на світлодіоді «НО» .

Вихідні сигнали «Помпаж_НО» та "Помаж_НЗ" стали інверсними фактичному стану сигналів датчика. Індикацію стану даних сигналів відображають світлодіоди «НО» та "НЗ".

Таким чином, індикація вихідних сигналів світлодіодами пристрою для діагностики датчика відображається правильно під час впливу сигналу «ТЕСТ». Отже, датчик вважається таким, що витримав випробування.

Перевірка вихідних сигналів датчика цифрового інтерфейсу

Перевірка вихідних сигналів датчика пульсуючого тиску "Помпаж НО", "Попередження помпажу" та "Справність" проводять за цифровим інтерфейсом RS-485.

Для перевірки датчик підключимо до джерела живлення (ДЖ) та до ПК

за допомогою цифрового інтерфейсу, після чого запустимо програму діагностики датчика помпажу «SensorPompage.exe» та проведемо пошук датчика. Потім проведемо зчитування даних із датчика кнопкою «Читання даних» та здійснимо контроль прийому даних від датчика.

Після встановлення підключення та зчитування даних проведемо тест. Для цього у вкладці «Тест» послідовно здійснимо натискання на кнопки контролю сигналів за цифровим інтерфейсом «Помпаж», «Справність», «Попередження помпажу».

Далі проконтролюємо зміну стану індикації цих сигналів у вікні програми, а також виконання цих команд аналоговими ланцюгами зміною стану відповідними індикаторами пристрою для перевірки електричної схеми датчика тиску «НО», «Випр.» та «Предпомп.».

Таким чином, при подачі команд контролю цифрового каналу індикація вихідних сигналів датчика відображається правильно у вікні програми, а також світлодіодами пристрою діагностики під час впливу команд.

Так за результатами перевірки можна сказати, що датчик вважається таким, що витримав випробування.

Завершуючи перевірку сигналів, кнопки контролю повертаємо у вихідний стан і повторно робимо прийом і контроль даних від датчика.

4. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ТИСКУ

4.1. Визначення основної наведеної похибки

Визначення основної наведеної похибки роблять, розбиваючи діапазон вимірювання датчика на п'ять рівнів інтервалів, що відповідає шести точкам, включаючи мінімальне (P_o) та максимальне (P_{max}) значення.

Перед визначенням основної наведеної похибки на датчик повинні бути виконані подача та скидання вимірюваного параметра, що дорівнює (80-100) % від верхньої межі вимірювання (ВМВ). Після чого перетворювач повинен бути витриманий при включеному стані не менше 15 хв.

На датчик подати тиск і в кожній точці зняти показання вхідного сигналу в послідовності спочатку від менших значень тиску до більших (від P_o до P_{max} - прямий хід), потім від великих значень тиску до менших (від P_{max} до P_o - зворотний хід).

Потім основну наведену похибку γ_0 розраховують за формулою:

$$\gamma = \frac{P - P_p}{P_{max}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де P – вимірюване датчиком значення;

P_p – задане значення;

P_{max} – верхня межа вимірювання (ВМВ) датчика.

Отримання значення γ_0 закруглити до двох значущих цифр ».

Датчик визнають придатним, якщо у всіх точках, що перевіряються, основна наведена похибка задовольняє вимогам технічних умов.

4.2. Розрахунок похибок виміру

Одним з факторів, що впливають на точність вимірювання тиску, є температура середовища і температура навколишнього середовища. Таким чином, треба враховувати нагрівання або охолодження чутливого елемента. Зробимо розрахунки абсолютної та наведеної похибок з урахуванням впливу максимально допустимих температурних відхилень.

Виберемо прилад із класом точності: 0.075%.

Наведена похибка визначається формулою:

$$\gamma = \pm \frac{100 \cdot \Delta}{X_N}, \quad (4.2)$$

де: γ – межа допустимої наведеної похибки у % від нормуючого значення ($\pm 0,075$),

X_N – нормуюче значення (10 МПа),

Δ – абсолютна похибка.

Виразивши з цього виразу абсолютну похибку:

$$\Delta_1 = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} \quad (4.3)$$

$$\text{отримаємо значення } \Delta_1 = \pm \frac{0,075 \cdot 100}{100} = \pm 0,075 \text{ МПа}$$

Середньоквадратичне відхилення похибки засобу вимірювання визначимо як:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta_1}{K}, \quad (4.4)$$

де: $k = 1,7$ – ентропійний коефіцієнт для рівномірного закону розподілу похибок.

$$\text{У результаті отримаємо значення } \sigma_1 = \frac{0,075}{1,7} = 0,044$$

Абсолютна похибка з урахуванням температури визначається як

$$\Delta_2 = \left[\frac{\Delta_1}{2} + \alpha \cdot (t - t_n) \right], \quad (4.5)$$

де: α – температурний коефіцієнт (0,00039),

t_n – температура за нормальних умов (20°C),

t – максимальна температура відхилення при роботі в якій розрахований прилад від -40°C до + 60°C.

Після підставлення відповідних значень отримаємо

$$\Delta_2 = \left[\frac{0,075}{2} + 0,00039 \cdot (60 - 20) \right] = 0,0531 \text{ МПа}$$

Середньоквадратичне відхилення визначимо як

$$\sigma_2 = \frac{\Delta_2}{K}, \quad (4.6)$$

$$\text{в результаті, отримуючи значення } \sigma_2 = \frac{0,0531}{1,7} = 0,031 \text{ МПа}$$

Сумарне середньоквадратичне відхилення засобу вимірювання знайдемо з виразу:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4.7)$$

$$\text{воно виходить рівним } \sigma_\Sigma = \sqrt{0,044^2 + 0,031^2} = 0,054.$$

Тоді сумарна величина абсолютної похибки засобу вимірювання визначиться як

$$\Delta_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma} \cdot K \quad (4.8)$$

і дорівнюватиме $\Delta_{\Sigma} = 0,0028 \cdot 1,7 = 0,0047$.

Наведену похибку засобу вимірювання знайдемо за формулою:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{\Sigma}}{X_N} \cdot 100 \quad (4.9)$$

$\gamma = \pm 0,047 < 0,075$, що й потрібно за завданням.

4.3. Розрахунок похибки вимірювального каналу

Нормування похибки каналу вимірювання виконується відповідно до ДСТУ-Н РМГ 62:2006 "Забезпечення ефективності вимірювань під час керування технологічними процесами. Оцінювання похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації" [19].

Розглянемо приклад розрахунку похибки каналу вимірювання тиску. Вимога до похибки каналу вимірювання не більше 0,2 %. Розрядність АЦП становить 16 розрядів.

Розрахунок допустимої похибки вимірювання датчика тиску здійснюється за формулою (4.10):

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2)}, \quad (4.10)$$

де $\delta = 0,2\%$ - необхідна сумарна похибка вимірювання каналу вимірювань при довірчій ймовірності 0,95;

δ_2 – похибка передачі по каналу вимірювань;

δ_3 – похибка, яку вносить АЦП;

$\delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7$ – додаткові похибки, що вносяться температурою навколишнього повітря, перешкодами різного виду, тиском вимірюваного середовища та іншими факторами відповідно.

Похибка передачі по каналу вимірювань встановлюється рекомендаціями [19]:

$$\delta_2 = \frac{0,2 \cdot 4}{100} = 0,008 \text{ \%}.$$

Похибка, що вноситься 16-ти розрядним АЦП, розраховується наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{0,2 \cdot 100}{2^{16}} = 0,0003 \text{ \%}.$$

При розрахунку також враховуються додаткові похибки, викликані впливом:

- температури навколишнього повітря;
- перешкод різного виду;
- тиску вимірюваного середовища;
- інших факторів.

Додаткова похибка, яку вносить вплив температури навколишнього повітря, встановлюється рекомендаціями [19]:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить перешкоди різного виду, встановлюється рекомендаціями [19]:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить тиск вимірюваного середовища, встановлюється рекомендаціями [19]:

$$\delta_6 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносять інші фактори, встановлюється рекомендаціями [19]:

$$\delta_7 = \frac{0,2 \cdot 36}{100} = 0,072 \text{ \%}.$$

Таким чином, підставивши в формулу (4.10) отримані значення, розрахуємо допустиму основну похибку вимірювача тиску:

$$\delta_1 = \sqrt{0,2^2 - (0,008^2 + 0,0003^2 + 0,066^2 + 0,002^2 + 0,002^2 + 0,072^2)} = 0,17 \text{ \%}.$$

В результаті розрахунку видно, що основна похибка обраного вимірювача не перевищує допустимої розрахункової похибки. Отже, прилад придатний для використання.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комп'ютеризований лабораторний стенд для перевірки та калібрування датчика тиску, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання і протікання процесу перевірки та калібрування.

Мета роботи – розробка автоматизованого лабораторного стенду для перевірки справності та калібрування датчика пульсуючого тиску.

Розроблений стенд може застосовуватися в метрологічних лабораторіях підприємств, зосереджених на транспорті газу, і його застосування можливе й у освітніх цілях.

Був вивчений вимірювальний перетворювач тиску його пристрій, а також принцип дії.

Виконано розробку структурної і функціональної схеми комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску.

Вибрано вимірювальні засоби та елементну базу автоматизованої комп'ютеризованого лабораторного стенду для перевірки та калібрування датчика тиску.

У процесі виконання випускної кваліфікаційної роботи виконана розробка фізичної моделі стенду в Simulink MATLAB, електричної схеми підключення обладнання та схеми зовнішніх проводок.

Застосування розробленої системи контролю обладнання стенду дозволить виконати безперервний збір первинної інформації від пристроїв нижнього рівня; обробку первинної інформації; керування стадіями процесу калібрування у автоматичному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. – К.: №1314- VII-ВР, 05.06.2014 р
2. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчук; За ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2005. – Т.1. Основи метрології.-532 с.
3. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчук; За ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2005. – Т.2. Вимірювальна техніка.-656 с.
4. Вимірювання тиску. Навчальний посібник / І.С. Петришин, Б.М. Сафронов – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 269 с.
5. Вимірювання тиску в рідинах і газах. Методичні вказівки до лабораторної роботи №1 з дисциплін "Технічна механіка рідин і газів", "Гідрогазодинаміка", "Гідравліка, гідро- та пневмоприводи" // Укладачі В.М. Жук, А.С. Пасічник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2003. – 18 с.
6. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина I : конспект лекцій / уклад. В. В. Кухарчук. Вінниця : ВНТУ, 2020. 148 с.
7. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронне видання]: навч. посіб. / Д. Л. Лавренова, В. М. Хлистов. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.
8. Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю : підручник / Баль-Прилипко Л. В., Слободянюк Н. М., Поліщук Г. Є., Паска М. З., Бурак В. Є. – Київ : Компринт, 2017. – 573 с.
9. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
10. ДСТУ 3711-98 Засоби вимірювань тиску. Терміни та визначення

11. https://www.elta-tsp.com/catalog/datchiki_i_rele_davleniya/datchiki_i_preobrazovateli_davleniya/548/
12. https://www.testrite.com.ua/ua/emerson_rosemount_2800.php
13. https://metrolog.com.ua/ua/product/datchik_midadi01p_1_mpa_420ma
14. <https://itorus.com.ua/dvuhhodovoy-reguliruyuschiy-klapan-imi-ta-hydronics-cv216rga-du-15-1-2-vr-kvs2-5-60-230-415/>
15. <https://akvatechnica.ua/kran-smart-qt7304-06-dvukhkhodovoj/>
16. https://armatura.net.ua/ru/klapan-elektromahnitnyi-slp08e11-10.5l-g-1-4-0-10bar/?srsltid=AfmBOor2Jp83kyUHjDLXjEHbrnNWq_moBGr4jZbQNwbwjHLIFZojSaL_
17. <https://s.siteapi.org/ca29435e52bc3ed/docs/67iu49odf6gw8s8wcws4o4844kog04>
18. <https://www.se.com/ua/uk/product/TM171>
19. ДСТУ-Н РМГ 62:2006 "Забезпечення ефективності вимірювань під час керування технологічними процесами. Оцінювання похибки вимірювань при обмеженій вихідній інформації".