

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Калганов Ігор Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.1:532.5.

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розробка методів та пристроїв комерційного обліку споживання води в житлових приміщен-

нях

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Калганов Ігор Васильович

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Лютак Зіновий Петрович, к. т. н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Професор О.Є. Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

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

м. Івано-Франківськ – 2024 рік.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається із вступу, 3 розділів та має 72 сторінки, 16 зображення, 3 таблиць.

Перший розділ магістерської роботи присвячений огляду методів і засобів контролю, опису конструкцій витратомірів та принципів їх роботи.

Другий розділ складається з розробки вдосконаленої методики проведення вимірювань в області витрати води, розрахунку та опису схем витратоміра.

Третій розділ фокусується на розрахунках та метрологічному аналізі витратоміра для підтримання високої точності та надійності отриманих вимірювань. Контроль якості води є критично важливим, оскільки невірні вимірювання можуть призвести до серйозних наслідків у житті та побуті людей. Об'єктом дослідження є процес контролю витрати води в системі.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні завдання:

Дослідження методів контролю витрати води:

- Ретельно вивчити існуючі методи контролю витрати води з врахуванням їхньої точності та надійності;
- Особливу увагу приділити методам вимірювання витрати води та розглянути їхні переваги та обмеження. Аналіз і порівняння типів витратомірів: Вивчити різні типи витратомірів, включаючи електролічильники, вихрові лічильники та інші. Провести порівняльний аналіз технічних характеристик різних типів.

Огляд і порівняння типів витратомірів:

- Вивчити різні типи витратомірів, включаючи електролічильники, вихрові лічильники та інші;
- Здійснити порівняльний аналіз технічних характеристик різних типів витратомірів з метою вибору оптимального для конкретного використання.

-

Розробка вдосконаленої параметричної структурної схеми витратоміра:

- Розробити параметричну структурну схему витратоміра, яка враховує сучасні технологічні вимоги та стандарти ;
- Забезпечити витратомір оптимальними характеристиками для точного та надійного вимірювання витрати води.

Дослідження та метрологічний розрахунок удосконаленого витратоміра: -

Провести детальне вивчення розробленого витратоміра з точки зору метрологічних вимог та стандартів;

- Виконати розрахунки по похибці вимірювань для переконання у високій точності та надійності витратоміра в реальних умовах використання.

Ключові слова: методи вимірювання витрати води, витратоміри, технічні характеристики, порівняльний аналіз, параметрична структурна схема, метрологічний аналіз, похибка вимірювань.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, 3 chapters and has 72 pages, 16 images, 3 tables.

The first chapter of the master's thesis is devoted to an overview of control methods and means, description of flow meter designs and principles of their operation.

The second chapter consists of the development of an improved methodology for conducting measurements in the field of water flow, calculation and description of flowmeter circuits.

The third section focuses on calculations and metrological analysis of the flowmeter to maintain high accuracy and reliability of the measurements obtained. Water quality control is critical because incorrect measurements can lead to serious consequences in people's lives and everyday life. The object of research is the process of controlling water flow in the system. The subject of the work is the improvement of the measurement methodology and metrological analysis of the flow meter to ensure the reliability and accuracy of measurements. The purpose of the master's thesis is to develop and implement an improved methodology for measuring water flow using the developed flowmeter that meets modern standards and requirements.

To achieve this goal, the following tasks were formulated in the paper:

Study of water flow control methods:

- To thoroughly study the existing methods of water flow control, taking into account their accuracy and reliabilit

- Pay special attention to the methods of water flow measurement and consider their advantages and limitations. Analyse and compare types of flow meters: To study the different types of flow meters including electric meters, vortex meters and others. Conduct a comparative analysis of the technical characteristics of different types.

Overview and comparison of flow meter types:

- Examine the different types of flow meters, including electric meters, vortex meters, and others;

- Perform a comparative analysis of the technical characteristics of different types of flowmeters in order to select the best one for a particular application.

Develop an improved parametric flowmeter block diagram:

- To develop a parametric flowmeter block diagram that takes into account modern technological requirements and standards;

- Provide the flow meter with optimal characteristics for accurate and reliable water flow measurement.

Study and metrological calculation of the improved flowmeter: - To carry out a detailed study of the developed flowmeter in terms of metrological requirements and standards;

- To perform calculations on the measurement error to ensure the high accuracy and reliability of the flowmeter in real conditions of use.

Keywords: methods of water flow measurement, flow meters, technical characteristics, comparative analysis, parametric structural scheme, metrological analysis, measurement error.

Keywords: methods of water flow measurement, flow meters, technical characteristics, comparative analysis, parametric structural diagram, metrological analysis, measurement error.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	8
Вступ	9
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РЕЧОВИНИ.....	13
1.1. Аналіз сучасного стану методів контролю споживання води відомості про витрату, витратоміри та фактори впливу на точність вимірювань.....	13
1.2. Аналіз та огляд чинних нормативних документів.....	21
1.2.1 Огляд документів України.....	26
1.3. Основні терміни і положення щодо оцінки невизначеності вимірювань.....	29
1.3.1. Базовий алгоритм оцінювання невизначеності вимірювань.....	30
1.3.2. Складання модельного рівняння.....	31
1.3.3. Визначення коефіцієнтів чутливості вимірювань.....	32
1.3.4. Розрахунок розширеної невизначеності.....	34
1.3.5. Складання бюджету невизначеності.....	36
1.4. Методологія калібрування, різниця повірки і калібрування, бюджет невизначеності.....	37
1.4.1 Основні поняття калібрування.....	37
1.4.2 Основні методи калібрування.....	39
Висновки до розділу	41
2. Розробка удосконаленої методики проведення вимірювань параметрів, розрахунок і опис вимірювальних схем, структурних та принципових електричних схем вібраційного густиноміра	43
2.1 Види та використання лічильників для обліку води	42
2.1.1 Вихрові лічильники	43

2.1.2	Тахометричні електронні лічильники.....	45
2.1.3	Електромагнітні лічильник	46
2.2	Приклад існуючого розумного лічильника води із радіомодулем...	47
2.3	Лічильники з автоматизованим знаттям та передачею показників	49
	Висновки до розділу	53
3	РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	56
3.1	Вибір доступних компонентів для реалізації апаратної частини....	55
3.1.3	Мікрокомп'ютер Raspberry Pi.....	56
3.1.4	Мікроконтролер від Arduino.....	57
3.1.5	Використання модуля ESP8266.....	58
3.2	Розробка програмного забезпечення для отримання показ- никівлічильника з використанням плати ESP8266.....	59
3.3	Розробка структурної схеми.....	60
3.4	Розробка принципової схеми витратоміра.....	61
3.5	Опис алгоритму і блок сема пристрою.....	63
3.6	Робота з пристроєм.....	64
	Висновки до розділу	71
	Висновки	67
	Перелік використаних джерел	69
	Додатки	75
	Бібліографічна довідка	74

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗВ – засіб вимірювання

ВП – вимірювальний прилад

МХ – метрологічні характеристики

НД – нормативний документ

НСП – невиключена систематична похибка

GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

ISO - Міжнародна організація зі стандартизації / позначення
стандарту Міжнародної організації зі стандартизації

IEC – Міжнародна електротехнічна комісія

ВСТУП

Людина народжується і живе все своє життя в багатофакторному природно-соціальному середовищі. Це середовище характеризується постійною зміною хімічного складу, фізичних властивостей та інформаційно-комунікаційної напруженості. Всі ці показники є головними чинними силами, які безпосередньо впливають на людину та її здоров'я. Деякі з них мають позитивний вплив, а інші негативно впливають на наше здоров'я. Вони є суттєвою складовою застави безтурботного та розміреного життя. Дні, тижні, місяці та роки на людину впливають взаємини в сім'ї, на роботі, довкілля та інші подразники. Саме від таких факторів залежить тривалість життя, психоемоційний стан та здоров'я людини. Внаслідок цього в організмі «відчиняються ворота» для виникнення різноманітних хвороб. Не менш значний і спосіб життя людей, залежно від якого збільшується або зменшується рівень впливу того чи іншого фактора на організм.

Актуальність теми, яка полягає у використанні води і те, що вода є одним із найважливіших природних ресурсів. Насамперед це стосується прісної води, яку академік О. Ферсман назвав «найважливішим мінералом на Землі». Запаси прісної води на земній кулі (97 % усіх її запасів знаходиться в морях і океанах) обмежені. Вони становлять лише 3 %, з них 2 % - в полярних льодовиках, і тільки 1 % знаходиться в рідкому стані, придатному для використання. Забезпеченість водою в розрахунку на одну людину за добу в різних країнах світу різна. В ряді держав з розвинутою економікою назріла загроза нестачі води. Дефіцит прісної води на Землі росте в геометричній прогресії. Запаси прісної води на Землі розподіляються вкрай нерівномірно. В одних регіонах планети води достатньо або навіть є надлишки. В інших регіонах гостро відчувається її брак. Часто навіть за умови забезпечення водою вона має низьку якість.

Найбагатша водними ресурсами на одиницю площі Південна Америка. Друге місце посідає Європа. За нею йдуть Азія, Північна Америка й Африка. Найгірше забезпечена водними ресурсами Австралія. Відомий гідролог

Марко Львович поділяє їх на країни з високою, середньою, низькою та дуже низькою водністю.

Територія Австралії в цілому характеризується низькою водністю, але її забезпеченість водою на душу населення вища середньосвітової. Нова Зеландія належить до найбільш забезпечених водою країн світу.

Мета і завдання дослідження вода-один з найважливіших факторів, який визначає розміщення продуктивних сил, а дуже часто і засіб виробництва. Головними джерелами задоволення потреб людства у прісній воді є річкові води, світові запаси яких складають 40 тис. км³, запаси не є великими, враховуючи те, що реально можна використати тільки половину цього об'єму. Нині споживання прісної води становить близько 6,5 тис км³ за рік. Зростання водоспоживання при незмінних ресурсах річкового стоку створює реальну загрозу виникнення дефіциту прісної води. Деякі спеціалісти вважають, через кілька десятиліть вода буде не дешевшим товаром, ніж нафта.

Глобальною проблемою сьогодення є дефіцит питної води високої якості. На нашій планеті лише 3% води придатні для пиття і її розподіл по континентах дуже нерівномірний. Тому для дбайливого використання води її ціна постійно зростає, а споживання скрізь враховується лічильниками, від точності вимірювання та надійності яких певним чином залежать умови та якість життя людства. Вимоги ринку до засобів вимірювання кількості спожитої води не обмежуються лише точністю та надійністю. У переважній більшості випадків надзвичайно важливими характеристиками стають розширений діапазон вимірювань та висока чутливість в області малих витрат, чим забезпечується більш повний облік кількості спожитої води. З кожним роком використання населенням води збільшується. І це проблема не тільки екологічна, а й проблема виживання людини в наш час. Особливо гостро вона постала зараз під час військового вторгнення на територію України. Знищується екологія нашої країни, особливо потерпають від залишків нелюдської поведінки загарбників наші річки. Населення вже не раз під час війни стикалось з нестачею води. Тому проблема економного використання та споживання води є актуальною

Об'єкт дослідження, засоби дослідження зниження надмірного споживання води залишається важливим з таких причин:

- збереження водних ресурсів країни є найбільш економічно ефективним та екологічно безпечним способом зниження нашої потреби у воді;
- використання меншої кількості води щорічно зберігає величезну кількість енергії;
- використання меншої кількості води знижує тиск на наші каналізаційні й дренажні системи, що, в свою чергу, призводить до зниження витрат на технічне обслуговування;
- охорона та раціональне використання води допомагає збільшити термін використання запасів озер і річок, що має вирішальне значення для здоров'я екосистем у всьому світі.

Предмет дослідження удосконалення обліку споживання води Кількість лічильників води, встановлених у квартирах, постійно збільшується та разом з цим дедалі більша кількість таких лічильників вимагають проведення планової перевірки. Причина: з часом точність вимірювань знижується та збільшується похибка, внаслідок чого досить часто страждають мешканці. Фактором погіршення метрологічних характеристик лічильників є інтервал часу роботи приладу та умови, за яких він функціонує. Чинники, які впливають на невірні показники мають різну природу. Тому перевірка лічильників є обов'язковою для всіх користувачів.

В роботі використовується: комп'ютерне моделювання при визначенні основних параметрів засобів контролю споживання води.

Наукова новизнка вдосконалення засобу контролю споживання води за рахунок автоматизації процесу отримання та розрахунку обліку води.

Практичне значення:

- в процесі дослідження засобів і методів обліку споживання води було вдосконалено метод обліку води в побутових приміщеннях;

- розроблено програмне забезпечення для автоматизації обліку споживання води;
- удосконалили засіб для автоматизованого обліку води в побутових приміщеннях

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РЕЧОВИНИ

1.1 Аналіз сучасного стану методів контролю споживання води відомості про витрату, витратоміри та фактори впливу на точність вимірювань

Під терміном «витрата» розуміють — кількість (масу чи об'єм) речовини, що за одиницю часу переміщується через деякий поперечний переріз.

Кількість речовини вимірюють в одиницях маси (кілограми, тони, грами) або в одиницях об'єму (кубічних метрах, літрах). А витрата вимірюється в одиницях об'єму, поділених на одиницю часу, чи в одиницях маси, поділених на одиницю часу. В першому випадку матимемо об'ємну витрату Q_O , а в другому — масову витрату Q_M . Тобто, розрізняють об'ємну і масову витрати.

Масова витрата — це певна маса речовини, що проходить за одиницю часу крізь визначену площу. Величина вимірюється в одиницях маси за одиницю часу. В системі СІ це — кілограми за секунду (кг/с).

Об'ємна витрата — це певний об'єм речовини, що за одиницю часу проходить крізь визначну площу. Розглянемо випадок, коли речовина з рівномірно розподіленою по перерізу швидкістю u проходить через площу S під кутом θ напряму швидкості до перпендикуляру до площі S . У такому випадку, витрату можна визначити за виразом:

$$Q = u \cdot S \cdot \cos \theta. \quad (1.1)$$

У окремому випадку, коли швидкість потоку є перпендикулярною до площі S рівняння (1.1) буде виглядати так:

$$Q = u \cdot S. \quad (1.2)$$

При розрахунку витрати, потрібно використовувати середню швидкість потоку. Це усереднена характеристика інтенсивності процесу протікання речовини.

Середня швидкість — це уявна величина, однакова для всіх точок перерізу, при якій через цей переріз пропускається така ж кількість рідини, як і при дійсних швидкостях руху речовини.

Отже, масову витрату можна розрахувати через середню швидкість потоку в певному перетині, площу цього перетину та густину речовини:

$$Q_M = \rho \cdot V \cdot S, \quad (1.3)$$

де ρ — густина речовини.

З виразів (1.2) і (1.3) можна отримати масову витрату через об'ємну

$$Q_M = \rho \cdot Q \quad (1.4)$$

Якщо тиск і температура газу є відомими, можна правильно визначити кількість речовини (особливо газу). Як наслідок цього, результати вимірювання об'ємної витрати газу зазвичай приводять до стандартних (так званих, нормальних) умов, тобто температури 293.15 К (20 °С) і тиску 101 325 Па (760 мм. рт. ст.). Варто додати, що поруч з буквою, що позначає об'єм чи об'ємну витрату, потрібно ставити індекс «п» (приведений) або індекс «с» (стандартний).

Витратомір — прилад, який вимірює витрату речовини. З іншого боку, прилад, що вимірює масу чи об'єм речовини називається лічильником кількості, чи просто лічильником.

Прилад, який одночасно вимірює витрату та кількість речовини, називається «витратоміром з лічильником». Прийнято до цих термінів додавати назву речовини, що вимірюється, наприклад: витратомір газу, лічильник води, витратомір пари з лічильником.

При безпосередньому сприйнятті приладом витрати, що вимірюється (наприклад, діафрагма, сопло, напірна трубка) і перетворенні її в іншу величину (наприклад, в перепад тиску), зручнішу для вимірювання, такий прилад називається перетворювачем витрати.

Висока точність вимірювань, висока надійність, великий діапазон витрат, що підлягають вимірюванню, можливість проведення вимірів у екстремальних умовах (дуже високих чи низьких температурі та тиску) і широкий профіль речовин, що вимірюються — сучасні вимоги до витратомірів і лічильників.

Тому є надзвичайно важливим дотримання високих метрологічних та експлуатаційних стандартів щодо приладів і систем, які беруть участь у вимірюванні кількості та витрати речовин.

У реальних умовах експлуатації на роботу витратомірів та лічильників впливає ряд чинників. До них належать:

- технологічні;
- зовнішні механічні;
- кліматичні;
- конструктивні.

До технологічних можна додати такий ряд як:

- розподіл швидкостей у поперечному перерізі потоку - розподіл швидкостей у поперечному перерізі потоку є важливим фактором для точності вимірювань витрати. Зміни в розподілі швидкостей можуть виникнути через зміни геометрії трубопроводу, розгалуження або згострення течії. Нерівномірний розподіл швидкостей може впливати на точність вимірювань;
- закручування потоку - закручування потоку може виникати через зміни напрямку течії або наявність завивань у трубопроводі. Це може впливати на розподіл швидкостей та привести до збоїв в роботі витратомірів;
- пульсації витрати та тиску в потоці - пульсації можуть виникнути через коливання витрати або тиску в системі. Вони можуть бути спричинені дією насосів, вентилів, або інших управлінських елементів системи. Пульсації можуть створювати додаткові труднощі в точному вимірюванні витрати;
- динамічні характеристики потоку - динамічні характеристики потоку включають зміни в швидкості та тиску в часі. Наприклад, різкі зміни об'ємного потоку можуть впливати на точність вимірювань.

- гідравлічні удари -гідравлічні удари виникають при різкому зміні швидкості потоку і можуть спричинити тимчасові коливання тиску та витрати. Вони можуть впливати на стійкість та точність вимірювань.
- фізичні властивості газу- фізичні властивості газу, такі як температура, тиск і вологість, можуть змінюватися в залежності від умов в трубопроводі. Це може впливати на густину газу і, отже, на його вимірювання.
- домішки газу та інші фактори -присутність домішок в газі, таких як пил, волога або інші забруднення, може впливати на точність вимірювань та може вимагати додаткових заходів щодо обслуговування вимірювальних приладів.

Також розглянемо зовнішні механічні чинники, які можуть впливати на роботу витратомірів та лічильників газу:

- акустичний шум - акустичний шум може виникати внаслідок роботи обладнання в системі газопостачання. Високі рівні звукового тиску можуть впливати на елементи витратомірів та лічильників, зокрема на чутливі датчики. Шум також може викликати фонові коливання, що може впливати на точність вимірювань;
- вібрації - вібрації можуть виникати через рух обладнання, наприклад, насосів або компресорів, або через викидні гази в системі. Високі рівні вібрацій можуть призвести до виникнення механічних напруг у внутрішніх механізмах вимірювальних пристроїв і вплинути на їхню стійкість та точність;
- механічні удари - механічні удари можуть виникати внаслідок непередбачуваних змін в роботі системи, таких як зміни тиску, удари об'єктів або введення твердих частинок у потік газу. Такі удари можуть призвести до збоїв в роботі вимірювальних приладів та вплинути на точність вимірювань.

Таким чином, ретельне проектування та виготовлення вимірювальних пристроїв є обов'язковим для забезпечення їхньої стійкості до впливу зо-

внiшнiх механiчних чинникiв. Мета полягає в тому, щоб забезпечити надiйнiсть та точнiсть вимiрювань води навить у випадку наявностi цих факторiв.

Обов'язковим є врахування впливу клiматичних чинникiв:

- вологiсть - рiвень вологостi впливає на фiзичнi властивостi газу та може викликати корозiю або замерзання в елементах вимiрювальних пристроїв. Надмiрна вологiсть також може призвести до утворення конденсату в трубопроводi, що впливає на точнiсть вимiрювань;
- температура оточуючого середовища - температурнi змiни можуть впливати на фiзичнi характеристики газу та матерiалiв вимiрювальних пристроїв. Екстремальнi температури можуть викликати деформацiї або змiни у чутливостi датчикiв, що впливає на точнiсть вимiрювань.
- тепловi сонячнi потоки - пряме впливання теплових сонячних потокiв може призвести до перегрiву вимiрювальних пристроїв. Додаткова тепла енергiя може впливати на роботу термiчних чутливих елементiв та викликати недостовiрнi результати вимiрювань;
- атмосферний тиск - змiни в атмосферному тиску можуть впливати на густину газу та швидкiсть його потоку. Важливо враховувати змiни тиску для забезпечення точностi вимiрювань в умовах великих коливань атмосферного тиску;

Клiматичнi умови можуть значно варiювати, i розробка вимiрювальних пристроїв повинна враховувати цi змiни, щоб забезпечити стiйкiсть i точнiсть вимiрювань газу в рiзних клiматичних умовах.

Останнiй чинник якiй я б хотiв описати це констуктивний:

- електрична ємнiсть та омiчний опiр кабельних лiнiй - характеристики електричної ємностi та опору кабельних лiнiй можуть впливати на передачу сигналiв та електропостачання вимiрювальних пристроїв. Недостатня ємнiсть або високий опiр можуть спричинити втрати сигналу або нестабiльне електропостачання, що впливає на точнiсть вимiрювань;

- режим живлення блоків приладу - нормальний режим живлення, робота на резервних джерелах живлення та періодичні вимкнення можуть впливати на функціонування вимірювальних пристроїв. Важливо враховувати ці фактори при проектуванні та встановленні пристроїв для забезпечення стабільності та надійності роботи;
- навантаження на виході приладу та інші - завантаження на виході вимірювальних пристроїв, такі як опори навантаження, можуть впливати на їхню ефективність та точність. Неправильне підключення чи неправильне встановлення навантаження може викликати зміни в роботі пристроїв;

Конструктивні аспекти важливі для надійності та стійкості вимірювальних пристроїв у реальних умовах експлуатації. Врахування цих чинників у процесі розробки та виробництва є важливим для забезпечення точності та ефективності вимірювань газу.

Інтенсивність впливу зовнішніх чинників є різною та залежить від конкретних умов експлуатації. Загальний діапазон змін впливу є дуже широким. Варто зазначити, що інтенсивність впливу величин, спричинених зовнішніми чинниками визначає режим роботи лічильника чи витратоміра. Ці фактори впливають на точність та термін експлуатації пристрою

Зовнішні фактори, впорядковані за інтенсивністю впливу на роботу приладу, наведені на рис. 1.1.

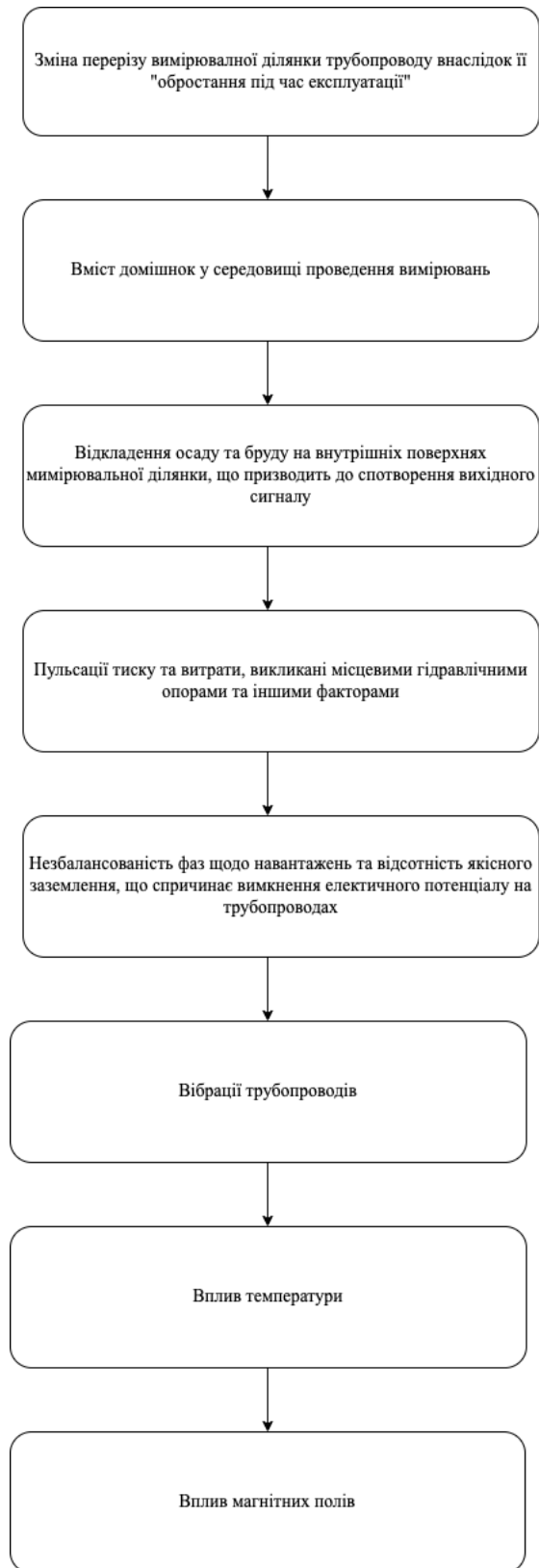


Рисунок 1.1 -Зовнішні фактори, впорядковані за інтенсивністю впливу

Існують також внутрішні технологічні фактори впливу, які спричиняють похибки вимірювань. Вони пов'язані з характеристиками середовища прове-

дення вимірювань та структурою цього середовища. До них належать: розподіл швидкості в поперечному перерізі потоку та закручування потоку.

Нормальний розподіл швидкостей у поперечному перерізі потоку характеризується тим, що епіюра швидкостей відповідає розвинутому турбулентному потоку в довгій круглій трубі, тобто підпорядковується логарифмічному закону.

Закручування потоку середовища проведення вимірювань можна охарактеризувати кутовою швидкістю обертання потоку ω , яка в одному і тому ж трубопроводі є детермінованою функцією швидкості потоку або об'ємної витрати газу. Закручування потоку поділяють на праве (обертання за годинниковою стрілкою) і ліве (проти годинникової стрілки). У випадку лівого закручування потоку, використовується знак мінус. Діапазон закручування позначають межами від w_{min} до w_{max} . В реальних умовах ці величини мають значення близько $-6 \text{ с}^{-1} \leq \omega(Q) \leq +6 \text{ с}^{-1}$. А величину закручування більше 2 об/с вважають інтенсивною. Зміни температури, тиску та вологості є одними з найважливіших зовнішніх величин впливу. Кількісні характеристики величин впливу наведені в таблиці 1.1. Максимальна температура в таблиці вказана як +85 °С. Незважаючи на це, існують випадки роботи витратомірів та лічильників і при вищих температурах, наприклад на металургійних підприємствах. В таких випадках варто вважати величину впливу як тепловий потік, які показані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Кількісні характеристики впливових величин: температури, теплового удару, тиску й вологості

№ п/п	Впливова величина	Діапазон змін для визначення	
		функцій впливу	залишкових впливів зовнішніх факторів
1	2	3	4
1.	Діапазон змін температури оточуючого середовища, °С	від -60 до +85	від -60 до +85
2.	Тепловий удар температурний стрибок, °С тривалість стрибка, с максимальна температура, °С	- - -	500-200 0.5-1 100-1000
3.	Тиск у навколишньому середовищі: підвищений тиск в нейтральному або спеціальному газовому середовищі при температурі, °С; тиску, МПа	- - - -	від -60 до +85 0,1-2 від -60 до +85 10^{-1} - 10^{-6}
4.	Вологість, %, при температурі від 25 до 50°С	-	800-100

Блоки пристрою, що містять електронні елементи є більш чутливими до температурних умов, тому в деяких випадках їх розміщують в окремих приміщеннях з більш стабільним та помірним температурним режимом.

1.2 Аналіз та огляд чинних нормативних документів

Первинним документом у галузі виробництва, експлуатації, повірки та калібрування ЗВТ є закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», вимоги якого обов'язково стосуються законодавчо регульованої сфери. Сферою законодавчо регульованої метрології є визначені цим Законом види діяльності, щодо яких з метою забезпечення єдності вимірювань та простежуваності здійснюється державне регулювання стосовно вимірювань, одиниць вимірювання та ЗВТ.

У сфері законодавчо регульованої метрології застосовуються ЗВТ, які відповідають вимогам щодо точності, регламентованим для таких 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 та іншим нормативно-правовим актам, що містять вимоги до таких ЗВТ. До них відносяться також й електромагнітні витратоміри, які застосовують у таких галузях:

- 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;
- торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, телекомунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або споживання енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо).

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» встановлює суттєві вимоги до ЗВТ та стосується лічильників води, лічильників газу та пристроїв перетворення

об'єму, лічильників активної електричної енергії, теплолічильників, вимірювальних систем для безперервного і динамічного вимірювання кількості рідин, крім води, автоматичних зважувальних приладів, таксометрів, матеріальних мір, приладів для вимірювання розмірів та аналізаторів вихлопних газів. Таким чином, цей технічний регламент може стосуватися й електромагнітних витратомірів, якщо такий принцип дії має відповідний лічильник речовини, що проводить електричний струм.

До суттєвих вимог відносяться допустимі похибки, кліматичні умови навколишнього середовища, зовнішні механічні, електромагнітні та інші впливові умови, основні правила для випробувань і визначення похибок, вологість навколишнього середовища, відтворюваність, 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 .

Крім того, цей технічний регламент встановлює особливі умови до лічильників води.

Виробник визначає нормовані робочі умови лічильника води, зокрема:

- діапазон вимірювання витрати води: $Q_3/Q_2 \geq 40$; $Q_2/Q_1 = 1,6$; $Q_4/Q_3 = 1,25$;
- діапазон температури води: від 0,1 °С до 30 °С; від 30 °С до 90 °С; лічильник води може бути такої конструкції, яка забезпечує роботу в обох діапазонах;
- відносний діапазон тиску води – від 0,3 бара до 10 бар для Q_3 ;
- для джерела живлення: номінальне значення напруги змінного струму та/або граничні значення напруги живлення постійного струму.

Максимально допустима похибка (за модулем) для значень об'єму під час вимірювання витрат води від перехідної (Q_2) (включно) і перевантажувальної (Q_4) становить: 2 % - для води за температури менше 30 °С; 3 % - для води за температури більше 30 °С.

Максимально допустима похибка (за модулем) для значень об'єму, вимірювання витрат води від мінімальної (Q1) до перехідної (Q2) (включно) становить 5 % за будь-якої температури води.

Максимально допустима похибка лічильника води не повинна систематично надавати перевагу будь-якій стороні.

Наслідки впливу електромагнітних завад на лічильник води повинні бути такими: зміна результату вимірювання не перевищує значення критичної зміни, або зареєстрований результат вимірювання не може інтерпретуватися як достовірний результат, наприклад, миттєва зміна не може інтерпретуватися, запам'ятовуватися або передаватися як результат вимірювання.

Після припинення дії електромагнітних завад лічильник води повинен:

- відновлювати свою роботу з похибкою не більше максимально допустимої похибки (за модулем);
- зберігати всі вимірювальні функції;
- забезпечувати відновлення всієї вимірювальної інформації, наявної безпосередньо перед впливом завади.

Значення критичної зміни дорівнює найменшому з двох таких значень:

- значенню, що відповідає добутку половини значення максимально допустимої похибки у верхній ділянці на виміряний об'єм;
- значенню, що відповідає добутку значення максимально допустимої похибки на отримане за одну хвилину за номінальної витрати значення об'єму.

Після проведення випробування на довговічність з урахуванням періоду часу, визначеного виробником, лічильник води повинен відповідати таким критеріям:

- 1) відхилення результату вимірювань після випробування на довговічність відносно первинного результату вимірювань не повинно перевищувати:
 - 3% виміряного об'єму між Q1 (включно) і Q2 (виключно);
 - 1,5 % виміряного об'єму між Q2 (включно) і Q4 (включно);

2) похибка зареєстрованого значення об'єму після випробування на довговічність не повинна виходити за межі:

- $\pm 6\%$ виміряного об'єму між Q1 (включно) і Q2 (виключно);
- $\pm 2,5\%$ виміряного об'єму між Q2 (включно) і Q4 (включно) – для лічильників води, призначених для вимірювання кількості води з температурою від $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\pm 3,5\%$ виміряного об'єму між Q2 (включно) і Q4 (включно) - для лічильників води, призначених для вимірювання кількості води з температурою від $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Лічильник води повинен функціонувати під час встановлення в будь-якому положенні, якщо на маркуванні чітко не зазначено інше.

Виробник повинен зазначати, чи дозволяє конструкція лічильника води вимірювати зворотний потік. У цьому випадку об'єм такого потоку повинен відніматися від накопиченого об'єму або реєструватися окремо. Така ж максимально допустима похибка застосовується як до прямого, так і до зворотного потоку. Лічильники води, в яких не передбачено вимірювання зворотного потоку, повинні запобігати зворотному потоку або витримувати випадковий зворотний потік без будь-яких пошкоджень чи змін метрологічних характеристик. Об'єм, що вимірюється, повинен відображатися в кубічних метрах.

Суб'єкт господарювання, що надає комунальні послуги, або уповноважена особа, яка має право встановлювати лічильник води, гарантує визначення додаткових вимог з метою забезпечення придатності лічильника для точних вимірювань споживання води, передбаченого або прогнозованого. Виробник може вибрати такі процедури оцінки відповідності (та їх комбінації): V + F або V + D або H1.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки» встановлює вимоги, яким повинні відповідати ЗВТ, які призначені для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, коли вони надаються на ринку

та/або вводяться в експлуатацію для виконання завдань, пов'язаних з вимірюваннями [3].

Згідно з ним, ЗВТ повинні відповідати суттєвим вимогам, установленим цим технічним регламентом та у відповідних національних стандартах та технічних специфікаціях для певних ЗВТ. Ці суттєві вимоги – це загальні вимоги, допустимі похибки, кліматичні умови навколишнього середовища, зовнішні електромагнітні умови, зовнішні механічні умови, інші впливові величини (коливання напруги, коливання частоти напруги живлення, частотні електромагнітні поля джерела живлення, будь-яка інша величина, яка може вплинути значною мірою на точність ЗВТ), основні правила для випробувань і визначення похибок, вологість навколишнього середовища, повторюваність, відтворюваність, поріг реагування і чутливість, довговічність, надійність, придатність, захист від несанкціонованого втручання, інформація, нанесена на засоби вимірювальної техніки або така, що його супроводжує, показання, подальша обробка даних з метою проведення торговельної операції, оцінка відповідності.

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

1.2.1 Огляд документів України

Щодо електромагнітних витратомірів, які безпосередньо їх стосуються, в Україні у даний час чинним є 5 гармонізованих національних нормативних документів.

Першим та найзагальнішим нормативним документом щодо електромагнітних витратомірів є словник термінів [4]. Цей стандарт установлює основні і загальні терміни щодо вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах, такі як: загальні терміни в механіці рідини, невизначеності, загальні терміни, що стосуються пристроїв, прилади для диференційного тиску, вимірювання критичної витрати, методи за швидкістю та площею, трасувальні методи, електромагнітні методи, зважувальні та об'ємні методи,

методи нестабільності, методи змінної області, ультразвукові методи, лічильники та інші. Стосовно електромагнітних витратомірів цей стандарт встановлює такі визначення: електромагнітний витратомір, первинний пристрій (електромагнітного витратоміра), вторинний пристрій (електромагнітного витратоміра), вимірювальна труба (електромагнітного витратоміра), вимірювальні електроди, магнітне поле, сигнал електрода, сигнал потоку, квадратурна напруга, синфазна напруга, опорний сигнал.

ДСТУ 7266:2012 встановлює загальні технічні вимоги до електромагнітних, швидкісних та вихрових витратомірів [5].

Інший стандарт [6] рекомендує методи випробувань для оцінки ефективності електромагнітних витратомірів для рідин, що протікають в закритих каналах. Він визначає єдину процедуру перевірки робочих характеристик, коли витратомір піддається певним впливовим величинам, і методи представлення результатів вимірювань робочих характеристик. Цей стандарт застосовується тільки до промислово встановлених на трубі електромагнітних витратомірів. У ньому встановлені вимоги щодо загальної процедури тестування (загальні вимоги, встановлення труб, електромонтаж, тестова рідина, захоплення повітря, діапазон провідності, умови випробувань навколишнього середовища, стандартні еталонні умови навколишнього середовища, допустимий діапазон умов навколишнього середовища для тестових вимірювань, стандартні умови навколишнього середовища для контрольних вимірювань, номінальні умови калібрування під час випробувань, контрольні значення, допуски, стандартні умови для з'єднувального кабелю, вихідний сигнал, перевірка нуля, калібрування витратомірів), оцінювання впливу впливової величини (загальні положення, внутрішній вплив, температура рідини, провідність рідини, розподіл швидкостей, тиск рідини, зовнішній вплив, аберація електроживлення, електричні завади, вплив напруги, механічна вібрація та удар), тестування для оцінювання впливу інших впливових величин (магнітний вплив, вихідний опір навантаження, довгостроковий дрейф, блукаючі струми всередині рідини, радіоперешкоди).

Ще один стандарт описує принцип і основні конструктивні особливості промислових електромагнітних витратомірів для вимірювання витрати провідної рідини в заповненому закритому трубопроводі. Він охоплює їх теоретичні вимоги (загальні положення, основні рівняння), конструкцію та принцип роботи (загальні положення, первинні пристрої, вторинні пристрої, вихід системи, вплив провідності рідини, ефект числа Рейнольдса, ефект профілю швидкості), проектування та практику монтажу (первинні пристрої, розмір, макет, вплив компоновання на розподіл швидкостей, положення електрода, забезпечення нульової перевірки, багатофазний потік через первинний пристрій, утримані тверді речовини, всмоктувані гази, фаза прослизання, підключення трубопроводів, регулювання трубопроводів, з'єднувальні частини, електрична установка, очищення та обслуговування первинного пристрою, вторинні пристрої, розташування, електрична установка), маркування обладнання (первинний пристрій, вторинний пристрій, обов'язкові дані, необов'язкові дані), умови калібрування та випробування (вологе калібрування, номінальні умови калібрування, інтерпретація результатів, випробування під тиском), аналіз невизначеності (загальний, визначення помилки, визначення стандартного відхилення, оцінювання невизначеності, розрахунок похибки вимірювання швидкості потоку, джерела помилок, поширення окремих невизначеностей).

Останній стандарт визначає загальну довжину (довжину залягання обличчям до обличчя) для фланцевих електромагнітних витратомірів. Він містить інсталяційні розміри: розміри витратоміра, загальна довжина, фланцеве з'єднання та позначення.

У переліках національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності ЗВТ суттєвим вимогам Технічного регламенту законодавчо регульованих ЗВТ та Технічного регламенту ЗВТ не містяться окремі стандарти на електромагнітні витратоміри. Тому обов'язковими є відповідність положенням цих технічних регламентів.

1.3 Основні терміни і положення щодо оцінки невизначеності вимірювань

Невизначеність вимірювань представляє собою не від'ємний показник, що вказує на ступінь розсіювання значень величини, які призначаються вимірюваній величині, з урахуванням доступної інформації. Цей параметр визначає рівень невизначеності, пов'язаний із точністю вимірювань, вказуючи, наскільки великим може бути розмах можливих значень величини, залежно від вже наявних даних.

Невизначеність вимірювань представляє собою не від'ємний показник, що вказує на ступінь розсіювання значень велич. Параметром може бути стандартне відхилення (або кратне йому число) або половина ширини інтервалу із установленною ймовірністю охоплення. Цей параметр визначає рівень невизначеності, пов'язаний із точністю вимірювань, вказуючи, наскільки великим може бути розмах можливих значень величини, залежно від вже наявних даних:

$$Y = y \pm U, p = 0,95 \quad (2.1)$$

Всі складові невизначеності в результаті вимірювання можна згрупувати в дві категорії відповідно до способом їх оцінювання [4]:

А - складові, які оцінюються шляхом застосування статистичних методів (обробкою результатів багаторазових вимірювань);

В - складові, які оцінюються в інший спосіб (по характеристикам, узятим з попередніх експериментів, з паспорта на прилад, методик виконання вимірювань, з довідників і т.д.).

Класифікація невизначеності представлена на рис. 1.2.

Невизначеність вимірювань включає складові, обумовлені систематичними ефектами, в тому числі складові, пов'язані з поправками і приписаними значеннями еталонів, а також дефінітну невизначеність. Іноді поправки на оцінені систематичні ефекти не вводять, а замість цього останні розглядають як складові невизначеності вимірювань.

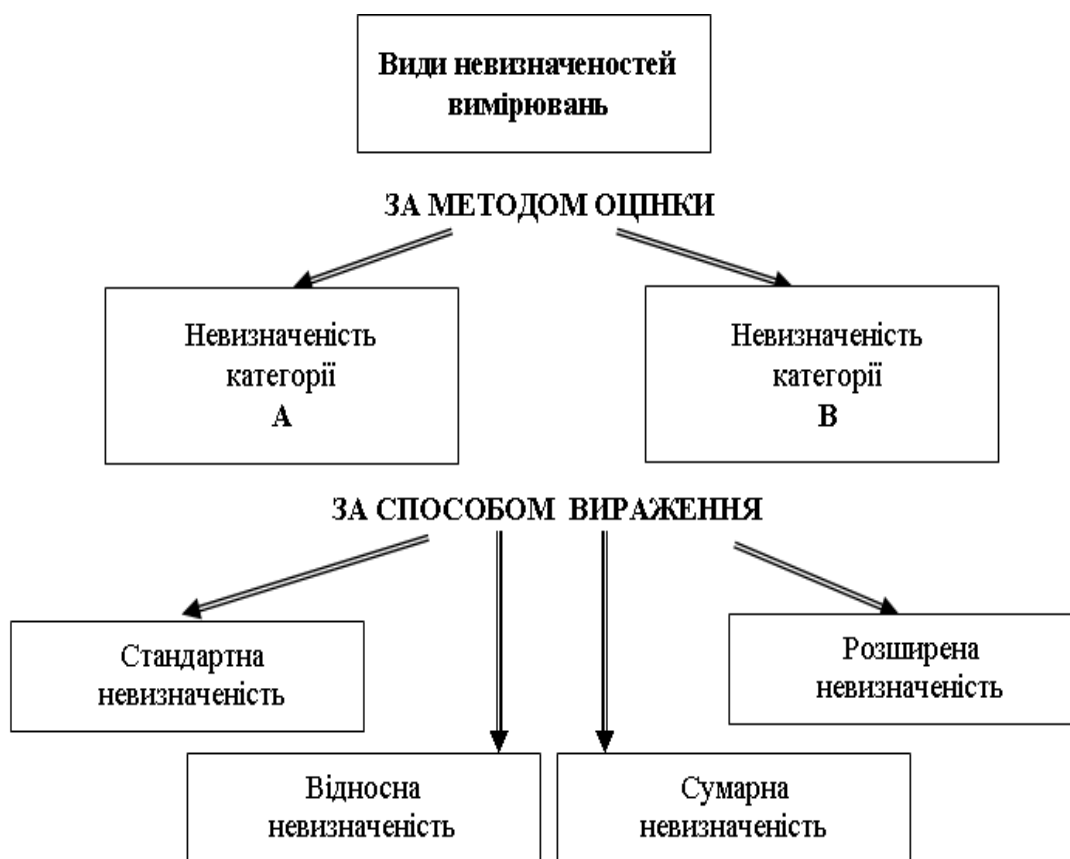


Рисунок 1.2 – Класифікація невизначеності вимірювань

Складові типу А оцінюються як стандартні (середньоквадратичні) відхилення результатів багаторазових вимірювань (невизначеності типу А). Ці складові характеризуються числами ступенів свободи ν (для прямих багаторазових вимірювань $\nu = n-1$, де n – кількість багаторазових спостережень, виконаних при вимірюванні). Надалі ν враховується при обчисленні коефіцієнта охоплення і розширеної невизначеності. Якщо міжскладовими типу А спостерігається статистичний взаємозв'язок (кореляція), то необхідно вказувати коефіцієнти кореляції $(x_i, x_j) = r_{ij}$. Складові типу В також оцінюються як передбачувані стандартні (середньоквадратичні) відхилення, одержувані з відомих меж, в яких можуть знаходитися – значення цих складових (невизначеності типу В - UB). Для складових типу В число ступенів свободи приймається рівним нескінченності.

Між складовими типу В може існувати передбачувана взаємозв'язок, тоді слід вказувати коефіцієнти передбачуваної кореляції.

Сумарна стандартна (середньоквадратична) невизначеність розраховується за правилом підсумовування дисперсій:

$$u_A^2 = u_A^2 + u_B^2 ; \quad (2.2)$$

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (2.3)$$

Інтервальною оцінкою невизначеності є розширена невизначеність U , яку отримують шляхом множення стандартної сумарної невизначеності на так званий коефіцієнт охоплення k :

$$U = ku, \quad (2.4)$$

де: U - розширена невизначеність, k - коефіцієнт охоплення, u - стандартна сумарна невизначеність.

При вказівці розширеної невизначеності вказують рівень довіри - ймовірність p . Ця ймовірність приймається рівною $p = 0,95$.

Відносна невизначеність представляє собою величину, яка визначає відношення стандартної, сумарної або розширеної невизначеності до модуля вхідної або вихідної величини. Цей показник виражає ступінь неоднозначності чи ризику вимірювань в порівнянні з самою величиною, яку вони оцінюють чи вимірюють.

$$U_{\text{відн}} = \frac{u}{|x|} . \quad (2.5)$$

Відносна невизначеність часто виражається у відсотках та є важливим показником при оцінці точності вимірювань. Вона вказує, яка частина величини є "невизначеною" або "похибкою" у вимірюванні в порівнянні з її самою.

1.3.1 Базовий алгоритм оцінювання невизначеності вимірювань

Базовий алгоритм оцінювання невизначеності вимірювань при виконанні метрологічних робіт включає в себе наступні операції:

- 1) складання модельного рівняння;

- 2) оцінювання вхідних величин, внесення поправок на відомі систематичні ефекти в результатах вимірювань;
- 3) обчислення оцінки результату вимірювань;
- 4) визначення стандартних невизначеностей вхідних величин;
- 5) визначення коефіцієнтів чутливості;
- 6) обчислення вкладу невизначеності кожної вхідної величини в невизначеність вимірюваної величини;
- 7) визначення попарних кореляцій вхідних величин;
- 8) обчислення сумарної стандартної невизначеності вимірюваної величини;
- 9) обчислення коефіцієнта охоплення;
- 10) обчислення розширеної невизначеності вимірюваної величини;
- 11) запис повного результату вимірювання;
- 12) складання бюджету невизначеності.

1.3.2 Складання модельного рівняння

Модельне рівняння виражає залежність між вихідний (вимірюваної) величиною Y і вхідними величинами

В якості вхідних величин в модельне рівняння, крім безпосередньо вимірюваних величин, ще входять змінні, значення яких і їх невизначеності відомі з зовнішніх джерел, а також поправки до результату вимірювання на відомі систематичні ефекти, основні і додаткові абсолютні похибки використовуваних засобів вимірювання.

1.3.3 Обчислення оцінки результату вимірювань

Оцінку вихідної величини отримують при підстановці в модельне рівняння оцінок вхідних величин.

У отриманні значення вносячи поправки на відомі систематичні ефекти. Ці поправки вносяться в модельне рівняння як вхідні величини і самі є джерелами невизначеності.

Оцінку вихідної величини отримуються при підстановці в модельне рівняння оцінок вхідних величин:

$$u_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{i \text{ сеп}})^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

де u_i - СКО i -ї вхідної величини; X_{ij} - результат j -го вимірювання вхідної величини; $X_{i \text{ сеп}}$ - середнє арифметичне для вхідної величини, n - кількість вимірювань.

Вона відповідає середньому квадратичному відхиленню (СКО) результату вимірювання (середнього арифметичного) i -ї вхідної величини.

Стандартна невизначеність типу В вхідної величини залежить від апріорної інформації про мінливості вхідної величини. Якщо i -а вхідна величина є невиключеною систематичною похибкою (НСП) з межами $\pm\theta_i$, то її невизначеність обчислюється за формулою:

$$u_B(x_i) = \frac{\theta_i}{a_i}, \quad (2.7)$$

де: $u_B(x_i)$ - стандартна невизначеність типу В для i -ї вхідної величини, θ_i - межі невиключеної систематичної похибки (НСП) для вхідної величини, a_i - коефіцієнт підтвердження для i -ї вхідної величини.

Для рівномірного або невідомого закону розподілу $a_i = \sqrt{3}$

Для нормального закон розподілу $a_i = 2$ (для ймовірності 0,95).

Для трикутного закону розподілу $a_i = \sqrt{6}$; для закону арксинуса

$a_i = \sqrt{2}$.

1.3.4 Визначення коефіцієнтів чутливості вимірювань

Коефіцієнти чутливості показують, як оцінка вихідної величини змінюється зі зміною оцінок вхідних величин. Їх знаходять як приватні похідні вихід-

ної величини по кожній з вхідних величин, оцінені при значеннях вхідних величин:

$$c_i = \frac{\partial y}{\partial y_i}. \quad (2.8)$$

При прямих вимірюваннях всі коефіцієнти чутливості рівні 1.

При лінійній модельній функції коефіцієнти чутливості рівні постійним коефіцієнтами при вхідних величинах. Також коефіцієнти чутливості відповідають коефіцієнтам впливу, визначають при оцінці похибок непрямих вимірювань при нелінійній залежності

1.3.5 Визначення стандартної невизначеності вихідної величини (сумарної стандартної невизначеності)

Визначення стандартної невизначеності вихідної величини здійснюється за формулами, звані закон поширення невизначеності.

При відсутності кореляцій між вхідними величинами стандартної невизначеності вихідної величини визначається як:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(x_i)}. \quad (2.9)$$

При наявності кореляцій між вхідними величинами стандартна невизначеність вихідної величини визначається як

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N u(x_i)u(x_j)\rho_{x_i x_j}}. \quad (2.10)$$

У разі рівномірного розподілу коефіцієнта кореляції ± 1 , сумарна стандартна невизначеність двох корельованих величин визначається як

$$U_c(y) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 \pm 2u_1u_2}. \quad (2.11)$$

Знак \pm вказує на те, що вибір між "плюс" та "мінус" залежить від того, чи відбувається збільшення або зменшення однієї величини в той час, коли інша залишається незмінною. Ця формула враховує квадрати стандартних невизначеностей кожної величини, а також їхню кореляцію.

1.3.6 Розрахунок розширеної невизначеності

Розширену невизначеність отримують шляхом множення невизначеності вихідної величини (сумарної стандартної невизначеності) на коефіцієнт охоплення:

$$U = k * u(y) . \quad (2.12)$$

Коефіцієнт охоплення (k) визначається на основі рівня довіри та зазвичай виражається як кількість стандартних відхилень (σ) від середнього значення. Наприклад, для рівня довіри $= 0.95$ $p=0.95$ часто використовується коефіцієнт охоплення $k=2$, що відповідає діапазону від -2σ до $+2\sigma$.

Розширена невизначеність є важливим поняттям у вимірюваннях і дозволяє враховувати невизначеність в замірюваній величині з більш високою достовірністю. Коли вимірювання проводяться, результат може бути висловлений з певним рівнем невизначеності. Сумарна стандартна невизначеність враховує внески всіх вхідних величин і кореляції між ними, забезпечуючи комплексний підхід до оцінки невизначеності вихідної величини.

Коефіцієнт охоплення визначає розмір розширеної невизначеності і враховується в розрахунках для визначення діапазону, в межах якого, з високою ймовірністю, знаходиться вимірювана величина. Високий рівень довіри може бути важливий у вимірюваннях, особливо якщо результати використовуються для прийняття важливих рішень.

Також, важливо враховувати, що вибір коефіцієнта охоплення може залежати від конкретних вимог або стандартів, що застосовуються до конкретної галузі або завдання вимірювань. Крім того, розширена невизначеність може бути корисною для порівняння з технічними вимогами чи іншими допусками, щоб забезпечити прийнятну якість вимірювань.

1.3.7 Складання бюджету невизначеності

Обчислені внески невизначеності зручно представляти у вигляді бюджету невизначеності, який включає в себе список всіх вхідних X_1, \dots, X_m , і їх оцінок x_1, \dots, x_m разом з належними їм стандартними невизначеностями вимірювання $u(x_i)$ і законами їх розподілу, а так само числами ступенів свободи (табл. 2.1) [11]. Для невизначеностей типу А (отриманих шляхом багаторазових повторних спостережень) число ступенів свободи на одиницю менше числа проведених спостережень, для невизначеності типу В число ступенів свободи дорівнює нескінченності. Крім цього для кожної величини таблиця повинна містити коефіцієнт чутливості c_i і внесок невизначеності $u_i(y) = c_i u(x_i)$. Для занесених в таблицю числових значень в таблицю числових значень повинні вказуватися одиниці вимірювання для відповідної величини. У нижньому рядку бюджету невизначеності можна розмістити інформацію про вихідний величиною (вхідна величина, її оцінка, невизначеність вхідної величини, ефективне число ступенів свободи v_{eff} , довірна ймовірність $p=0,95$, коефіцієнт охоплення, розширена невизначеність).

Таблиця 1.1 – Схема бюджету невизначеності

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Число ступенів свободи	Коефіцієнт чутливості	Вклад невизначеності
X_1	x_1	$u(x_1)$	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	ν_2	c_2	$u_2(y)$
...
X_m	x_m	$u(x_m)$	ν_m	c_m	$u_m(y)$
Вимірювальна величина	Оцінка вимірюваної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективне число ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
Y	y	$u(y)$	ν_{eff}	k	U

1.4 Методологія калібрування, різниця повірки і калібрування, бюджет невизначеності

1.4.1 Основні поняття калібрування

Калібрування – операція, яка, при зазначених умовах, на першому етапі встановлює співвідношення між значеннями величини, забезпечено вимірювальним еталоном з невизначеністю вимірювання, і відповідними показаннями зі зв'язаною невизначеністю вимірювання, і на другому етапі використовує цю інформацію, для встановлення співвідношення, необхідного для отримання результату вимірювання з показань.

Калібрування може бути виражено твердженням, калібрувальною функцією, калібрувальною діаграмою, або калібрувальною таблицею. У деяких випадках вона може складатися з адитивного або мультиплікативного виправлення ознаки зі зв'язаною невизначеністю;

Калібрування не повинно бути переплутано з юстировкою засобу вимірювання (ЗВ), часто помилковою званою «самокалібровка», ні з верифікацією.

Іноді перший крок, єдиний в вищезгаданому визначенні калібрування може бути сприйнятий як калібрування [1].

Повірка – процес визначення органами державної метрологічної служби (або будь-якими іншими уповноваженими організаціями) придатності вимірювальних пристроїв до використання, здійснюваний на підставі експериментально встановлених метрологічних характеристик, а також підтверджує їх відповідність існуючим вимогам. Обов'язковій повірці піддаються вимірювальні засоби, які підлягають (за технічними вимогами) державного метрологічного нагляду і контролю.

Калібрування – це сукупність деяких операцій, що визначають співвідношення між значеннями величин, отриманих за допомогою даного вимірюва-

льного приладу, і відповідними значеннями величин, встановлених за допомогою еталона. Калібрування проводиться для того, щоб визначити дійсні метрологічні характеристики конкретного вимірювального приладу. Зазвичай калібрування піддаються вимірювальні пристрої, які не потребують обов'язкового державного метрологічного нагляду і контролю.

Калібрування частково замінило раніше існуючу метрологічну атестацію і відомчу перевірку вимірювальних приладів (табл. 2.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння операцій повірки та калібрування

Ознака	Повірка	Калібрування
Сфера поширення	ЗВ, що підлягають державного метрологічного нагляду і контролю	ЗВ, використовувані в лабораторіях, акредитованих на відповідність [2]
Періодичність	Визначається НД	Визначає замовник
Умови проведення	Нормальні	Задає замовник
Метод	Передбачено НД	Встановлює замовник
Суть	Визначення МХ плюс перевірка відповідності	Визначення МХ плюс внесення поправки
Оцінка характеристик точності результату	Не проводиться	Невизначеність вказується в калібрувальному сертифікаті

Калібрування – це добровільна операція, яку може виконувати метрологічна служба будь-якого підприємства (якщо таке є). Однак добровільність проведення калібрування не має на увазі під собою звільнення метрологічної служби підприємства від дотримання всіх необхідних вимог.

Головне з яких – це обов'язкова «прив'язка» робочого вимірювального пристрою до державного (національного) еталону. Таким чином, процес калібрування можна охарактеризувати як складову частину державної системи, що забезпечує єдність вимірювань. А з урахуванням того, що національна система гарантування єдності вимірювань гармонізована з міжнародними нормами і

правилами вимірювань, калібрування включена в світову систему, що забезпечує єдність вимірювань.

Калібруванню підлягають :

- власні вихідні еталони та зразкові речовини лабораторії;
- засоби вимірювань лабораторії або взяті напрокат (в оренду), які застосовуються під час калібрувань (випробувань);
- обладнання лабораторії, якщо його параметри або характеристики значно впливають на результати випробувань (калібрувань).

Лабораторія повинна мати програму і процедуру калібрування всіх перерахованих засобів вимірювання і обладнання. При створенні цих програм і процедур в них необхідно вказувати невизначеність вимірювань.

Необхідність проведення калібрування, обсяг, порядок, періодичність та перелік необхідних засобів для його проведення під час експлуатації визначається їх користувачем, тобто лабораторією, виходячи з вимог інструкцій з його експлуатації або нормативним документам на методи калібрування і/чи випробування.

1.4.2 Основні методи калібрування

Метрологічна служба підприємства зобов'язана виконувати певні вимоги. Основна вимога до метрологічної службі – забезпечення відповідності робочого засобу вимірювань державному стандарту, тобто калібрування входить до складу національної системи забезпечення єдності вимірювань.

Виділяють чотири методи калібрування (повірки) засобів вимірювальної техніки:

- метод безпосереднього порівняння з еталоном;
- метод звірення за допомогою компаратора;
- метод прямих вимірювань величини;
- метод непрямих вимірювань величини.

Вимоги до методів калібрування:

- повинні відповідати потребам замовника;
- повинні відповідати проведеним в лабораторії калібрування;
- задаються замовником або (якщо не задаються) вибираються калібрувальною лабораторією;
- повинні підходити для використання за призначенням і бути достовірними.

Також неможливо не згадати метод порівняння безпосередньо із еталоном. Метод безпосереднього звірення з еталоном засобу вимірювання, що піддається калібруванню, з відповідним еталоном певного розряду практикується для різних засобів вимірювань в таких сферах, як електричні вимірювання, магнітні вимірювання, визначення напруги, частоти і сили струму. Даний метод базується на здійсненні вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини калібруемого приладу і еталоном одночасно. Похибка калібруемого приладу обчислюється як різниця показань калібруемого приладу і еталонового приладу (тобто покази еталонового приладу приймаються за справжнє значення вимірюваної фізичної величини).

Переваги методу безпосереднього звірення з еталоном:

- простота;
- наочність;
- можливість автоматичного калібрування (повірки);
- можливість проведення калібрування за допомогою обмеженої кількості приладів і обладнання.

Важливо враховувати, що метод безпосереднього звірення може бути особливо корисним у вимірюваннях, де висока точність та надійність є критичними параметрами. Цей метод також може використовуватися для підтвердження відповідності засобу вимірювання стандартам та нормативам, що робить його важливим елементом в системах якості та сертифікації. У контексті автоматизації вимірювань та повірки, метод безпосереднього звірення може бути інтегрованим в автоматизовані системи, що сприяє ефективності та зменшенню людських помилок. Також, зазначте, що забезпечення можливості калі-

брування за допомогою обмеженої кількості приладів і обладнання підкреслює практичність та економічні переваги даного методу.

Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто початкову частину цієї роботи, таким чином це надає глибокий огляд методології вимірювань витрати речовини, починаючи від основних понять та термінів калібрування. Описані різниця між повіркою та калібруванням, а також бюджет невизначеності, вирізняють цей розділ як важливий етап в забезпеченні точних та достовірних вимірювань. Аналіз чинних нормативних документів підкреслює важливість відповідності стандартам у сфері вимірювань.

Особливу увагу приділено визначенню витрати, витратомірів та факторів, що впливають на точність вимірювань. Підходи до оцінки невизначеності вимірювань та їхні методології розглядаються для забезпечення високого рівня відтворюваності та надійності результатів.

Також, метод безпосереднього звірення з еталоном висвітлюється як важливий інструмент для забезпечення точності та вимірювальної впевненості у вимірюваннях. Наголошено на простоті та наочності цього методу, його можливості автоматизації та ефективності у використанні. Загалом, розділ 1 встановлює фундаментальні принципи, необхідні для успішного проведення вимірювань витрати речовини та покладає основу для подальших досліджень у галузі калібрування та вимірювань.

2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБЛІКУ ВОДИ

2.1 Види та використання лічильників для обліку води

При придбанні лічильника обліку холодної або гарячої води споживач часто стикається з проблемою вибору, оскільки кількість різновидів цих приладів досить велика.

Усі прилади обліку води призначені для певних умов роботи, інформація про які нанесена на самому корпусі (літери «Х» та «Г» для холодної та гарячої рідини відповідно). З технічної точки зору, жодної різниці у конструкції приладів обліку холодної та гарячої води немає. Лічильники працюють за тим самим принципом, в залежності від обраного типу вимірювання. Однак якщо поставити лічильник холодної води на трубопровід з гарячою водою, то неминучі постійні протікання. До того ж показання приладу будуть невірними. Якщо ж, навпаки, встановити водомір гарячої води на «холодний» трубопровід, то датчик нормально працюватиме.

Така особливість пов'язана з матеріалами, з яких виготовлено лічильники. Для приладів обліку спожитої гарячої води використовуються більш зносостійкі корпуси та комплектуючі, здатні витримувати не лише високі температури, а й часті зміни режиму.

Для лічильників гарячої води перевірка проводиться частіше через жорстокі умови роботи та ризики, пов'язані з можливим спотворенням даних та ймовірністю виходу приладів з ладу.

Конструктивні особливості та різні типи функціонування лічильника визначають сфери його експлуатації, термін служби, а також ринкову вартість.

Контроль обліку споживання води ведеться не тільки у житлових будинках та квартирах, а й у всіх адміністративних, промислових та інших об'єктах де використовуються водні ресурси ресурс.

За типом функціонування лічильники води поділяються на:

- вихрові;
- тахометричні;

- ультразвукові;
- електромагнітні.

2.1.1 Вихрові лічильники

Цей вид вимірів характеризується стійким балансуванням, що дозволяє знімати високоточні показання навіть за умов вібрації. Датчик фіксує частоту і кількість вихрових утворень, що виникають у потоці після проходження через спеціальну перешкоду – тіло, що обтікається.



Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд вихрового лічильника

Даний пристрій раціонально використовувати для обліку кількості лише однорідного потоку, що не містить домішок та сміття. Як правило, це техноло-

гічні рідини, що використовуються на виробництві. За кількістю потоків, що обслуговуються, водні датчики поділяються на: одноканальні, двоканальні, багатоканальні.

Крім того, важливо зазначити, що вихрові лічильники води демонструють найвищу ефективність при роботі з рідинами, які не містять великих часток домішок чи сміття. Такі датчики оптимально використовуються у виробничих умовах, де важливо точно вимірювати об'єми технологічних рідин для забезпечення ефективного виробництва та контролю за водоспоживанням.

За кількістю каналів обслуговування різних потоків, водні датчики можна класифікувати на одноканальні, що обробляють один потік, двоканальні - для вимірювання двох різних потоків, та багатоканальні, які здатні вимірювати більше двох потоків одночасно.

Ця класифікація дозволяє вибрати лічильник води, який оптимально відповідає конкретним потребам та умовам експлуатації у конкретній виробничій або технологічній сфері.

2.1.2 Тахометричні електронні лічильники

За своєю суттю ці пристрої нічим не відрізняються від механічних аналогів. Але їх особливістю є не просто фіксація об'єму води, що використовується, а реєстрація спожитої води певної температури. Здійснюється цей процес за допомогою термодатчиків, якими обладнано пристрій.

Найпоширеніші моделі електролічильників оснащені двома термореєстраторами, а рідше можна зустріти варіанти із трьома. Це свідчить про стрімкий розвиток технологій у сфері лічильників, де виробники активно вдосконалюють їхні характеристики, зокрема за рахунок використання термодатчиків для точного визначення температури води.

Такі лічильники стають невід'ємною частиною сучасних систем обліку ресурсів, де точність та комплексність вимірювань важливі для ефективного управління водопостачанням.



Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд тахометричних електронних лічильників

Вся інформація про спожиту кількість рідини певної температури підсумовується та виводиться на дисплей. Таким чином, з високою точністю відстежується кількість водопостачання фіксованої температури, що дозволяє чітко оплачувати рахунки за водопостачання.

Ще однією перевагою електронного лічильника є його незалежність від мережі живлення, оскільки прилад повністю автономний і працює за рахунок літійової батареї, яка не потребує підзарядки або заміни.

Завдяки простій конструкції і невисокій ціні відмінним варіантом для квартири і дому є крильчасті лічильники. Серед недоліків таких лічильників слід зазначити інерційне обертання крильчатки після зупинки руху потоку води. Але на невеликих обсягах це не дуже впливає на загальний показник витрати.

Конструктивно розрізняють одноструменеві і багатоструменеві лічильники. Першими обладнана більшість квартир, вони працюють за рахунок того, що лопать крильчатки обертається під дією однієї струменя рідини. В другому випадку струмінь перед крильчаткою розділяється на кілька потоків і подається на кілька лопатей крильчатки відразу. Дана конструкція дозволяє зменшити тиск потоку і збалансувати крильчатку, що дає більш точні результати і подовжує термін служби лічильника.

2.1.3 Електромагнітні лічильники

Робота електромагнітних лічильників (рис. 2.3) заснована на взаємодії водного потоку та передбаченого конструкцією магнітопроникного циліндра, що має зсередини електромагнітний шар, а зовні – аналогічні обмотки. Магніт створює індукційне поле, параметри якого змінюються водним потоком, який проходить через лічильник. Ці зміни фіксуються двома електродами, розташованими діаметрально та контактують з рідиною. Дані про швидкість та обсяг вимірюваної течії виводяться на екран.

Такі пристрої відрізняються високою точністю вимірювання, проте необхідно підключити лічильник до мережі живлення. До того ж існує можливість намагнічування металевих частинок на приладі, що спотворює показники, для запобігання цьому ефекту потрібна попередня фільтрація рідини.



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд електромагнітного лічильника

Електромагнітні лічильники є ефективними пристроями для точного вимірювання водного потоку у системах водопостачання та водовідведення. Завдяки особливостям їх конструкції, ці лічильники мають декілька важливих переваг:

- Точність вимірювань: Електромагнітні лічильники відзначаються високою точністю вимірювань, що робить їх ідеальними для вимірювання різних обсягів води з високою точністю.
- Використання електромагнітного поля: Застосування магнітного поля для вимірювань дозволяє уникнути прямих контактів з рідиною, що може бути корисним у випадках, коли вода містить агресивні речовини чи властивості, які можуть пошкодити традиційні лічильники.
- Вивід даних на екран: Лічильники обладнані системою виводу даних на екран, що дозволяє операторам легко спостерігати за швидкістю та обсягом вимірюваної течії.

Незважаючи на переваги, електромагнітні лічильники також мають свої обмеження:

- Необхідність живлення: Для їхньої роботи потрібно підключення до електромережі. Це може бути незручно в умовах, де доступ до живлення обмежений або відсутній.
- Можливість намагнічування металевих частинок: Магнітне поле може викликати намагнічування металевих частинок у рідині, що може впливати на точність вимірювань. Для уникнення цього ефекту рекомендується встановлювати фільтри для очищення рідини перед вимірюванням.

Усі ці аспекти важливі при виборі лічильників для конкретного застосування, і їх слід враховувати при проектуванні систем водопостачання та водовідведення.

2.2 Приклад існуючого розумного лічильника води із радіомодулем

Автоматизація є одним з напрямків науково-технічного прогресу, який спрямований на використання технічних засобів, що дають людині можливість не приймати пряму участь у процесі передавання, отримання, перетворення і використання енергії, інформації або ж матеріалів.

Процес автоматизації залучає широкий спектр сучасних технологій, які зменшують втручання людини в процеси шляхом попереднього визначення критеріїв прийняття рішень, взаємозв'язків підпроцесів і пов'язаних з ними дій. Він включає використання різного обладнання та систем управління, таких як машини, процеси на фабриках, котли, термообробні печі, телефонні мережі, рульове керування та стабілізація кораблів, літаків. Також він охоплює різні сфери застосування: від термостата, який має керувати котлом, до великих промислових систем управління з десятками тисяч вхідних вимірювань і вихідних контролюючих сигналів. Банківський сектор також зменшує втручання людини в роботу.

Автоматизація може досягатися різними засобами наприклад: механічними, гідравлічними, пневматичними, електричними, електронними пристроями та комп'ютерами.

Складні системи на прикладі сучасних заводів, літаків або кораблів, зазвичай комбінують всі ці засоби. Переваги автоматизації включають:

- зменшення часу витраченого на працю;
- зменшення відходів;
- зменшення витрат, пов'язаних з електроенергією;
- зменшення кількості матеріальних витрат;
- підвищення якості та точності.

З точки зору енергозбереження на сьогоднішній момент автоматизація систем обліку і контролю домашніх та промислових енергоресурсів: електрики, газопостачання, водопостачання та опалення є одним з актуальних напрямків.

Всі автоматизовані системи обліку води, які забезпечують дистанційний контроль тиску, температури та кількості спожитого ресурсу, можна розділити

на дві категорії: системи для «безпроблемних» вузлів обліку та системи для «проблемних» вузлів.

«Безпроблемний» – це такий вузол, на якому немає проблем з живленням, приміщення сухе (не затоплюється), є виділений Інтернет, а вартість обладнання не має значення. Для автоматизації таких вузлів обліку в більшості випадків достатньо встановити спеціалізований контролер з виходом в Інтернет, внаслідок чого звичайні лічильники перетворюються на дистанційні прилади обліку води.

«Проблемний» вузол – це вузол, на якому є проблеми з живленням (воно повністю відсутнє або з ним трапляються перебої; або фактично воно на об'єкті є присутнім, але підключатися до нього немає можливості), приміщення періодично затоплюється, Інтернет відсутній, а при виборі обладнання рахують кожну копійку. Усі нюанси таких вузлів враховують автоматизовані системи обліку води.

Основними перевагами автоматизованої передачі показників лічильника є те що:

- щомісяця споживач заощаджуватиме від 10 до 30 хвилин часу, адже тепер не потрібно надсилати дані вручну;
- зникнуть труднощі зі зняттям показань (дзеркало, камера телефону, пильна сантехнічна шафа);
- прилади автоматично щомісяця передають дані у встановлений час, вони точно не забудуть;
- відпадає необхідність дзвонити мешканцям і чекати на показники по месенджеру або коли «зателефонують увечері»;
- у день передачі показників лічильника можна сміливо перебувати у відпустці або знаходитися за межами дому.

Першим прикладом розумних лічильників стала система моніторингу датчиків, яка могла зчитувати показання лічильників. Така система була розроблена на початку 70-х років американським вченим Теодором Паракевасом. З

появою Інтернету речей та розвитком елементної бази, функції лічильників значно збільшилися.

В даний час на шляху розвитку розумних лічильників стоять проблеми безпеки, конфіденційності та висока вартість даних пристроїв. Однак згідно з дослідженнями, використання розумних датчиків дозволить скоротити витрати на споживані ресурси. Багато країн ухвалюють закони, які зобов'язують вводити розумні лічильники в експлуатацію.

2.3 Лічильники з автоматизованим зняттям та передачею показників

Розумні лічильники води автоматично передають показники в розрахункові центри, керуючі та ресурсопостачальні компанії двома способами: використовуючи внутрішні протоколи обміну серверів вище перелічених організацій та електронною поштою.

Для налаштування автоматичної передачі споживач сам вибирає спосіб та дату надсилання показань. У призначений час система автоматично передає показники та повідомляє споживачеві про успішне відправлення. Ці оповіщення надходять на e-mail або push-повідомленнями на смартфон споживача.

При передачі даних потрібно вибрати день і час відправки. Якщо споживач хоче автоматично надсилати показники на свій email або, наприклад, своєму орендодавцю, то час і періодичність надсилання, як правило, можна налаштувати довільно.

Серед лічильників, які можуть передавати показники в автоматичному режимі можна виділити лічильники компанії smart-MAIC D105. Прилад має вигляд рис 2.4 Даний прилад дозволяє вимірювати споживання ресурсу з урахуванням показань лічильників води, газу, електроенергії та інших, оснащених імпульсними виходами. Підключення до Інтернету та передача даних відбувається через WiFi або GSM (опціонально).

Прилад призначений для постійного вимірювання імпульсів від підключених лічильників. Вимірювання та протоколювання проводяться з метою пода-

льшого аналізу та впровадження змін, спрямованих на зниження витрат на електроенергію.

Зв'язок з пристроєм здійснюється по протоколу бездротового зв'язку IEEE 802.11 Wi-Fi. Пристрій передає накопичені дані на «хмарний» сервер для подальшого аналізу та візуалізації. Для отримання додаткової інформації про параметри обробки, отримані з пристрою, відвідайте ВЕБ-сторінку www.smart-MAIC.com. Поточні дані доступні на веб-сайті, вбудованому в пристрій.



Рис 2.4 - Лічильник імпульсів smart-MAIC D105

Прилад оснащений двома входами для підрахунку імпульсів. Імпульсом вважається замикання імпульсного входу на GND. Імпульсні входи призначені для підключення лічильників і / або датчиків, які повідомляють про зміну свого стану шляхом замикання вихідних контактів. Підрахунок імпульсів відбувається на двох входах незалежно один від одного. Вимірювання температури та/або вологості. Пристрій дозволяє підключити максимум 5 датчиків температури

типу DS18x20 або один датчик температури і вологості DHT22 / D280 або багато інших датчиків.

Аналоговий вхід призначений для підключення різних аналогових датчиків. Аналоговий вхід вимірює постійне значення напруги між 0-16 В постійного струму.

Контрольований вихід Прилад оснащений регульованим виходом типу «сухий контакт». Контрольований вихід призначений для автоматизації управління навантаженням. Вихід може керувати силовим реле або контактором, до якого підключаються електроприлади.

Виведенням керують віддалено, на WEB-сторінці пристрою або з сервера. Також можна контролювати вихід згідно з попередньо визначеними правилами та/або розкладом. Контрольований вихід призначений для перемикання потужності навантаження < 50 Вт.

Інтерфейс RS485 призначений для підключення різноманітних датчиків або отримання даних за стандартом RS485. Параметри RS485 9600 8-N-1. Запит на отримання даних у форматі JSON:

- приклад запиту 0x6A 0x00 0x00 0x01 0x51
- приклад даних які приходять на серверу частину
{ "ID":1778384897,"TIME":1695201127,"T1":25.50,"T2":47.30,"T3":0,"T4":0,"T5":0,"ADC":0,"Ch1":0,"Tch1":27860,"Ch2":0,"Tch2":27860,"OUT":0 }

WEB-інтерфейс пристрою призначений для перегляду поточних даних і налаштування параметрів роботи пристрою. У розділі «Дані» можна змінити статус контрольованого виходу. Доступ до вбудованого в пристрій WEB-сайту здійснюється за IP-адресою та паролем. Час бездіяльності на веб-сайті пристрою обмежений 5 хвилинами, після чого потрібно повторно ввести пароль для продовження роботи з пристроєм.

Для нормальної роботи пристрою необхідно в місці його встановлення забезпечити наявність сигналу від вашої бездротової мережі. При першому за-

пуску або після відновлення заводських налаштувань пристрій переходить в режим бездротової точки доступу.

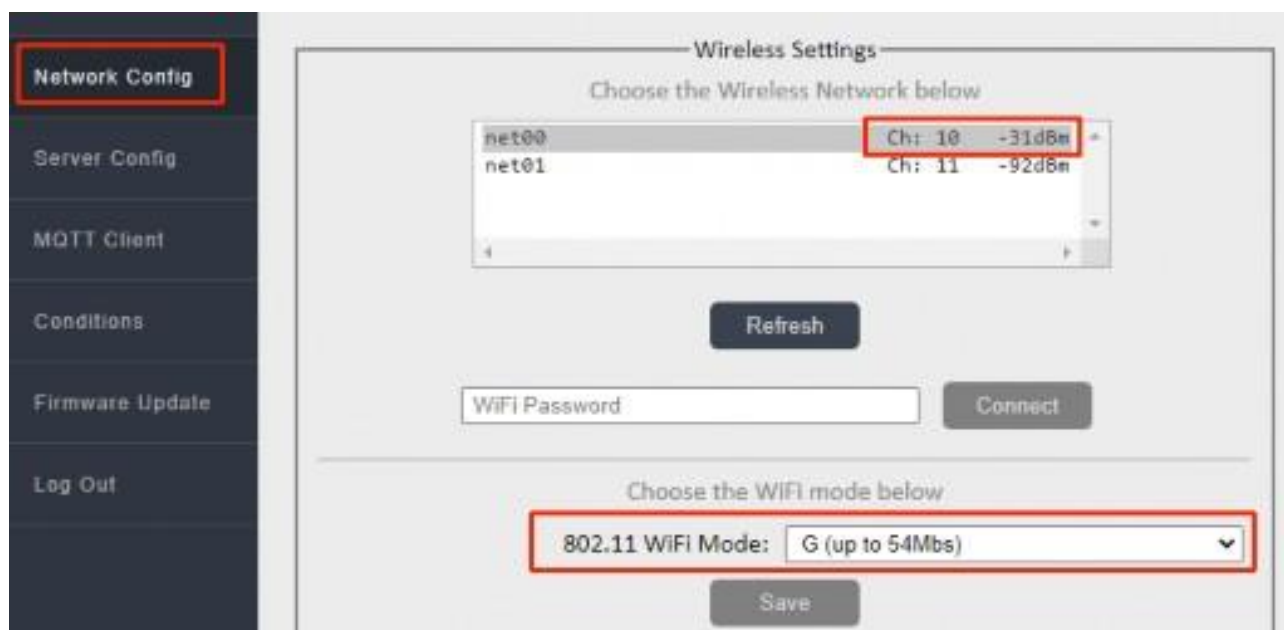


Рис 2.5 – Зовнішній інтерфейс підключення до мережі

Таким чином пристрій дозволяє вимірювати споживання ресурсів шляхом урахування показань, що надходять із лічильників води, газу, електроенергії та інших лічильників, які обладнані імпульсними виходами. Моніторити температуру в п'яти точках, а також тиск, вологість, освітленість, CO2 або будь-який інший стан за допомогою аналогових датчиків.

Висновки до другого розділу

У другому розділі був проведений детальний огляд та аналіз технічного рішення щодо обліку води. Розглянуті різноманітні види лічильників, які використовуються для вимірювання витрат води, включаючи вихрові лічильники, тахометричні електронні лічильники і електромагнітні лічильники.

Зокрема, досліджено особливості та переваги тахометричних електронних лічильників, які, за своєю суттю, не відрізняються від механічних аналогів, але відзначаються здатністю реєструвати температуру води завдяки вбудованим термодатчикам.

Це важливе покращення, яке робить їх ефективними для вимірювань в різних умовах та дозволяє отримувати додаткові дані про процеси використання води. Крім того, розділ включає аналіз існуючого розумного лічильника води із радіомодулем. Проведений огляд таких сучасних рішень вказує на тенденцію використання новітніх технологій для покращення систем обліку та управління водопостачанням. Такі розумні лічильники можуть забезпечити не лише точне вимірювання витрат води, але й взаємодію з іншими системами за допомогою радіочастотного модуля, що сприяє покращенню ефективності та автоматизації процесів.

Загалом, другий розділ магістерської роботи надає інсайти щодо різноманітних аспектів технічних рішень у сфері обліку води, враховуючи як традиційні, так і інноваційні підходи, що допомагає висвітлити перспективи та потенційні можливості в даній галузі.

3. РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Вибір доступних компонентів для реалізації апаратної частини

При розробці сучасного проекту зазвичай спочатку вирішується задача вибору апаратної платформи клієнтської частини. На даний час існує велике різноманіття плат та рішень для побудови ефективної і недорогої системи з використанням готових модулів. Слід пам'ятати, що мікрокомп'ютери використовують операційні системи, а мікроконтролери використовують мікропрограму, написану на низькорівневій або високорівневій мові програмування.

Мікроконтролер – це спеціалізований комп'ютер, який виконано у вигляді мікросхеми і який складається з мікропроцесора, оперативної та постійної пам'яті, головним призначенням яких є збереження виконуваного коду і даних, портів вводу-виводу та блоків зі спеціальними функціями (компаратори, АЦП, лічильники та інші).

Зазвичай для написання програмного забезпечення для мікроконтролера використовують високорівневі мови програмування такі як C, C++, Python, C# і навіть JavaScript. Майже всі IoT проекти мають в своєму складі мікроконтролери. Це можна пояснити тим, що вони підтримують безліч стандартів вводу та виводу, мають низький рівень споживання електроенергії та коштують дешевше в порівнянні з мікрокомп'ютерами. Серед їх недоліків можна виділити меншу обчислювальну потужність, в порівнянні з мікрокомп'ютерами. Найбільш популярними мікроконтролерами є Atmel, STM, ESP8266, ESP32 тощо.

Мікрокомп'ютер базується на чіпі та має класичну архітектуру фон Неймана з центральним процесором, відеокартою, оперативною пам'яттю, мережами Wi-Fi/Bluetooth і портами вводу-виводу. Сучасні мікрокомп'ютери використовують такі операційні системи як Linux та Windows. Як правило, мікрокомп'ютери мають більшу обчислювальну потужність ніж мікроконтролери, HDMI відеовихід, високошвидкісний Wi-Fi та Bluetooth підключення карток флеш-пам'яті та багато іншого.

Недоліком мікрокомп'ютерів є більш висока ціна та високе енергоспоживання у порівнянні з мікроконтролерами. Мікрокомп'ютери використовуються якщо вам необхідно виконувати велику кількість розрахунків, потокове відео, складні інформаційні системи, міні-сервери.

Вибір між мікроконтролером та мікрокомп'ютером насамперед залежить від розміру завдань, які мають бути виконані. У будь-якому випадку необхідно зосередитися на найкращій якості та вигідній ціні. Зараз на ринку представлені досить потужні мікропроцесорні плати, які відразу можуть працювати з протоколами Bluetooth, Wi-Fi та HTTP.

Для того щоб обрати правильні компоненти розглянемо які в даний час поширені і доступні на ринку для реалізації

3.1.1 Мікрокомп'ютер Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 Model B – це мікрокомп'ютер від Raspberry Pi Foundation, який працює на основі оновленого 4-ядерного 64-розрядного процесора SoC Broadcom BCM2837B0 та збільшеною тактовою частотою 1,4 ГГц (рис. 3.1).

Raspberry Pi 3 Model B



Рисунок 3.1 - мікропроцесор Raspberry Pi 3 Model B

Бездротовий модуль складається з дводіапазонного Wi-Fi стандарту IEEE 802.11ac та Bluetooth 4.2 BLE. Мікрокомп'ютер має гігабітний Ethernet, що працює через шину USB 2.0, яка забезпечує швидкість передачі даних до 300 Мбіт/с. Обсяг оперативної пам'яті – 1 ГБ, форм-фактор та розташування всіх портів забезпечує сумісність із більшістю існуючих аксесуарів

Raspberry Pi 3 Model B, як і його попередники, відрізняється високим рівнем надійності, простотою налаштування та високою якістю виконання.

3.1.2 Мікроконтролер від Arduino

Напевно плати Arduino є найпопулярнішою платформою для створення IoT проєктів. Існує багато типів плат Arduino, для яких розроблено чимало різних плат розширення з датчиками, інтерфейсами, реле керування та багато чого іншого.

Arduino Mega 2560 – одна з найкращих плат мікроконтролерів від Arduino, яка базується на потужному чіпі ATmega2560 (16 МГц) (рис. 3.3). Вона має 54 цифрових входів/виходів, 14 з яких підтримують роботу в режимі ШІМ, 4 апаратні послідовні порти UART для взаємодії з комп'ютером та різними приладами, 16 аналогових входів, роз'єм USB і роз'єм для можливості підключення зовнішнього живлення

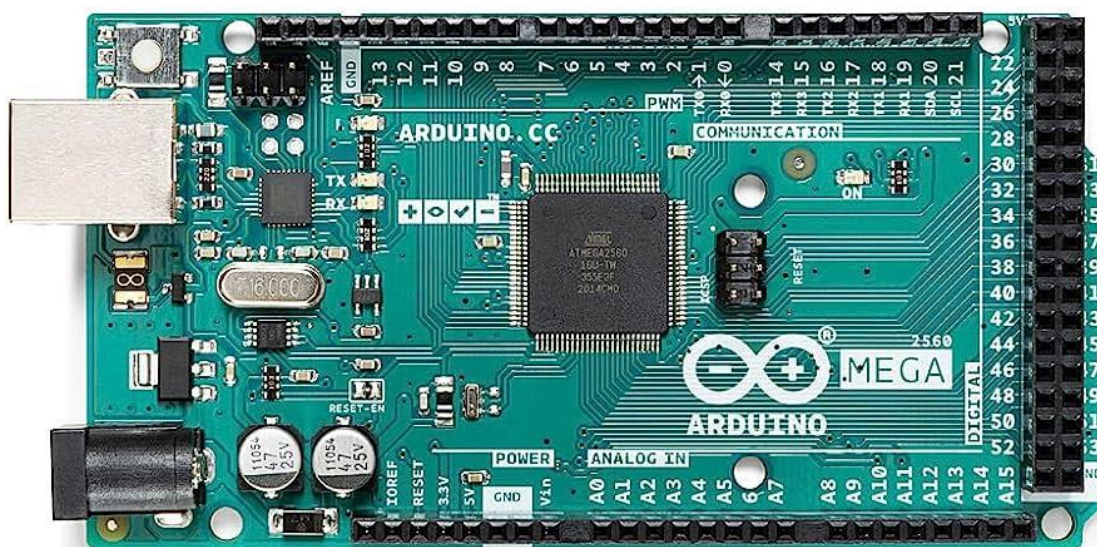


Рисунок 3.3 – Плата мікроконтролера Arduino Mega 2560

Однією перевагою цього рішення є безкоштовна Arduino IDE, за допомогою якої можна писати програмне забезпечення з використаннями мови C. ESP8266

3.1.3 Використання модуля ESP8266

ESP8266 - це повноцінний модуль із вбудованим мікроконтролером, завдяки якому він може працювати незалежно від інших компонентів.

Можливість взаємодії з Arduino розширює спектр проєктів, в яких можна використовувати даний пристрій. Крім інтегрованих контролерів Wi-Fi та Bluetooth модуль також має вбудовану відеокамеру та роз'єм microSD для можливості зберігання різного роду інформації. Даний модуль зовсім не дорогий і може взаємодіяти з багатьма пристроями, датчиками та мікроконтролерами.

Сферами застосування ESP8266 (рис. 3.5) можуть бути як прості IoT проєкти так і більш просунуті системи для моніторингу та розпізнавання зображень з використанням штучного інтелекту. Модуль можна використовувати навіть як систему спостереження для віддаленої перевірки того, що відбувається в будь-якому місці, де б ви не знаходилися.

Основні характеристики пристрою:

- підтримка бездротового зв'язку Wi-Fi 802.11 b/g/n + Bluetooth 4.2 LE;
- Оперативна пам'ять (RAM): Зазвичай має вбудовану оперативну пам'ять від 32 до 128 кілобайт.
- 16 наскрізні отвори з UART, SPI, I2C, PWM;
- напруга живлення 5В;
- Існує кілька моделей ESP8266, але одна з найбільш популярних - ESP-12 - має розмір близько 24 мм x 16 мм.
- Підтримка програмування: Може бути програмований за допомогою мови Arduino IDE або за допомогою інших середовищ програмування.

ESP8266 є економічним та потужним рішенням для бездротового з'єднання пристроїв, і використовується для реалізації широкого спектру IoT-проєктів.

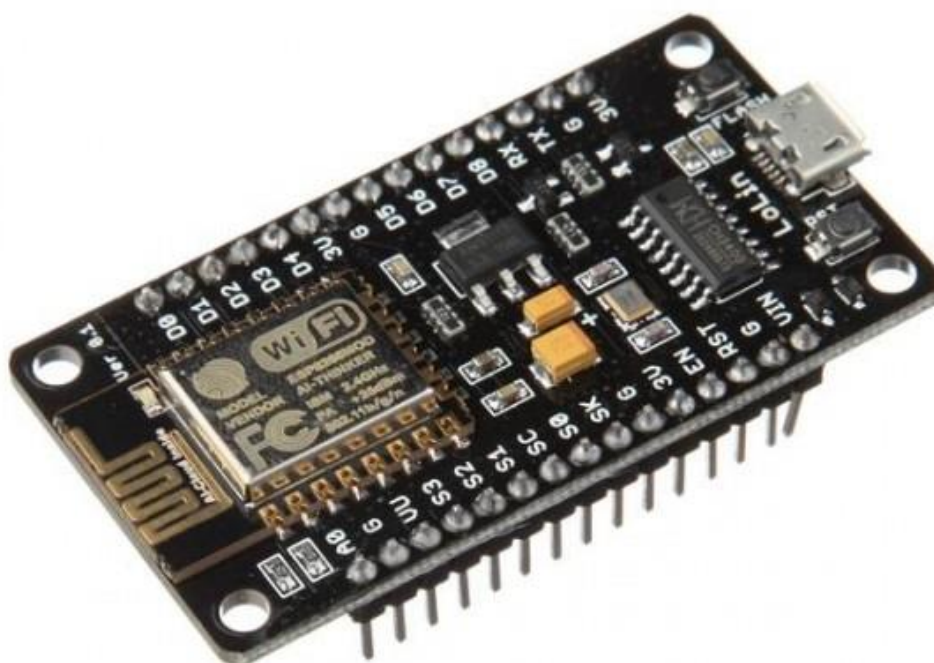


Рисунок 3.5 – Плата незалежного модуля ESP8266

3.2 Розробка програмного забезпечення для отримання показників лічильника з використанням плати ESP8266

Використання плати **ESP8266** для зняття та передачі кількості спожитої холодної або гарячої води обумовлене тим, що даний пристрій має низьку ціну, високу якість, яка задовольняє потреби розроблюваного пристрою, є доступним на ринку та може бути запрограмованим з використанням власної та існуючої кодової бази для Arduino. Обраний мікроконтролер відповідає очікуванням кінцевого споживача, серед таких можна виділити, низький рівень споживання електроенергії, малі розміри та підтримка сучасних безпроводних технологій як Wi-Fi та Bluetooth.

Для створення програмного забезпечення можна використовувати безкоштовну Arduino IDE або ж використовувати утиліту командного рядка під назвою

PlatformIO. Якщо необхідним є використання сучасних текстових редакторів, таких як Atom, Sublime Text або Visual Studio Code, то для них розроблено плагін, який дозволяє інтегрувати PlatformIO, це надає можливість використати всі переваги текстових редакторів при розробці програм для мікроконтролерів на відміну від застарілої та малофункціональної Arduino IDE

3.3 Розробка структурної схеми

Структурна схема витратоміра представлена на рис 3.6

- 1) Блок живлення – живить інші блоки, використовується блок живлення напругою 24 В.
- 2) Стабілізатор напруги – стабілізує напругу для живлення мікроконтролера на рівні 3.3 В
- 3) УЗ витратомір води – вимірює витрату води ультразвуковим методом.
- 4) Мікроконтролер – основний блок, в якому відбуваються всі основні операції такі як зчитування перетворення і вивід інформації.
- 5) Дисплей – використовується для відображення інформації.
- 6) WiFi-адаптер – використовується для забезпечення зв'язку мікроконтролера з мережею інтернет

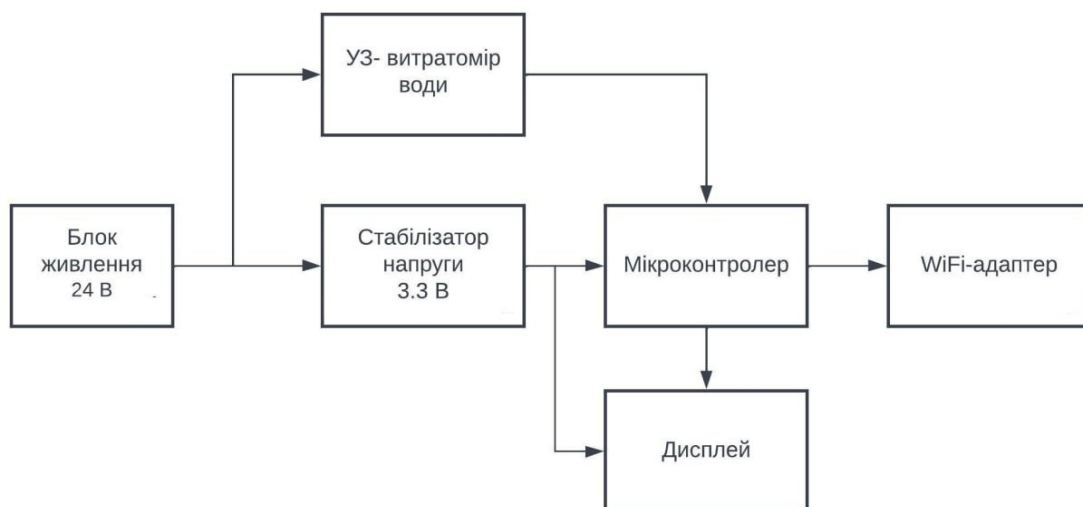


Рисунок 3.6 – Структурна схема витратоміра

На структурній схемі зображено окремі блоки які використовуються у витратомірі

З блоку живлення подається напруга на стабілізатор напруги та ультразвуковий витратомір . З стабілізатора живлення напруга надходить на мікроконтролер і дисплей – пристрій включається.

З витратоміра до мікроконтролера надходить інформація про виміряну витрату, де відбувається обробка отриманих даних. Після обробки мікроконтролер через WiFi-адаптер передає опрацьовані дані на сервер та на вебсторінку в браузері.

3.4 Розробка принципової схеми витратоміра

На рисунку 3.7 зображена електрична принципова схема витратоміра води

Пристрій базується на мікроконтролері з вбудованим WiFi-модулем ESP8266, в ньому виконуються всі основні операції. Для коректної роботи контролера необхідно контакти EN, RESET та GPIO0 через резистори R2, R3 R4, з номіналами в 10 КОм повинні бути з'єднаними з плюсом живлення; контакт GPIO15 через резистор R5 на 10 Ком повинен бути з'єднаним з мінусом живлення. Також для забезпечення необхідною для роботи ESP8266 напругою використовується лінійний стабілізатор AMS1117 на 3.3 В, під позиційним номером DD1.

Ультразвуковий лічильник J1 передає данні через дільник напруги на контакт ADC. Оскільки витратомір має межі вихідного сигналу від 0 В до 10 В, а АЦП мікроконтролера може примати напруги від 0 В до 3.3 В, необхідно використовувати дільник з коефіцієнтом 0.333. Дільник складається з потенціометра P1 на 50 кОм та резистора R1 на 10 кОм. Потенціометр необхідний для точного налаштування коефіцієнту дільника напруги.

Отриманий від витратоміра сигнал опрацьовується та передається на вебсторінку в локальній мережі, заданий в програмі сервер та дисплей HG1.

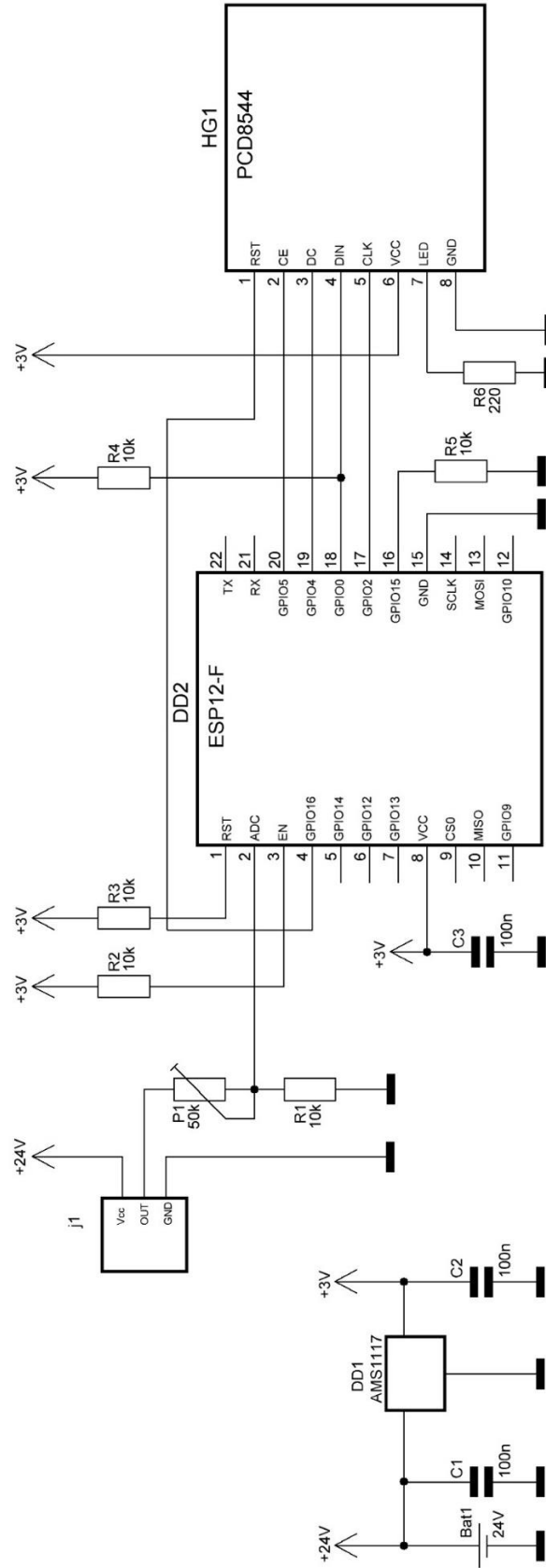


Рисунок 3.7 – Принципова схема цифрового витратоміру

3.5 Опис алгоритму і блок сема пристрою

Розробляємо блок схему для нашого приладу для більш зрозумілішої роботи рис 3.8

Ініціалізуємо роботу з дисплеєм та WiFi-модулем. Підключаємось до заданої мережі за вказаними назвою та паролем.

Виводимо інформацію про назву мережі до якої підключено пристрій та IP-адресу веб сторінки. Створюємо вебсторінку та функцію для оновлення даних.

Раз в 200 мс (5 разів на секунду) проводимо зчитування інформації з контакту до якого підключений витратомір, перетворюємо дані, рахуємо загальну витрату, час роботи.

Виводимо опрацьовані дані на дисплей, вебсторінку та передаємо на заданий сервер.



Рисунок 3.8 – Блок схема, алгоритм роботи витратоміра

3.6 Робота з пристроєм

Робота пристрою показана на рис 3.9-3.11

При включенні на дисплей пристрою одразу ж виводиться інформація про те до якої мережі підключився пристрій та IP-адресу веб сторінки в локальній мережі.

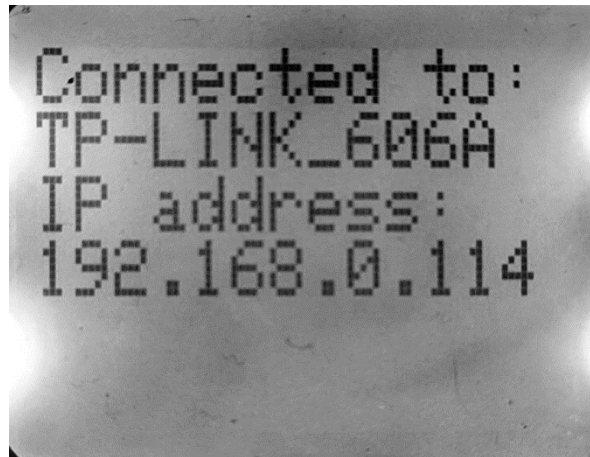


Рисунок 3.9 – Вивід інформації про підключення до мережі

Після двох секунд очікування пристрій переходить до виводу інформації. На дисплей виводиться загальна витрата та витрата води. Отже пристрій працює як лічильник витрати та витратомір.

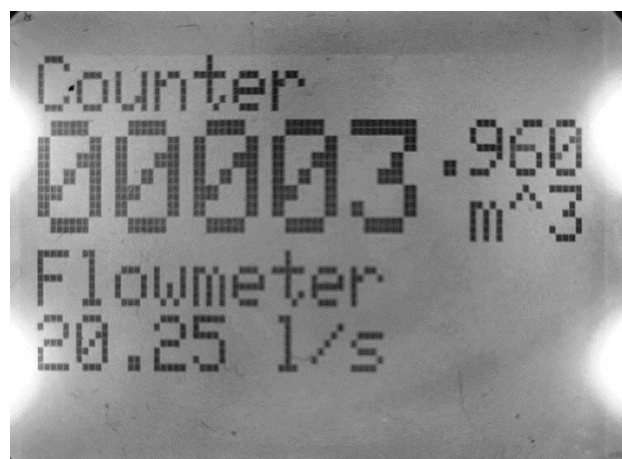


Рисунок 3.10 – Вигляд дисплея під час роботи

Перейшовши на IP-адресу що вказується під час старту пристрою, можна побачити веб сторінку.

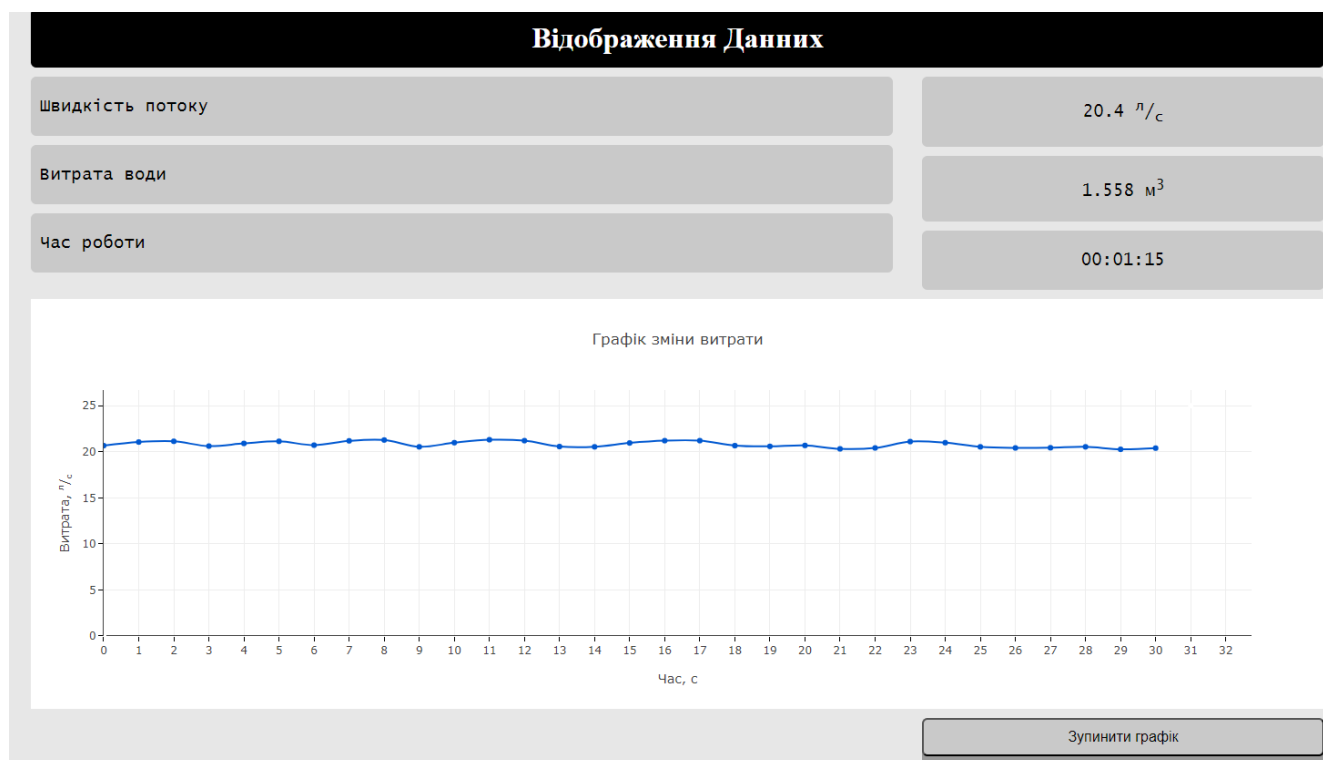


Рисунок 3.11 – Вигляд веб інтерфейсу

На веб сторінку в режимі реального часу виводяться дані про витрату води, загальну витрату та час від початку роботи просторою, а також відрисовується графік зміни витрати.

Висновки до третього розділу

У даному розділі проведено аналіз та розробку апаратно-програмного забезпечення витратоміра. Обрано та описано компоненти для реалізації апаратної частини, здійснено розробку програмного забезпечення для плати ESP8266. Представлено структурну та принципову схеми витратоміра, описано алгоритм роботи та блок-схему пристрою. Надано інформацію про взаємодію з пристроєм та його функціональні можливості. Результатом є повний технічний огляд та реалізація пристрою для ефективного вимірювання витрати води.

У контексті вибору компонентів для апаратної частини, враховано їхню сумісність та оптимальні технічні характеристики для вимірювання витрати води в житлових приміщеннях. Застосування модуля ESP8266 дозволяє забезпечити зручний доступ до даних через Wi-Fi, тоді як використання мікроконтролера Arduino гарантує стабільність роботи та швидке зчитування показників

витрати води. Розглянуті методи та алгоритми контролю пристрою підтримують його надійну та точну роботу в різних умовах експлуатації. Висновки з аналізу метрологічних характеристик дозволяють зробити висновки щодо точності та надійності отриманих вимірювань витрати води.

ВИСНОВКИ

В ході роботи над проектом з розробки витратоміра води для житлових приміщень було виконано ретельний аналіз та розроблено всі аспекти, починаючи від вибору необхідних компонентів для апаратної частини і закінчуючи програмним забезпеченням та метрологічним аналізом.

Вибір модулів ESP8266 та Arduino, а також мікрокомп'ютера Raspberry Pi, був обумовлений їхньою високою функціональністю та можливістю забезпечити ефективну інтеграцію в єдину систему. Застосування технологій Wi-Fi дозволяє не тільки зручний моніторинг витрати води, але й віддалений доступ до отриманих даних. Програмне забезпечення було розроблене з урахуванням точності та стабільності вимірювань, забезпечуючи надійну роботу пристрою в різних умовах. Використання алгоритмів та методів контролю забезпечує надійність та точність вимірювань витрати води.

Важливим аспектом проекту є розробка структурної та принципової схем витратоміра, де враховані особливості та можливості вибраних компонентів. Це дозволяє оптимізувати процеси зчитування та обробки даних, що в свою чергу впливає на ефективність та точність вимірювань. Розробка алгоритму та блок-схеми пристрою спрощує розуміння його роботи та реакції на зміни у витратах води. Акцент на високій швидкості зчитування та обробки даних дозволяє вчасно реагувати на зміни та забезпечує надійну роботу системи.

Аналіз підтверджує високу ефективність та достовірність отриманих результатів. Висновки з аналізу дозволяють визначити пристрій як надійний та точний засіб вимірювання витрати води в побутових умовах. Отже, розробка даного витратоміра води відображає комплексний підхід та високий ступінь технічної зрілості проекту. Результати виявляються в дослідженні, розробці та ефективному функціонуванні пристрою, що може знайти широке застосування в побуті та комерційних умовах для обліку витрати води.

Отримані результати свідчать про високий рівень якості та технічної досконалості витратоміра води, який може бути успішно впроваджений в побутових та промислових умовах. Розроблений пристрій є не лише дослідницьким завданням, але й практичним внеском у вдосконалення систем вимірювання витрати води в реальних умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5 червня 2014 року № 1314-VII [Текст] // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2014, № 30.
2. ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Uncertainty of measurement — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)».
3. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017).
4. ДСТУ-Н РМГ 43-2006. Метрологія. Застосування «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях».
5. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT) [Текст]. – Введ. 2017–01–01. – Київ: УкрНДНЦ, 2016, 50 с.
6. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). [Текст]. – Введ. 2016–07–01. – Київ: УкрНДНЦ, 2016. – 31 с.
7. Zakharov, I.P. and Shtefan, N.V., “Algorithms for reliable and effective estimation of type A uncertainty,” *Measurement Techniques*, 2005, Vol. 48, No. 5, p. 427-437.
8. Zakharov, I.P., Vodotyka, S.V., Klimova, K.A. and Shevchenko, N.S., “Some examples of the evaluation of measurement uncertainty,” *Measurement Techniques*, 2013, Volume: 56, Issue: 6, pp. 591-598.
9. Zakharov, I.P., “Estimating measurement uncertainty on the basis of observed and logical correlation,” *Measurement Techniques*, 2007, Vol. 50, No. 8, p. 808-816.
10. 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. DOI: 10.1007/s11018-018-1431-4.

11. O. Degtiarov, R Alrawashdeh [Development of a method for measurements of the parameters of the external magnetic field of technical means](#) // Technology audit and production reserves 6 (1 (38)), 59-65.