

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Забезпечення якості випробувань цифрового барометра
(тема)

Виконав: студент II курсу, групи ЗЯМ-22-2

Натаров М.В.
(прізвище, ініціали)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Забезпечення якості»
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Дегтярьов О.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Захаров І.П.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Забезпечення якості»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» січня _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Натарова Микиті Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Забезпечення якості випробувань цифрового барометра
затверджена наказом по університету від 03 листопада 2023 р. № 1294 Ст
- Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10 січня 2024 р.
- Вихідні дані до роботи: засіб вимірювальної техніки для якого розробляється методика випробувань: цифровий барометр мрки HP03SA;
Нормативне забезпечення: РМГ 51-"Документи на методики порівняння засобів вимірювань";
МІ 187 "ДСВ. Критерії достовірності та параметри методик порівняння"
ДСТУ 2708 "Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та проведення";
МІ 188 "ДСВ. Встановлення значень параметрів методик перевірки. вивід інформації на цифровий дисплей й струмовий вихід 0-5 мА, 0-20 мА, двунправлений зв'язок з комп'ютером із застосуванням інтерфейсу RS-232 або RS-485)
Апаратне забезпечення: персональний комп'ютер "Logic Power», 2.4 ГГц, ОЗУ 16 Гб, Програмне забезпечення: ОС Windows.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: 4.1 Барометри. Види, принципи дії; 4.2 Основні техніко-метрологічні характеристики барометра ВПС 4.3 Будова і принцип роботи барометра ВПС; 4.4 Розробка методики випробувань цифрового барометра.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1 Назва кваліфікаційної роботи. 5.2 Мета та задачі роботи. 5.3 Обґрунтування вибору методу вимірювання. 5.4 Барометри. Види, принципи дії; 5.5 Основні техніко-метрологічні характеристики барометра НР03СА 5.6 Будова і принцип роботи барометра НР03СА; 5.7 Розробка методики випробувань цифрового барометра типу НР03СА.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та методів її вирішення	03.11.2023 – 12.11.2023	
2	Розробка програми випробувань	13.11.2023 – 20.11.2023	
3	Розробка методики випробувань	21.11.2023 – 30.11.23	
4	Розробка протоколу випробувань	01.12.2023 – 10.12.2023	
5	Написання пояснювальної записки	11.12.2023 – 23.12.2023	
6	Виконання графічної частини	24.12.2023 – 09.01.2024	
7	Представлення закінченої кваліфікаційної роботи на кафедрі	10.01.2024	

Дата видачі завдання 03 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Дегтярьов О.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 49 сторінок, 5 рисунків, 3 таблиць, перелік посилань з 16 назв.

ВИПРОБУВАННЯ, МЕТОДИКА ПОВІРКИ, БАРОМЕТР, ОПЕРАЦІЇ ПОВІРКИ, ЗАСОБИ ПОВІРКИ, МЕТОД ПОВІРКИ, КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ПОВІРКИ, АБСОЛЮТНА ПОХИБКА

Об'єкт дослідження – розробка елементів методики випробувань цифрового барометра.

Мета роботи – вдосконалення метрологічного забезпечення єдності вимірювань атмосферного тиску шляхом розробки методики випробувань цифрового барометра.

Методи досліджень – аналіз існуючої нормативної бази на предмет розробки випробувань, методи передачі розміру фізичних величин, методи обробки результатів вимірювань.

Розглянуто сутність, цілі, завдання випробувань засобів вимірювань. Запропоновано нормативні документи відповідно до яких здійснюють розробку методики випробувань. Розроблено методику випробувань цифрового барометра. Запропоновані операції і засоби випробувань. Проведена оцінка результатів випробувань. Запропоновано критерії якості повірки.

ABSTRACT

The explanatory note to degree work contains 49 pages, 5 figures, 3 tables, reference list for 16 items.

TESTING, VERIFICATION METHOD, BAROMETER, VERIFICATION OPERATIONS, VERIFICATION MEANS, VERIFICATION METHOD, VERIFICATION QUALITY CRITERIA, ABSOLUTE ERROR

The object of the research is the development of elements of the digital barometer testing methodology.

The purpose of the work is to improve the metrological assurance of the unity of atmospheric pressure measurements by developing a methodology for testing a digital barometer.

Research methods – analysis of the existing regulatory framework for the development of tests, methods of transferring the size of physical quantities, methods of processing measurement results.

The essence, goals, tasks of tests of measuring instruments are considered. Regulatory documents are proposed in accordance with which the testing methodology is developed. A methodology for testing a digital barometer has been developed. Proposed operations and means of testing. Evaluation of test results was carried out. Verification quality criteria are proposed.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів	7
Вступ.....	8
1 Огляд барометрів та методів їх роботи.....	10
1.1 Аналіз вимог законодавства.....	10
1.2 Чинні нормативні документи.....	12
1.3 Барометри.....	12
1.4 Цифровий барометр.....	15
2 Характеристика цифрового барометру HP03SA.....	26
2.1 Огляд приладу.....	26
2.2 Характеристики пристрою.....	27
3 Випробування.....	28
3.1 Огляд методу випробування.....	28
3.2 Мета та завдання.....	30
3.3 Компоненти автоматизованої виробничої системи.....	30
3.4 Визначення точності та надійності результатів.....	31
3.5 Проведення випробувань.....	35
4 Рекомендації щодо покращення якості випробувань.....	39
4.1 Калібрування та перевірка.....	40
4.2 Тестування навколишнього середовища.....	40
4.3 Тестування надійності та довговічності.....	41
4.4 Перевірка програмного забезпечення та мікропрограми.....	41
4.5 Інтерфейс користувача та тестування на людський фактор.....	42
4.6 Рекомендації для поліпшення результатів з боку випробувальної установки.....	42
4.7 Кваліфікація персоналу.....	45
Висновки.....	47
Перелік посилань.....	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БП – барометричний перетворювач

ВАС - вузол автоматичного стеження

ТАРП – тимчасовий автоматичний регулятор посилення

ВФ - видільник фронту

ГЗІ - генератор зондувальних імпульсів

ГРІ - генератор рахункових імпульсів

ГТІ – генератор тактових імпульсів

П – перемикач

ПВ (ПУ) – перемножуючий вузол

УС (СС) - узгоджувальна схема

ПВ (СУ) - підсумовуючий вузол

П (У) – підсилювач

ВОС (УО) - вузол обробки сигналу

ЦБ – цифровий барометр

ВСТУП

У основі забезпечення однаковості засобів вимірювань лежить система передачі розміру одиниці вимірюваної величини. Технічною формою нагляду за одноманітністю засобів вимірювань є державна (відомча) перевірка засобів вимірювань, що встановлює їх метрологічну справність.

Випробування засобів вимірювань - сукупність операцій, що виконуються в цілях підтвердження відповідності засобів вимірювань метрологічних вимог. Повірка спрямована на визначення метрологічного органу похибок засобів вимірювань і встановлення його придатності до застосування.

Придатним до застосування протягом певного міжповірчого інтервалу часу визнають ті засоби вимірювань, перевірка яких підтверджує їх відповідність метрологічним і технічним вимогам до цього засобу вимірювання.

Законодавчо встановлено такі види перевірки: первинна перевірка - це перевірка, що виконується до введення в експлуатацію засобу вимірювань або після ремонту, а також при ввезенні засобу вимірювань з-за кордону, при продажу; нечергова перевірка - це перевірка засобу вимірювань, що проводиться до настання терміну його чергової періодичної перевірки; періодична перевірка – це перевірка засобів вимірювань, що у експлуатації чи зберіганні, виконується через встановлені межповерочні інтервали часу; інспекційна перевірка – це перевірка, що проводиться органом державної метрологічної служби під час проведення державного нагляду за станом та застосуванням засобів вимірювань; експертна перевірка проводиться у разі виникнення розбіжностей з питань, які стосуються метрологічних характеристик, справності засобів вимірів і придатності їх до застосування.

Основний метрологічної операцією під час передачі розмірів одиниць величин є перевірка засобів вимірів. Відповідно до Закону, засоби вимірювань, призначені для застосування у сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірювань, до введення в експлуатацію, а також після ремонту підлягають первинній повірці, а в процесі експлуатації - періодичній повірці [3]. Кошти вимірів, які призна-

чені для застосування у сфері державного регулювання забезпечення єдності вимірів, не підлягають державному нагляду. При повірці ЗВТ визнається придатним, якщо дійсні значення його метрологічних характеристик відповідають раніше встановленим технічним вимогам. Висновок про придатність ЗВТ в цьому випадку робить лабораторія, яка проводила перевірку. Юридичні та фізичні особи (власники ЗВТ) самі встановлюють систему підтримки їх у працездатному стані. Законом пропонується на добровільній основі перевірка коштів вимірювань. Таким засобам вимірювання, як вольтметри магнітоелектричні та електронні, властива температурна похибка, а також механічні похибки вимірювального механізму та похибки шкали. Це свідчить про необхідність обов'язкового проведення процедури перевірки вольтметрів. Зрештою, перевірка захищає інтереси споживача, оберігаючи його від використання низькоякісних засобів вимірювальної техніки. Це свідчить про важливість та актуальність теми науково-дослідної роботи.

1 ОГЛЯД БАРОМЕТРІВ ТА МЕТОДІВ ЇХ РОБОТИ

1.1 Аналіз вимог законодавства

ЗЄВ визначається законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» вимоги якого обов'язково стосуються законодавчо регульованої сфери. Цей закон регулює відносини, що виникають в процесі провадженні метрологічної діяльності, щодо яких з метою забезпечення єдності вимірювань та простежуваності здійснюється державне регулювання стосовно вимірювань, одиниць вимірювання та ЗВТ [1].

У сфері законодавчо регульованої метрології застосовуються ЗВТ, які відповідають вимогам щодо точності, регламентованих для тих засобів, у встановлених умовах їх експлуатації. Законодавчо регульовані ЗВТ дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та в продаж і видавати напрокат лише за умови їх відповідності цьому закону чи іншим нормативно-правовим актам, які містять вимоги до цих ЗВТ. До них відносяться також й усі типи барометрів, які використовуються у таких галузях [1]:

- забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян;
- контроль стану навколишнього природного середовища;
- контроль безпеки умов праці;
- контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів;
- топографо-геодезичні, картографічні та гідрометеорологічні роботи, роботи із землеустрою;
- торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, електронних комунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або споживання енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо);
- та інші.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» встановлює суттєві вимоги до засобів вимірювальної техніки, включаючи барометри. Цей регламент регулює стандартизацію та впровадження технічних засобів вимірювання, забезпечуючи стандарти якості та безпеки в їх використанні. Зокрема, вимоги до барометрів визначаються для забезпечення їхньої точності та відповідності визначеним стандартам, а також гарантії надійності та стабільності вимірювань [2].

До суттєвих вимог цифрових барометрів відносяться: точність вимірювань; стабільність; динамічна відповідь; стійкість до впливу зовнішніх факторів; енергоефективність; вологозахист; метрологічна відповідність; основні правила для випробувань і визначення похибок; відтворюваність і повторюваність; поріг реагування та чутливості; довговічність, надійність, придатність; захист від несанкціонованого втручання; інформація, нанесена на засіб вимірювальної техніки або така, яка його супроводжує; показання; подальша обробка даних з метою проведення торговельної операції; оцінка відповідності [2].

Згідно з цим Технічним регламентом (далі – ТР), ЗВТ повинні відповідати суттєвим вимогами, установленим цим технічним регламентом та у відповідних національних стандартах та технічних специфікаціях для певних ЗВТ. Ці суттєві вимоги – загальні вимоги, допустимі похибки, кліматичні умови навколишнього середовища, зовнішні механічні умови, інші впливові величини (такі як: коливання напруги, коливання частоти напруги живлення, частотні електромагнітні поля джерела живлення, або будь-яка інша величина, яка може вплинути значною мірою на точність ЗВТ), основні правила для випробувань і визначення похибок та багато іншого.

ЗВТ можуть бути надані на ринку та/або введені в експлуатацію тільки у разі, коли вони відповідають вимогам цього ТР.

1.2 Чинні нормативні документи

Наразі в Україні діє ДСТУ ОІМЛ R 97:2014, та ДСТУ 7266:2012 «Метрологія. Барометри. Загальні технічні умови», що встановлюють загальні технічні умови до Барометрів.

1.3 Барометри

Барометри - це прилади для вимірювання атмосферного тиску. Існують різні види барометрів за принципом їх дії. Основні типів барометрів:

- Анероїдний барометр: Анероїдний барометр використовує герметичну коробку, яка відгерметизується при зміні атмосферного тиску. Цей тип барометра вимірює тиск шляхом вимірювання змін у розмірі або формі коробки.
- Ртутний барометр: Ртутний барометр використовує ртуть для вимірювання атмосферного тиску. Він ґрунтується на законі Архімеда, де ртуть піднімається в трубці в залежності від атмосферного тиску. Такі барометри були популярні в минулому, але їх використання стало менш поширеним через токсичність ртуті.
- Цифровий барометр: Цифровий барометр використовує електроніку для вимірювання тиску. Вони можуть використовувати різні методи, такі як п'єзореzystивні, конденсаторні, або п'єзоелектричні датчики для вимірювання змін тиску.
- Осцилографічний барометр: Осцилографічний барометр відображає зміни тиску на екрані у вигляді графіку. Вони можуть бути аналоговими або цифровими.
- Кварцовий барометр: Кварцовий барометр використовує кварцовий резонатор для вимірювання атмосферного тиску. Зміни тиску впливають на резонансну частоту кварцового кристала, і цю зміну можна вимірювати.

- Акустичний барометр: Акустичний барометр використовує властивості поширення звуку в атмосфері для вимірювання тиску. Вони вимірюють час, який звукова хвиля потребує для подолання відстані між джерелом звуку і датчиком.
- Лазерний барометр: Лазерний барометр використовує лазерний промінь, який відбивається від атмосферних частинок. Зміни в часі відбиття дозволяють виміряти зміни в атмосферному тиску.

1.3.1 Анероїдний барометр

У 1844 році французький вчений Люсьєн Віді винайшов барометр-анероїд. Барометр-анероїд має герметичну металеву камеру, яка розширюється та стискається залежно від атмосферного тиску навколо неї. Механічні інструменти вимірюють, наскільки камера розширюється або стискається. Ці вимірювання узгоджуються з атмосферами або барами.

Барометр-анероїд має круглий дисплей, який показує поточну кількість атмосфер, подібно до годинника. Одна рука рухається за або проти годинникової стрілки, щоб вказати поточну кількість атмосфер. Над цифрами на циферблаті часто пишуть терміни штормовий, дощовий, змінний, ясний і сухий, щоб людям було легше зрозуміти погоду. Барометри-анероїди повільно витіснили ртутні барометри, оскільки ними було простіше користуватися, дешевше купувати та легше транспортувати, оскільки в них не було рідини, яка могла б пролитися.

Деякі анероїдні барометри використовують механічний інструмент для відстеження змін атмосферного тиску протягом певного періоду часу. Ці анероїдні барометри називаються барографами. Барографи — це барометри, з'єднані з голками, які роблять позначки на рулоні сусіднього міліметрового паперу. Барограф записує кількість атмосфер по вертикальній осі та одиниці часу по горизонтальній. Інструмент відстеження барографа змінюється, як правило, раз на день, тиж-

день або місяць. Підйоми на графіку показують, коли тиск повітря був високим або низьким, і як довго ці системи тиску діяли. Сильний шторм, наприклад, виглядатиме як глибокий і широкий спад на барографі.

1.3.2 Ртутний барометр

Найстаріший тип барометра, винайдений італійським фізиком Євангелістою Торрічеллі в 1643 році. Торрічеллі провів свої перші барометричні експерименти, використовуючи трубку з водою. Вода відносно мала за вагою, тому довелося використовувати дуже високу трубу з великою кількістю води, щоб компенсувати більшу вагу атмосферного тиску.

Водяний барометр Торрічеллі мав висоту понад 10 метрів (35 футів), і він піднімався над дахом його будинку! Цей дивний пристрій викликав підозри у сусідів Торрічеллі, які вважали, що він займається чаклунством. Щоб зберегти свої експерименти більш секретними, Торрічеллі дійшов висновку, що він може створити набагато менший барометр, використовуючи ртуть, сріблясту рідину, яка важить у 14 разів більше води.

Ртутний барометр має скляну трубку, яка закрита зверху і відкрита знизу. На дні трубки знаходиться купа ртуті. Ртуть знаходиться в круглій неглибокій чашці навколо трубки. Ртуть у трубці сама пристосується до атмосферного тиску над тарілкою. Коли тиск зростає, він змушує ртуть підніматися по трубці. Трубка позначена серією вимірювань, які відстежують кількість атмосфер або барів. Спостерігачі можуть визначити, який атмосферний тиск, дивлячись на те, де зупиняється ртутний стовпчик на барометрі.

1.3.4 Кварцовий барометр

Покладаючись на крихкість плавленого кварцу, можна створити низку цікавих механічних структур. Вони можуть бути ємнісними — подібними до кремнієвих пристроїв або, що більш цікаво, базуватися на принципі трубки Бурдона, наприклад механічний манометр. У цьому останньому пристрої згорнута трубка з плавленого кварцу знаходиться під тиском, таким чином створюючи обертальну силу, коли трубка намагається «розгорнутися». Цей дефект можна виміряти за допомогою ємнісних або індуктивних методів або, як у бренду Ruska, вимірювати силу, необхідну для запобігання розкочуванню. Ця остання техніка силового зворотного зв'язку дає інструменту Ruska 7250 точність зчитування 50 ppm. Недоліком цього методу є розмір і крихкість датчика, що робить його корисним лише для точних інструментів.

Кварцові датчики тиску працюють, застосовуючи тиск до складних кварцових структур, які можна використовувати для зміни індуктивності ємності або сили. Слабкі сторони, пов'язані з кварцовими датчиками тиску, такі: великий розмір, тендітні конструкції, стабільність, обмежена структурами навколо кварцу, і вони дорогі у виробництві.

1.4 Цифровий барометр

1.4.1 Призначення цифрового барометру

Цифровий барометр використовується для вимірювання атмосферного тиску, і його застосування різноманітне, включаючи: прогноз погоди, навігацію, наукові дослідження, промисловий контроль, метрологічні вимірювання. Цифрові барометри надають перевагу в порівнянні з аналоговими барометрами завдяки своїй точності, стабільності та зручності в роботі, і вони знайдуть застосування в різних сферах життя і науки.

Цифрові барометри можуть бути різних типів, залежно від їхньої конструкції та принципу дії. Ось декілька основних типів цифрових барометрів:

- П'єзорезистивний барометр: Використовує зміну опору п'єзорезистивного датчика при зміні тиску. Цей тип барометра є одним із найпоширеніших і використовується в різних пристроях, включаючи смартфони та планшети.

- Капацитивний барометр: Барометр вимірює тиск на основі зміни ємності конденсатора при зміні відстані між пластинами конденсатора. Цей тип барометра має високу точність та використовується в деяких високоточних застосуваннях.

- П'єзоелектричний барометр: Використовує п'єзоелектричні датчики для вимірювання тиску. Цей тип барометра часто використовується в наукових дослідженнях та промислових застосуваннях.

Мікроелектромеханічний системний (MEMS) барометр: Використовує мікроелектромеханічні датчики, такі як мембрани чи п'єзорезистивні датчики, для вимірювання тиску. Цей тип барометра є досить поширеним та дозволяє створювати компактні та точні пристрої.

- Лазерний барометр: Використовує лазер для вимірювання змін відстані між приладом та поверхнею на основі відбитого лазерного променя. Цей тип барометра використовується в вимірювальних системах та аеронавтиці.

- Акустичний барометр: Використовує час, який звукова хвиля потребує для подолання відстані між джерелом звуку та приймачем, для визначення тиску. Цей тип барометра може бути використаний в метеорологічних станціях та наукових дослідженнях.

Ці різні типи цифрових барометрів використовуються в різних застосуваннях залежно від їхньої точності, розміру та характеристик, і обираються залежно від конкретних потреб користувача.

1.4.2 Будова цифрового барометра

Цифрові барометри складаються з різних компонентів, які включають такі основні елементи:

- Датчик тиску: Це основний компонент, який вимірює атмосферний тиск. Датчик тиску може бути різних типів, таких як п'єзорезистивний, конденсаторний, п'єзоелектричний або інший, в залежності від конструкції барометра.

- Сигнальна обробка: Виміряні значення тиску з датчика піддаються сигнальній обробці. Ця обробка може включати в себе підсилення сигналу, фільтрацію і аналогово-цифрове перетворення (АЦП) для перетворення аналогового сигналу тиску в цифровий формат.

- Мікроконтролер або процесор: Ця частина барометра має вбудований мікроконтролер або процесор, який обробляє цифрові дані та виконує розрахунки для конвертації тиску в інші одиниці вимірювання, такі як паскалі, міліметри ртутного стовпа або футів.

- Пам'ять: Деякі цифрові барометри можуть мати вбудовану пам'ять для збереження історії вимірювань або для збереження налаштувань та калібрування.

- Вивід інформації: Результати вимірювань або конвертовані значення тиску виводяться на дисплей, передаються через інтерфейси, такі як USB або Bluetooth, або відправляються на зовнішній пристрій для подальшого використання.

- Живлення: Барометр може вимагати джерело живлення, таке як батарея або джерело живлення через кабель.

1.4.2.1 Датчик тиску

Цифровий барометр має в собі датчик тиску, який є основним компонентом для вимірювання атмосферного тиску. Датчик тиску може бути виконаний різними технологіями, такими як п'єзрезистивний, конденсаторний, п'єзоелектричний чи інший. Найбільш поширеним є п'єзрезистивний датчик, який змінює свій електричний опір в залежності від тиску. Датчик може бути розміщений всередині корпусу барометра і знаходитися в контакті з атмосферним повітрям через спеціальну мембрану або отвір.

1.4.2.2 Сигнальна обробка

Сигнальна обробка включає в себе ряд операцій для підготовки сигналу з датчика тиску для подальшої обробки. Сигнал може бути підсилений, фільтрований для позбавлення шуму та піддано аналогово-цифровому перетворенню (АЦП), щоб перетворити аналоговий сигнал в цифровий формат. Цей цифровий сигнал буде використовуватися для подальшого аналізу і вимірювань.

1.4.2.3 Мікроконтролер або процесор

У будові цифрового барометра важливу роль відіграє внутрішній мікроконтролер або процесор. Він відповідає за обробку цифрового сигналу, визначення атмосферного тиску на основі отриманих даних та конвертацію цього тиску в інші одиниці вимірювань, такі як паскалі, міліметри ртутного стовпа або футів. Мікроконтролер також може виконувати калібрування для забезпечення точності вимірювань.

1.4.2.4 Пам'ять

Деякі цифрові барометри мають вбудовану пам'ять для збереження історії вимірювань або налаштувань користувача. Ця пам'ять дозволяє зберігати дані для подальшого аналізу та моніторингу.

1.4.2.5 Вивід інформації

Результати вимірювань або конвертовані значення тиску можуть бути виведені на дисплей, передані через інтерфейси, такі як USB або Bluetooth, або відправлені на зовнішній пристрій для подальшого використання. Це дозволяє користувачам отримувати інформацію про атмосферний тиск та використовувати її для різних цілей.

1.4.2.6 Живлення

Барометр може вимагати джерело живлення, таке як батарея або джерело живлення через кабель. Вибір джерела живлення залежить від конкретної моделі та призначення барометра.

Загальна будова цифрового барометра включає ці компоненти, які спільно працюють для вимірювання атмосферного тиску та надання користувачам інформації про погодні умови та інші параметри.

1.4.3 Маркування цифрових барометрів

Маркування цифрових барометрів в Україні регулюється відповідно до стандартів та нормативних документів, що встановлені органами державної влади. Маркування містить інформацію, яка дозволяє ідентифікувати та зрозуміти характеристики пристрою.

Основні елементи маркування включають:

- Назва виробника та модель: Маркування повинно містити назву виробника та модель пристрою для ідентифікації виробника і конкретної моделі.
- Серійний номер: Кожен пристрій повинен мати унікальний серійний номер для відстеження та ідентифікації окремих пристроїв.
- Інструкції з використання: Маркування може включати інформацію про те, де користувач може знайти інструкції з використання пристрою.
- Характеристики пристрою: Маркування повинно містити технічні характеристики пристрою, такі як діапазон вимірювань тиску, точність вимірювань та інші параметри.
- Сертифікаційні марки та дозволи: Якщо пристрій пройшов сертифікацію або отримав дозвіл для використання в Україні, ця інформація також повинна бути включена в маркування.
- Додаткова інформація: Залежно від виробника та типу пристрою, маркування може містити додаткову інформацію, таку як додаткові функції, екологічні характеристики тощо.

Важливо, щоб маркування було чітким, легко читабельним та відповідало вимогам законодавства України. Маркування допомагає користувачам обирати та використовувати цифрові барометри належним чином, забезпечуючи їхню якість та надійність.

1.4.4 Експлуатація цифрових барометрів

Ефективна експлуатація цифрових барометрів має важливе значення для численних галузей, включаючи погодознавство, авіацію, наукові дослідження, навігацію та багато інших. Ці електронні пристрої призначені для вимірювання атмосферного тиску та використовуються для передбачення погодних умов, визначення висоти над рівнем моря та забезпечення точності вимірювань в різних сферах.

1.4.4.1 Підготовка до роботи з цифровим барометром

Першим важливим кроком у експлуатації цифрового барометра є правильна підготовка до роботи. Це включає в себе перевірку наявності необхідних аксесуарів, таких як джерело живлення, інструкції з використання та необхідних кабелів для підключення до комп'ютера або інших пристроїв. Для безперебійної роботи барометра також важливо перевірити стан датчика тиску та забезпечити його чистоту і надійність.

1.4.4.2 Калібрування цифрового барометра

Калібрування цифрового барометра є процедурою, яка дозволяє корегувати та підтверджувати точність вимірювань атмосферного тиску. Цей процес включає в себе низку дій та рекомендацій, які забезпечують надійність та достовірність результатів вимірювань.

- Підготовка до калібрування

Першим кроком у калібруванні цифрового барометра є підготовка. Перевіряється, чи пристрій знаходиться в чистому стані і не має механічних пошкоджень. Переконається, що датчик тиску не забруднений та пристрій знаходиться в оптимальних умовах для калібрування.

- Внутрішнє або зовнішнє калібрування

Цифрові барометри можуть мати можливість внутрішнього або зовнішнього калібрування. Внутрішнє калібрування передбачає можливість коригувати параметри самого барометра, використовуючи вбудовані можливості. Зовнішнє калібрування виключає використання зовнішніх джерел даних, таких як відомий атмосферний тиск на певній висоті.

- Збори даних для калібрування

Для зовнішнього калібрування збирають дані про атмосферний тиск на відомих висотах або відомі точки. Ці дані використовуються для порівняння з виміряними значеннями барометра і визначення корекційних коефіцієнтів.

- Розрахунок корекційних коефіцієнтів

На основі порівняння вимірних даних і відомих значень атмосферного тиску розраховуються корекційні коефіцієнти, які дозволяють виправити помилки вимірювань. Ці коефіцієнти можуть бути збережені в пам'яті барометра для автоматичного коригування результатів вимірювань.

- Перевірка результатів калібрування

Після проведення калібрування важливо перевірити результати, щоб переконатися в їхній точності та надійності. Порівнюються вимірні дані після калібрування з відомими значеннями атмосферного тиску на різних висотах, що допомагає переконатись, що отримані значення відповідають очікуваній точності.

Калібрування цифрового барометра є важливою процедурою, яка забезпечує точність та достовірність вимірювань. Правильно проведене калібрування допомагає користувачам отримувати надійні дані про атмосферний тиск та використовувати барометр для різних цілей, включаючи погодознавство, наукові дослідження та багато інших застосувань.

1.4.4.3 Зберігання та обслуговування

Зберігання цифрового барометра відіграє важливу роль у забезпеченні його тривалої та надійної роботи. Пристрій повинен бути зберіганий в сухому та безпечному місці, щоб уникнути пошкоджень. Регулярне обслуговування, включаючи очищення датчика тиску та перевірку актуальності калібрування, також важлива для забезпечення точності вимірювань.

1.4.4.4 Використання цифрового барометра в практиці

Цифрові барометри, завдяки своїй точності та зручності вимірювань, знаходять широке застосування в різних галузях. У цьому розділі ми розглянемо конкретні практичні застосування цифрових барометрів та їх вплив на сучасне життя.

- **Погодознавство**

Цифрові барометри використовуються для передбачення погодних умов. Вимірюючи атмосферний тиск, вони допомагають прогнозувати зміни погоди, такі як прийдешні бурі, опади або сонячні дні. Це важливо для безпеки людей та майна та для планування різних діяльностей, від сільського господарства до рекреації.

- **Авіація**

В авіації точні вимірювання атмосферного тиску необхідні для правильного функціонування повітроплавства. Цифрові барометри використовуються в літаках та вертольотах для визначення висоти польоту та для навігації. Вони допомагають пілотам уникати небезпек та забезпечують безпеку пасажирів.

- **Мореплавство**

У мореплавстві цифрові барометри використовуються для визначення висоти судна над рівнем моря та відстеження змін атмосферного тиску, що можуть вказувати на приближення штормів та інших погодних небезпек. Це важливо для навігації та безпеки судноплавства.

- Наукові дослідження

Цифрові барометри широко використовуються в наукових дослідженнях для вимірювання атмосферного тиску у різних умовах. Вони допомагають вченим зрозуміти зміни клімату, вивчати поведінку атмосфери та виконувати дослідження у геології, метеорології та інших галузях.

- Геодезія та картографія

У геодезії та картографії цифрові барометри допомагають визначати висоти точок на землі, що важливо для створення точних топографічних карт та виконання геодезичних робіт.

- Промисловість та техніка

Цифрові барометри використовуються в промисловості для контролю тиску в системах автоматизації та виробництва. Вони грають важливу роль у забезпеченні якості та безпеки продукції.

- Спорт і фітнес

В останні роки цифрові барометри також стали популярними серед любителів фітнесу та спорту. Вони використовуються для вимірювання висоти під час велосипедних прогулянок, підйому в гори та інших видів активності.

Цифрові барометри впливають на різні сфери життя, забезпечуючи точність та безпеку вимірювань. Вони стали важливою складовою сучасної технології та надають можливість досягнути нових досягнень у науці, транспорті, спорті та багатьох інших галузях.

1.4.5 Випробування цифрових барометрів

Випробування цифрових барометрів є важливою процедурою, яка дозволяє переконатися в їхній надійності та точності вимірювань.

- **Перевірка на точність**

Під час випробувань цифрового барометра першим кроком є перевірка на точність. Для цього використовуються відомі джерела даних про атмосферний тиск, такі як метеорологічні станції або відомі висоти над рівнем моря. Барометр повинен вимірювати тиск на цих точках з високою точністю та в межах допустимих відхилень.

Наприклад, якщо на висоті 100 метрів над рівнем моря відомий атмосферний тиск 1000 гектопаскалів, то барометр повинен показати подібне значення з допустимими відхиленнями, які зазвичай вказуються в інструкціях виробника.

- **Випробування на стабільність**

Випробування на стабільність визначає, як барометр реагує на зміни умов. Наприклад, випробування можуть включати вимірювання під час різних температур, вологості, атмосферних тиску та вібрацій. Важливо, щоб барометр показував стабільні результати при змінах умов експлуатації, оскільки він може використовуватися в різних кліматичних та фізичних умовах.

- **Випробування на динамічну відповідь**

Випробування на динамічну відповідь визначають, як барометр реагує на швидкі зміни атмосферного тиску. Для цього випробування можуть використовувати симуляцію бурь, штормів або інших атмосферних явищ. Барометр повинен бути здатний відразу реагувати на різкі зміни тиску та надавати надійні вимірювання.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИФРОВОГО БАРОМЕТРУ HP03SA

2.1 Огляд приладу

HP03SA - мініатюрний гібридний модуль, що виготовляється на основі п'єзорезистивного датчика тиску та інтерфейсної мікросхеми аналогово-цифрових перетворювачів. Формат цифрових даних зчитується у вигляді 16-розрядного слова, що відповідає вимірюваній ADC напрузі залежно від тиску та температури. Реальна роздільна здатність - 15 розрядів.

HP03SA мають малий струм споживання близько 500 мікроампер і при цьому можуть житись напругою від 2.2В до 3.6В. У датчиках є функція автоматичного перемикавання у режим економії енергії, тобто. сплячий режим. Тому вони ідеально підходять для пристроїв, де енергоспоживання відіграє важливу роль.

Для зв'язку з мікроконтролером використовується двопровідна послідовна шина I2C. За допомогою додаткового калібрування датчика можливо досягти більш високої точності вимірювань. Для цього у внутрішній пам'яті датчиків зберігаються 11 унікальних коригуючих коефіцієнтів. Обчислення температури та тиску виконуються з використанням цих коефіцієнтів. Оскільки датчик має термодатчик, температура враховується у обчисленнях тиску, чим досягається термостабілізація показань датчика тиску.

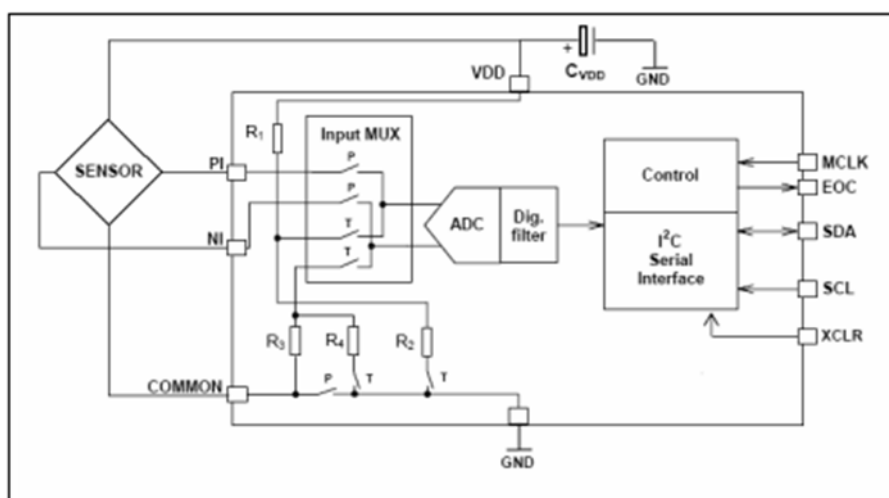


Рисунок 2.1 – Схема цифрового барометру

2.2 Характеристики пристрою

Основні характеристики датчиків наведені у таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 2.1 – Технічні максимальні показники

Параметр	Символ	Мінімальний показник	Максимальний показник	Одиниця вимірювання
Напруга живлення	VDD	-0.3	4	V
Надлишковий тиск	P		15	Бар
Температура зберігання	Tstg	-30	90	°C

Таблиця 2.2 – Рекомендовані умови експлуатації

Параметр	Символ	Умови	Мінімальне значення	Оптимальне значення	Максимальне значення	Одиниця вимірювання
Напруга живлення	VDD		2.2	3	3.6	V
Струм живлення	I	VDD=3V				V
Під час перетворення				500		µA
Очікування				1		µA
Діапазон робочого тиску	P		300		1100	hpa (abs)
Діапазон робочої температури	T	HP03SA	-20	25	60	°C
			TBD		60	°C
Час перетворення	T	MCLK=32k	30		35	KHz
Робочий цикл MCLK			40%	50%	60%	%
Швидкість послідовної передачі даних	SCL				500	KHz

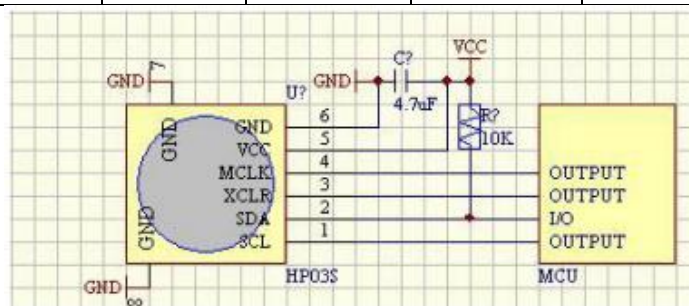


Рисунок 2.2 - Електрична схема застосування

3 ВИПРОБУВАННЯ

3.1 Огляд методу випробування

Датчики тиску використовуються в будь-яких мисливих умовах. Від нищівного тиску на дні океану на підводному гирлі свердловини до найсильнішого вакууму космосу на супутнику на орбіті. Відтворення цих крайнощів вимагає широкого спектру різних тест-систем. Охопити в цій роботі будь-який унікальний аспект такого широкого спектру майже не можливо. Однак, є компоненти тест-систем, які є спільними для переважної більшості. Крім того, є спільні риси в тому, як ці компоненти інтегровані для забезпечення аспектів автоматизації системи (систем). Випробування дизайну або кваліфікації використовуються для перевірки конструкції виробу за призначенням.

Приклади випробувань елементів конструкції датчика тиску можуть включати: ефекти ударів і вібрації, ефекти електромагнітних перешкод / RFI, варіації джерела живлення та тести на ізоляцію. Інші випробування можуть включати, але не обмежуватися цим, руйнівний контроль; Наприклад, випробування надлишковим тиском, розривом і захисною оболонкою, а також випробування протягом життєвого циклу. Після завершення випробувань для перевірки конструкції вони, як правило, не повторюються на постійній основі у виробництві, якщо тільки вони не викликані як частина спеціального приймального випробування продуктивності (ПВП) або процедури приймально-здавального випробування (ПЗВ).

Тип виробничих випробувань - це, перш за все, випробування продуктивності, тобто відповідність продуктивності опублікованому паспорту та/або специфікаціям.

Вимоги до тестування, як уже згадувалося, можуть визначатися необхідністю відповідати опублікованим специфікаціям технічного паспорта, специфічним вимогам замовника або відповідати галузевому стандарту.

Для тестування продуктивності датчика тиску основними параметрами для моделювання та/або контролю, оскільки вони мають найбільший вплив на продуктивність, як правило, є тиск, температура та електричний (збудження – напруга або струм). Автоматизована система випробування під тиском потенційно використовується на двох етапах випробування продукту. Фундаментальний чутливий елемент датчика тиску, на жаль, не є «ідеальним» пристроєм, тобто він не виробляє вихідного сигналу, який був би ідеально лінійним і точним у всіх мінливих умовах навколишнього середовища: тиск, температура, вологість або щільність. Вони вимагають певного рівня корекції або компенсації для підвищення продуктивності. Рівень і складність того, як це досягається, залежить від того, наскільки бажаним є вдосконалення. Так, тест-система використовується для збору даних про «некомпенсований» датчик. Ці дані використовуються для визначення того, яка компенсація потрібна. Це робиться одним із кількох способів, за допомогою пасивної/активної електричної схеми (наприклад, встановлені резистори, SOT або лазерна обробка) або мікропроцесорний підхід є двома найпоширенішими. Компенсація датчика тиску та пов'язані з нею методи є окремою темою, а не основною. Після застосування компенсації проводиться подальша перевірка продуктивності за допомогою системи випробування тиском, щоб перевірити або підтвердити, що виконана компенсація відповідає вимогам. Ці тести можуть проводитися на одній і тій же тестовій системі, але також часто є двома окремими випробувальними стендами, другою з яких є система валідації або верифікації.

3.2 Мета та завдання

Основна мета тестування цифрового барометра полягає в ретельному оцінюванні його продуктивності та точності для забезпечення надійних вимірювань атмосферного тиску. Це передбачає піддавання пристрою серії оцінок, включаючи калібрування за встановленими стандартами, перевірку точності в різних умовах навколишнього середовища та ретельну перевірку його реакції на динамічні зміни тиску. Процес тестування також перевіряє чутливість, роздільну здатність і стабільність цифрового барометра, оцінюючи його здатність надавати послідовні та достовірні показання з часом. Крім того, ретельна перевірка відповідного програмного забезпечення та мікропрограми гарантує, що обробка даних залишається безпомилковою, тоді як тестування на людський фактор перевіряє інтерфейс користувача на оптимальну зручність використання. Успішне тестування цифрового барометра охоплює не лише технічні характеристики пристрою, але й компетентність задіяного персоналу, гарантуючи, що кінцевим результатом є високонадійний інструмент для точного вимірювання атмосферного тиску.

3.3 Компоненти автоматизованої виробничої системи

Основні компоненти автоматизованої виробничої системи випробування тиском зазвичай включають, але не обмежуються наступним:

- Регулятор/калібратор тиску
- Камера екологічних випробувань
- Цифровий мультиметр
- Програмоване джерело живлення • Комп'ютер/контролер

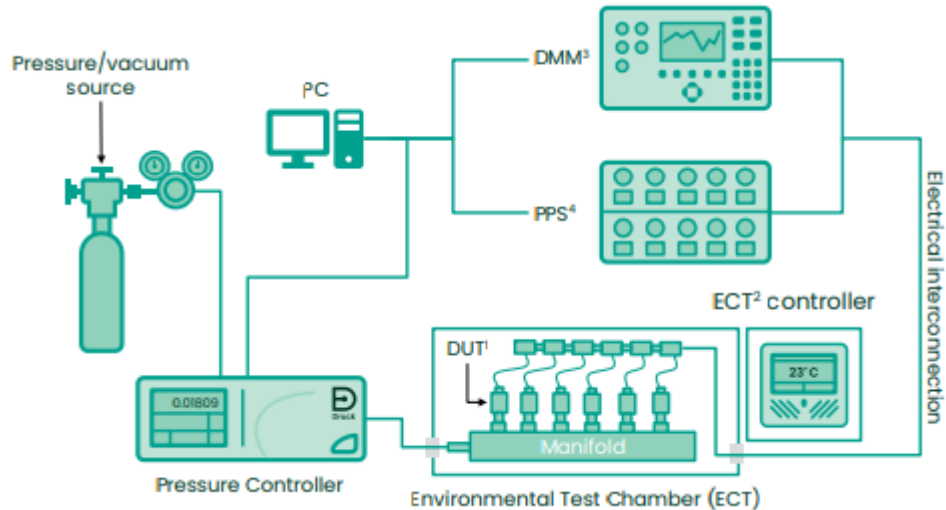


Рисунок 3.1 – Автоматизована система випробування тиску

Кожен компонент матиме функції та атрибути, необхідні для тестової системи в цілому. Оскільки в центрі уваги знаходиться система тестування продуктивності, точність є найважливішою характеристикою кожного компонента. Оскільки кожен компонент вимірює та/або контролює різні параметри, будуть варіації в одиницях або відсотках, але основні визначення будуть загальними для більшості.

3.4 Визначення точності та надійності результатів

Згідно з визначенням VIM (Vocabulaire International de Métrologie), точність вимірювань є якісним терміном, який визначається як «близькість узгодження між вимірюваним величиною та істинним кількісним значенням вимірювання». Однак часто в промисловості точність трактується як кількісний термін. Термін «точність» повинен бути пов'язаний із зазначеною похибкою вимірювання, включаючи вплив систематичної похибки, випадкової похибки та дрейфу (у випадках, коли точність визначається за певний проміжок часу).

Визначення точності вимірювань має враховувати застосування та потреби вимог до тестування. Слід приділити пильну увагу специфікації дрейфу, оскільки в багатьох випадках можна було б претендувати на високу точність вимірювань за рахунок коротших інтервалів калібрування.

Точність результату вимірювань, згідно з визначенням VIM (Vocabulaire International de Métrologie), є якісним терміном, який визначається як «близькість узгодження між показаннями або значеннями вимірюваної величини, отриманими шляхом повторних вимірювань на тих самих або подібних об'єктах за певних умов.

Однак часто в промисловості точність результату трактується як кількісний термін і є часто неправильно використовуваною метрологічною характеристикою виробниками вимірювальних приладів і неправильно тлумачиться користувачами таких Обладнання. Деякі виробники приладів використовують термін «точність результату» для позначення точності вимірювань, а в інших випадках термін «точність вимірювань» використовується для опису точності результату лише при кімнатній температурі, ігноруючи температурний робочий діапазон вимірювальних приладів. Крім того, такі фактори, як гістерезис тиску та нелінійність, іноді виключаються з розгляду в специфікації точності.

При описі точності, як належної практики, слід враховувати такі фактори:

- Нелінійність
- Гістерезис
- Неповторюваність
- Помилки, спричинені температурою

Одним із способів, за допомогою якого специфікація точності вимірювань використовується для визначення придатності еталонного приладу, є коефіцієнт загальної точності (КЗТ). Загальноприйнята галузева практика полягає в тому, що точність еталону повинна бути як мінімум в 4 рази краще, ніж у тестованого приладу (ТП), тобто співвідношення 4:1. Формула КЗТ виглядає наступним чином:

$$\text{КЗТ} = \frac{\text{Точність ТП}}{\text{Точність еталону}} \quad (1)$$

Наприклад, якщо тест, який потрібно виконати, проводиться на датчику тиску із заявленою точністю $\pm 0,1\% \text{ FS}$ і еталонним стандартом тиску $\pm 0,025\% \text{ FS}$, КЗТ буде

$$\text{КЗТ} = \frac{\pm 0,1\% \text{ FS}}{\pm 0,025\% \text{ FS}} = 4 \quad (2)$$

Історично склалося так, що використання КЗТ було прийнятною методологією. Однак, у зв'язку з постійним удосконаленням технологій вимірювання та зондування, що призвело до створення пристроїв вищої точності, виникла потреба в більш ретельному вивченні використовуваних стандартів та внеску інших потенційних джерел помилок.

Еталонні стандарти можуть бути дуже точними, але теоретично вони не можуть представити точне справжнє значення, для вимірювання якого вони використовуються. Завжди виникає питання про те, наскільки стандарт близький до істинного значення. Сумнівна сума призводить до метрологічного поняття невизначеності.

Ще раз звернемося до VIM для визначення: Невизначеність (вимірювання) – невід’ємний параметр, що характеризує дисперсію величин, що приписуються вимірюванню. Ця концепція більш охоплює інші потенційні джерела помилок, ніж ті, що включені в специфікацію точності та статистичний аналіз, необхідний для визначення розподілу ймовірностей цих джерел помилок. Основним результатом розгляду невизначеності є необхідне включення похибок, пов’язаних з еталонним еталоном, який зазвичай виражається як розширена невизначеність калібрувального обладнання. Примітка: поняття невизначеності може бути широким за обсягом. Розгляд предмета в даній роботі обмежується видами вимірювань, відповідними приладами і їх вибором. Зараз цей документ називається GUM 1995 з невеликими виправленнями. Включення невизначеності в процес прийняття рішень про придатність еталонного стандарту призводить до використання коефіцієнта загальної невизначеності (КЗН) замість КЗТ.

Визначення КЗН:

$$\text{КЗН} = \frac{\text{Точність ГП}}{\text{Точність приладу}} \quad (3)$$

3.5 Проведення випробувань

Випробування проводитимуться за схемою наведеною у рисунку 3, та оглядатись буде лише один прилад, за наступними умовами:

- Точність ТП: $\pm 0,25\%$ FS з повномасштабним діапазоном тиску 1100 гектопаскалів;
- Еталонна стандартна точність: $\pm 0,01\%$ РДГ + $\pm 0,01\%$ FS з повним діапазоном тиску 20700 hpa;
- Еталонна стандартна довгострокова стабільність: 0,01% РДГ/рік ;
- Еталонна стандартна розширена похибка ($k=2$): 0,0032% R_{dg} + 0,007 hpa;

Для того, щоб використовувати метод КЗТ, необхідно спочатку визначити сумарну невизначеність Еталонного стандарту (ЕС). Це включатиме точність, стабільність і розширену невизначеність. Оскільки ці впливи не корелюють, виправданим є використання методу квадрата кореневої суми (ККС).

Визначення точності має враховувати застосування та потреби вимог до тестування. Слід приділити пильну увагу специфікації дрейфу, оскільки у багато разів можна було б претендувати на високу точність за рахунок коротших інтервалів повторного калібрування.

Точність - згідно з визначенням VIM (Vocabulaire International de Métrologie), точність - це якісний термін, який визначається як "близькість узгодження між показаннями або вимірними значеннями величин, отриманих шляхом повторних вимірювань на тих самих або подібних об'єктах за певних умов.

Однак часто в промисловості точність трактується як кількісний термін і є часто неправильно використовуваною виробниками вимірювальних приладів метрологічною характеристикою і неправильно тлумачиться користувачами такого обладнання.

Важливо зазначити, що деякі виробники приладів використовують термін «точність» для позначення точності, а в інших випадках термін «точність» використовується для опису точності лише при кімнатній температурі, ігноруючи температурний робочий діапазон вимірювальних приладів. Крім того, такі фактори, як гістерезис тиску та нелінійність, іноді виключаються з розгляду в специфікації точності.

При описі точності, як належної практики, слід враховувати наступні фактори:

- Нелінійність
- Гістерезис
- Неповторюваність
- Помилки, спричинені температурою

Одним із способів, за допомогою якого специфікація точності використовується для визначення придатності еталонного приладу, є коефіцієнт загальної точності (КЗТ). Загальноприйнята галузева практика полягає в тому, що точність еталону повинна бути як мінімум в 4 рази краще, ніж у тестованого приладу (ТП), тобто співвідношення 4:1. Формула КЗТ виглядає наступним чином:

$$\text{КЗТ} = \sqrt{(\text{Точність})^2 + (\text{Стабільність})^2 + (\text{Розширена неточність})^2} \quad (8)$$

Оскільки специфікація має різні вирази термінів, % Rdg, % FS і одиниці тиску (Pa), їх не можна просто підключити до наведеного вище рівняння.

Спочатку необхідно перетворити їх в загальний вираз, а потім обчислити об'єднані ефекти. Найпростішим способом в даному прикладі є перетворення всіх компонентів в одиниці тиску:

$$\text{Точність} = \left(\left(\frac{0.01}{100} \right) * 1100 \right) + \left(\left(\frac{0.01}{100} \right) * 2200 \right) = 0.33 \text{ hpa} \quad (4)$$

$$\text{Стабільність} = \left(\frac{0.01}{100} \right) * 1100 = 0.11 \text{ hpa} \quad (5)$$

$$\text{Розширена неточність} = \left(\left(\frac{0.0032}{100} \right) * 1100 \right) + 0.001 = 0.0362 \text{ hpa} \quad (6)$$

$$\text{ККС} = \sqrt{(0.33)^2 + (0.11)^2 + (0.0362)^2} = 0.3497 \quad (7)$$

Наведені вище зразки розрахунків проводяться в одній точці зчитування (зазначеного значення) 1100 hpa. Оскільки вирази містять % компонента читання, значення будуть змінюватися в діапазоні вимірювань. Необхідно враховувати значення у всьому діапазоні вимірювань. Наведена нижче таблиця містить репрезентативну кількість точок вимірювання, достатню для визначення придатності

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

Значення ТП (hpa)	Точність ТП (hpa)	Необхідна точність еталону у співвідношенні 4:1 (hpa)	Загальний коефіцієнт неточності (ККС) (hpa)	Загальний коефіцієнт точності (КЗТ) (hpa)
0	2.75	0.6875	0.22	0.220001
100	2.75	0.6875	0.23	0.23011764
150	2.75	0.6875	0.235	0.23525864
200	2.75	0.6875	0.24	0.24045476
250	2.75	0.6875	0.245	0.245706
300	2.75	0.6875	0.25	0.25101236
350	2.75	0.6875	0.255	0.25637384
400	2.75	0.6875	0.26	0.26179044
450	2.75	0.6875	0.265	0.26726216
500	2.75	0.6875	0.27	0.272789
550	2.75	0.6875	0.275	0.27837096
600	2.75	0.6875	0.28	0.28400804

Значення ТП (hpa)	Точність ТП (hpa)	Необхідна точність еталону у співвідношенні 4:1 (hpa)	Загальний коефіцієнт неточності (ККС) (hpa)	Загальний коефіцієнт точності (КЗТ) (hpa)
650	2.75	0.6875	0.285	0.28970024
700	2.75	0.6875	0.29	0.29544756
750	2.75	0.6875	0.295	0.30125
800	2.75	0.6875	0.3	0.30710756
850	2.75	0.6875	0.305	0.31302024
900	2.75	0.6875	0.31	0.31898804
950	2.75	0.6875	0.315	0.32501096
1000	2.75	0.6875	0.32	0.331089
1050	2.75	0.6875	0.325	0.33722216
1100	2.75	0.6875	0.33	0.34341044

Продовження таблиці 3.1

КЗТ у всіх точках діапазону становить > 4 , у найгіршому випадку $> 7:1$, що має забезпечити впевненість у тому, що цього еталонного стандарту достатньо для проведення тестування. Графічно проілюстровано:

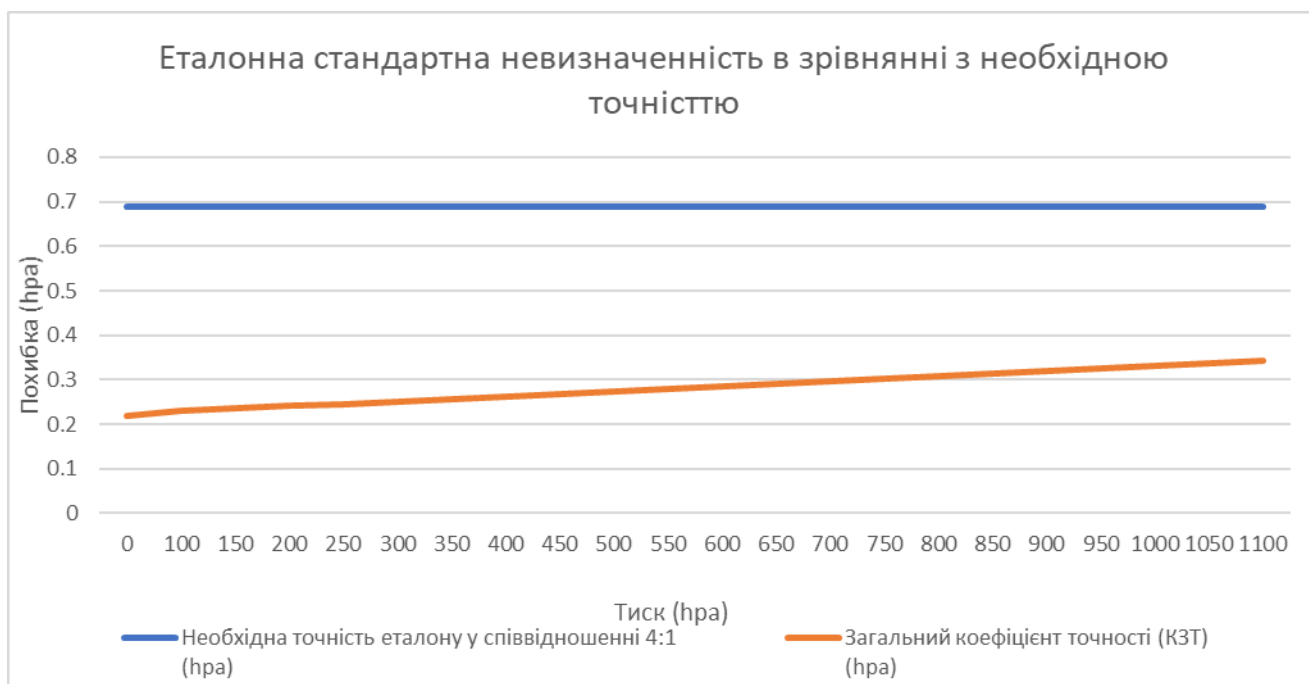


Рисунок 3.2 – Графік результатів вимірювання

З цих результатів видно, що КЗН >4:1 може бути відновлений шляхом вибору контролера з більш високою точністю.

Слід зазначити, що вимоги виробничих випробувань, як правило, не вимагають акредитованого калібрування. Акредитоване калібрування – це калібрування, під час якого калібрувальна та/або метрологічна лабораторія відповідає суворим вимогам міжнародних стандартів, наприклад - ISO 17025. Ці стандарти визначають конкретні керівні принципи для аналізу невизначеностей та звітності.

Як зазначалося раніше, оцінка придатності еталонного приладу/стандарту, використаного у наведених вище прикладах, була для еталонного стандарту тиску. Методологія та процес будуть такими ж, або, принаймні, дуже схожими для інших компонентів, які будуть використовуватися на випробувальному стенді.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИПРОБУВАННЬ

Вимірювальні пристрої відіграють важливу роль у різних галузях промисловості, починаючи від охорони здоров'я та виробництва до досліджень і розробок. Точність і надійність цих пристроїв є найважливішими, оскільки вони безпосередньо впливають на якість зібраних даних і подальші процеси прийняття рішень. Щоб забезпечити точність і надійність вимірювальних пристроїв, необхідно впроваджувати процедури суворого тестування на всіх етапах їх розробки, виробництва та використання. У цьому есе досліджуються ключові рекомендації щодо підтримки якості вимірювальних пристроїв шляхом комплексного тестування.

4.1 Калібрування та перевірка:

Калібрування є основним процесом у забезпеченні точності вимірювальних пристроїв. Це включає в себе порівняння виходу пристрою з еталонним стандартом і налаштування його відповідно до еталонних значень. Графіки регулярного калібрування повинні бути встановлені на основі типу пристрою, його використання та умов навколишнього середовища. З іншого боку, перевірка передбачає перевірку точності пристрою за відомими стандартами в різних точках його робочого діапазону. Ці процеси необхідні для виявлення та виправлення будь-яких відхилень, які можуть виникнути з часом, забезпечуючи постійне точне вимірювання приладом.

4.2 Тестування навколишнього середовища

Вимірювальні пристрої часто працюють у різноманітних умовах навколишнього середовища, починаючи від екстремальних температур і рівнів вологості до вібрації та електромагнітних перешкод. Тестування навколишнього середовища має вирішальне значення для оцінки продуктивності пристрою за різних сценаріїв. Термічний цикл, камери вологості та випробування на вібрацію є поширеними методами моделювання суворих умов. Крім того, тестування на електромагнітну сумісність (ЕМС) гарантує, що пристрій може працювати точно без перешкод від електромагнітних полів. Піддаючи вимірювальні пристрої цим тестам, виробники можуть виявити вразливі місця та розробити пристрої, які надійно працюють у реальних ситуаціях.

4.3 Тестування надійності та довговічності

Випробування на надійність і довговічність є важливими аспектами забезпечення довговічності та міцності вимірювальних пристроїв. Тестування надійності передбачає тривале використання пристроїв у звичайних умовах для виявлення потенційних місць збою. Прискорене тестування терміну служби, коли пристрої піддаються умовам, що імітують роки використання за короткий проміжок часу, допомагає передбачити їх довгострокову продуктивність. Тестування на довговічність оцінює здатність пристрою витримувати фізичне навантаження, включаючи удари, вібрацію та механічний знос. Ці випробування гарантують, що вимірювальні пристрої можуть витримувати суворі умови реальних додатків і надавати точні дані протягом тривалого терміну служби.

4.4 Перевірка програмного забезпечення та мікропрограми

Багато сучасних вимірювальних пристроїв покладаються на складне програмне та мікропрограмне забезпечення для обробки та аналізу даних. Вкрай важливо підтвердити цілісність цих цифрових компонентів шляхом комплексного тестування. Це включає функціональне тестування, щоб переконатися, що програмне забезпечення працює належним чином, а також тестування безпеки для виявлення вразливостей, які можуть поставити під загрозу точність і конфіденційність даних. Крім того, оновлення програмного забезпечення та виправлення слід ретельно перевіряти перед впровадженням, щоб запобігти небажаним наслідкам для вимірювальних можливостей пристрою.

4.5 Інтерфейс користувача та тестування на людський фактор

Інтерфейс користувача вимірювальних пристроїв є критично важливим компонентом, оскільки він безпосередньо впливає на те, як оператори взаємодіють з обладнанням. Тестування на людський фактор оцінює інтерфейс користувача пристрою на ясність, простоту використання та потенційні джерела помилок користувача. Це тестування гарантує, що оператори можуть ефективно та точно використовувати пристрій, зводячи до мінімуму ризик неточностей вимірювань, спричинених людським фактором. Тестування зручності використання, оцінка ергономіки та відгуки користувачів є невід'ємною частиною вдосконалення дизайну та функціональності інтерфейсу користувача.

4.6 Рекомендації для поліпшення результатів з боку випробувальної установки

4.6.1 Регулятор тиску

Оскільки регулятор тиску автоматизованої системи випробування тиском значною мірою визначає якість вимірювання, яке може бути проведено, і, відповідно, наскільки добре можна виконати випробування, він є найважливішим компонентом і вимагає найретельнішого розгляду. На додаток до міркувань точності та невизначеності, розглянутих у попередньому розділі, є кілька інших аспектів регулятора тиску, які слід враховувати.

4.6.2 Діапазон тиску

Вибір діапазону тиску регулятора тиску повинен відповідати діапазонам тиску пристроїв, що випробовуються. Як обговорювалося, точність регулятора тиску є або може бути, частково або повністю, функцією повномасштабного діапазону тиску. Часто стенд для випробування тиском повинен мати гнучкість, щоб охопити широкий діапазон тиску. Для підтримки прийнятного КЗН може знадобитися інтеграція декількох контролерів з різними повномасштабними діапазонами тиску. Або, як альтернатива, наявність кількох випробувальних станцій для різних діапазонів тиску може бути кращим варіантом.

4.6.3 Швидкість до заданого значення

У виробничому середовищі пропускна здатність є ключовим показником ефективності. Мінімізація часу до заданого значення зменшує загальний час тестування, що збільшує пропускну здатність. Коли кількість датчиків у певному тесті (зазвичай їх кратно), кількість тестових точок і загальна сума з часом, навіть кілька секунд покращення швидкості до заданого значення можуть мати значне значення. Крім критичних для якості факторів, тобто точності та інших рівних умов, швидкість до заданого значення може бути найважливішим елементом критеріїв прийняття рішень.

4.6.4 Стабільність управління

Для того, щоб провести точне вимірювання, важливо, щоб тиск не змінювався при знятті показань. Зміна тиску через нестабільність роботи контролера потенційно може додати ще один елемент похибки. Примітка: Стабільність керування відрізняється від стабільності вимірювання, розглянутої в попередньому розділі про точність і невизначеність. Стабільність вимірювань є результатом можливого зсуву еталонного датчика з часом.

4.6.5 Надійність та міцність

Хоча не обов'язково існує специфікація надійності чи міцності, існують відмінності в призначенні конструкції різних контролерів. Деякі контролери створені для метрологічних або калібрувальних лабораторій, щоб допомогти автоматизувати процес калібрування інших стандартів передачі. Калібрувальні лабораторії зазвичай є контрольованими середовищами, де відносний обсяг калібрувань невеликий, тому такі аспекти продуктивності, як точність, є критичними, але такі аспекти, як швидкість, не є критичними.

Виробниче середовище може бути менш дружнім до контрольованих вимірювальних приладів, а обсяг калібрувань може бути високим. Контролери у виробничому застосуванні можуть працювати повну 8-годинну зміну, іноді 2 зміни, 5+ днів на тиждень. Контролери, не призначені для навколишнього середовища або таких типів робочих циклів, можуть вимагати вищого рівня технічного обслуговування та догляду, збільшуючи час простою, зменшуючи пропускну здатність і, зрештою, витрачаючи час і гроші.

4.6.6 Комп'ютерне керування

Можливість керувати регулятором тиску за допомогою комп'ютера має вирішальне значення для автоматизації системи тестування. Розглянемо, які варіанти інтерфейсу комп'ютера плануються для тестування системи, наприклад, RS232, IEEE, Ethernet, USB, і переконайтеся, що обраний контролер відповідає цій вимозі.

4.7 Кваліфікація персоналу

Надійність і точність вимірювальних пристроїв залежить не тільки від надійності самих пристроїв, але й від кваліфікації персоналу, який бере участь у їх тестуванні. Кваліфікація персоналу є критично важливим фактором у забезпеченні якості процедур тестування, оскільки вона безпосередньо впливає на точність і надійність отриманих вимірювань. Цей нарис заглиблюється в рекомендації щодо підтримки якості тестування вимірювальних пристроїв шляхом прискіпливої уваги до кваліфікації персоналу.

4.7.1 Освіта та підготовка:

Персонал, залучений до тестування вимірювальних пристроїв, повинен мати міцну освіту у відповідних галузях, таких як інженерія, фізика або метрологія. Всебічне розуміння базових принципів вимірювання та приладів має вирішальне значення. Необхідно впроваджувати програми безперервного навчання, щоб тримати персонал в курсі останніх розробок у технології вимірювання та методології тестування. Ця постійна освіта гарантує, що тестувальники мають знання та навички, необхідні для проведення точних і ефективних тестів.

4.7.2 Сертифікація та акредитація:

Програми сертифікації та акредитації відіграють ключову роль у забезпеченні компетентності персоналу, який займається тестуванням вимірювальних пристроїв. Міжнародні організації зі стандартизації, такі як ISO (Міжнародна організація стандартизації), надають сертифікати, які підтверджують кваліфікацію осіб у певних практиках тестування. Акредитація визнаних органів також підтверджує компетентність випробувальних лабораторій. Залучення сертифікованого та акредитованого персоналу вселяє впевненість у точності результатів вимірювань, оскільки відображає дотримання найкращих галузевих практик.

4.7.3 Практичний досвід:

Практичний досвід є безцінним у сфері тестування вимірювальних пристроїв. Персонал повинен мати практичний досвід роботи з різноманітними вимірювальними приладами та сценаріями тестування. Знайомство з реальними програмами допомагає тестувальникам зрозуміти тонкощі різних пристроїв і дає їм змогу визначити потенційні проблеми, які можуть виникнути під час тестування. Крім того, досвід сприяє розвитку інтуїтивних навичок вирішення проблем, що дозволяє тестувальникам ефективно вирішувати несподівані проблеми.

4.7.4 Знайомство з галузевими стандартами:

Вимірювальні пристрої часто підпорядковуються спеціальним галузевим стандартам, які диктують протоколи тестування та критерії точності. Персонал, який бере участь у тестуванні, повинен бути добре знайомий із цими стандартами та неухильно їх дотримуватися. Застосування стандартизованих процедур тестування забезпечує узгодженість методів вимірювання та полегшує порівняння результатів у різних середовищах тестування.

4.7.5 Навички спілкування та співпраці:

Навички ефективного спілкування та співпраці є обов'язковими для персоналу, який займається тестуванням вимірювальних пристроїв. Тестери часто працюють у міждисциплінарних командах, вимагаючи здатності чітко передавати складну технічну інформацію. Співпраця з розробниками пристроїв, інженерами та кінцевими користувачами вимагає ефективного спілкування, щоб гарантувати, що цілі тестування узгоджуються з передбачуваним застосуванням вимірювальних пристроїв. Сильні навички міжособистісного спілкування сприяють створенню середовища спільного тестування, підвищуючи загальну якість процесу тестування.

ВИСНОВКИ

В цій кваліфікаційній роботі було розглянуто актуальні питання, щодо якості випробувань цифрових барометрів. Також було розглянуто наступні питання:

- аналіз вимог законодавства, щодо проведення метрологічної діяльності на території України;
- огляд чинних нормативних документів, які визначають відповідність цих барометрів до вимог зазначених в них;
- було оглянуто різні види барометрів та принципи їх роботи. Основні види барометрів: Рідинний барометр, Анероїдний барометр та електронний барометр;
- також було оглянуті принципи та методики із випробування засобів вимірювальної техніки;
- була розроблена методика випробування цифрового барометру;
- Та згідно розробленої методики випробування, був випробуваний електронний (цифровий) вимірювач тиску HP03SA.

Забезпечення якості вимірювальних приладів є багатограничним процесом, який потребує системного підходу до випробувань. Калібрування та перевірка, тестування навколишнього середовища, перевірка надійності та довговічності, перевірка програмного забезпечення та вбудованого програмного забезпечення, а також тестування інтерфейсу користувача спільно сприяють розробці вимірювальних пристроїв, які забезпечують точні та надійні результати в різноманітних умовах. Дотримуючись цих рекомендацій, виробники можуть підвищити надійність своїх вимірювальних пристроїв, зміцнюючи довіру до даних, які вони генерують, і сприяючи їх широкому застосуванню в різних галузях промисловості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України про Метрологію та метрологічну діяльність.
2. Закон України про Технічні регламенти та оцінку відповідності.
3. Технічний регламент засобів вимірювальної техніки.
4. МІ 187 «ДСВ. Критерії достовірності та параметри методик перевірки».
5. МІ 188 «ДСВ. Встановлення значень параметрів методик перевірки».
6. РМГ 51-2002 «Документи на методики перевірки засобів вимірювань»..
7. Вимірювання у промисловості [Текст]: Справ. вид. у 3 – х кн. Кн. 2. Способи вимірювання та апаратура: Пер.з нім. / За ред. Профоса П. 2-ге вид., перероб. та дод. - К.: Металургія, 2011 - 384 с.
8. ДСТУ ISO/IEC 17000:2007 Оцінювання відповідності. Словник термінів та основні принципи [Текст] – Введ. 01.04.08. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 20 с.
9. ДСТУ ISO/IEC Guide 60:2007 Оцінювання відповідності. Кодекс усталеної практики [Текст] – Введ. 01.01.08. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 6 с.
10. ДСТУ ISO/IEC Guide 67:2008 Оцінювання відповідності. Засади сертифікації продукції [Текст] – Введ. 01.01.10. – Київ: Держспоживстандарт України, 2010. – 10 с.
11. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 р. N 124-VIII [Текст] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2015. – №14. – Ст. 96.
12. Закон України «Про підтвердження відповідності» від 2 жовтня 2012 року N 5312-VI [Текст] // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2012, N 32, ст. 169.
13. Estimating Uncertainties in Testing: Measurement Good Practice Guide No. 36. - British Measurement and Testing Association. 2003. 39 p.

14. Zakharov, I. and Botsyura, O. Estimation of expanded uncertainty in measurement when implementing a Bayesian approach // Measurement Techniques, 2018, Volume: 61, Issue: 4, pp. 342-346.

15. SO/IEC Guide 98-3:2008 «Uncertainty of measurement – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)».

16. ДСТУ-Н PMГ 43-2006. Metrology. Application of the "Guidelines for the Evaluation of Uncertainty in Measurements".