

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного  
менеджменту

Зброй Анастасія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.518.3:620.9

(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для контролю споживання  
паливно-енергетичних ресурсів із безперервним збором даних

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня А.В. Зброй

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Цих Віталій Сергійович, доцент, к.т.н.

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

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

доцент

Цих В.С.

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

**Івано-Франківськ - 2026**

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних  
технологій та енергетичного  
менеджменту

В.С. Цих

“ ” 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Зброй Анастасії Вікторівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів із безперервним збором даних

керівник роботи Цих Віталій Сергійович, доцент, к. т. н.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “5” травня 2026 року №204/7

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи

Дані щодо структури та наповнення бази автоматизованої інформаційної системи «ЕНЕРГОСЕРВІС»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Аналіз систем обліку паливно-енергетичних ресурсів та поточного стану енергетичного моніторингу

Обґрунтування вибору апаратного забезпечення, розроблення схемотехнічних рішень та алгоритму роботи інформаційно-вимірювальної системи

Метрологічна оцінка похибок вимірювальних каналів та розробка організаційно-технічних рекомендацій щодо впровадження системи

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

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                      | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|-----------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                             |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Нормоконтролер</i>       | <i>доцент Яворський А.В.</i>              |                |                  |
| <i>Перевірка на плагіат</i> | <i>доцент Миндюк В.Д.</i>                 |                |                  |
|                             |                                           |                |                  |
|                             |                                           |                |                  |
|                             |                                           |                |                  |
|                             |                                           |                |                  |
|                             |                                           |                |                  |

## 7. Дата видачі завдання

---

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів бакалаврської роботи                                                                                        | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Видача завдань бакалаврської роботи.                                                                                     | 05.05.2026                     |          |
| 2     | Складання плану.                                                                                                         | 08.05.2026                     |          |
| 3     | Підбір джерел, оброблення зібраних матеріалів.                                                                           | 11.05.2026-17.05.2026          |          |
| 4     | Написання вступу та Розділу 1 «Теоретичний аналіз систем та засобів автоматизації обліку паливно-енергетичних ресурсів». | 18.05.2026-24.05.2026          |          |
| 5     | Написання Розділу 2 «Технічне обґрунтування та апаратне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи».                | 25.05.2026-31.05.2026          |          |
| 7     | Написання Розділу 3 «Метрологічна оцінка та організаційно-технічні аспекти впровадження ІВС».                            | 01.06.2026-07.06.2026          |          |
| 8     | Оформлення роботи.                                                                                                       | 08.06.2026-15.06.2026          |          |

Студентка

( підпис )

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Зброй А.В. «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів із безперервним збором даних». Дипломна робота освітнього рівня – бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». – Івано-Франківськ, 2026.**

Бакалаврська робота містить: 70 сторінок, 25 рисунків, 8 таблиць, 29 джерел, 5 додатків.

Об'єктом дослідження є процес обліку та контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів у громадських будівлях з використанням автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем.

Метою роботи є розроблення інформаційно-вимірювальної системи для безперервного та точного контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів, що дозволить усунути вплив людського фактора та забезпечити автоматизований збір даних.

Під час виконання бакалаврської роботи було здійснено аналіз поточного стану системи енергетичного моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області та виявлено проблеми, пов'язані з ручним збором показників. Розроблено інформаційно-вимірювальну систему на базі мікроконтролера ESP32 з неінвазивними датчиками та автономним живленням від відновлюваних джерел енергії.

Результати досліджень дозволяють використовувати розроблену систему в громадах для автоматизації обліку без дорогої заміни існуючих лічильників. Це допоможе підвищити точність обліку енергоспоживання та зменшити витрати місцевих бюджетів на енергоресурси.

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ  
МОНІТОРИНГ, ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ОБЛІКУ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ ЗБІР ДАНИХ.**

## ABSTRACT

**Zbroi , A. V."Development of an Information-Measuring System for Monitoring the Consumption of Fuel and Energy Resources with Continuous Data Collection". Diploma work of education level – bachelor, in the form of a manuscript. Speciality – 152 “Metrology and information and measuring equipment”. – Ivano-Frankivsk, 2026.**

The bachelor's thesis contains: 70 pages, 25 figures, 8 tables, 29 sources, 5 appendices.

The object of the research is the process of accounting and control of fuel and energy resources consumption in public buildings using automated information-measuring systems.

The aim of the work is to develop an information-measuring system for continuous and accurate control of fuel and energy resources consumption, which will eliminate the influence of the human factor and ensure automated data collection.

During the execution of the bachelor's thesis, an analysis of the current state of the energy monitoring system in the public sector of the Ivano-Frankivsk region was conducted, revealing problems associated with the manual collection of readings. An information-measuring system based on the ESP32 microcontroller with non-invasive sensors and an autonomous power supply from renewable energy sources was developed.

The research results allow the developed system to be used in communities for accounting automation without the expensive replacement of existing meters. This will help improve the accuracy of energy consumption accounting and reduce local budget expenditures on energy resources.

INFORMATION-MEASURING SYSTEM, ENERGY MONITORING, FUEL AND ENERGY RESOURCES, ACCOUNTING AUTOMATION, CONTINUOUS DATA COLLECTION.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                     | 9  |
| РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ<br>АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ .....                                      | 12 |
| 1.1 Основні нормативні документи та нормативно-правові акти у сфері<br>енергетичного моніторингу та обліку паливно-енергетичних ресурсів ..... | 12 |
| 1.2 Визначення поняття енергетичного моніторингу, основна мета та завдання<br>обліку і контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів ..... | 14 |
| 1.3. Огляд існуючих досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи.....                                                                        | 15 |
| 1.4 Аналіз автоматизованих систем енергетичного моніторингу для<br>муніципалітету .....                                                        | 16 |
| 1.5 АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» як провідний інструмент енергетичного<br>менеджменту в бюджетній сфері Івано-Франківської області .....                 | 21 |
| 1.5.1 Опис особливостей та функціональних можливостей системи .....                                                                            | 22 |
| 1.5.2 Процес збору та наповнення бази даних .....                                                                                              | 24 |
| 1.6 Постановка задачі на виконання кваліфікаційної роботи.....                                                                                 | 25 |
| РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АПАРТАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br>ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ .....                                          | 27 |
| 2.1 Аналіз наповнення бази даних та сучасний стан роботи існуючої<br>автоматизованої системи .....                                             | 27 |
| 2.1.1 Охоплення та структура об'єктів моніторингу .....                                                                                        | 27 |
| 2.1.2 Паливно-енергетичні ресурси, що підлягають обліку.....                                                                                   | 29 |
| 2.1.3 Кількість та моделі встановлених засобів вимірювальної техніки для обліку<br>пріоритетних ресурсів .....                                 | 30 |
| 2.1.4 Моніторинг повноти даних та дисципліни звітування .....                                                                                  | 36 |
| 2.2 Обґрунтування технічних вимог до проєктування інформаційно-<br>вимірювальної системи.....                                                  | 39 |
| 2.3 Підбір компонентів інформаційно-вимірювальної системи .....                                                                                | 41 |
| 2.3.1 Блок 1. Модулі зчитування даних з приладів обліку.....                                                                                   | 41 |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2 Блок 2. Мікроконтролер та модуль зв'язку .....                                        | 45 |
| 2.3.3 Блок 3. Система автономного живлення .....                                            | 47 |
| 2.3.4 Зведена специфікація апаратних модулів ІВС .....                                      | 50 |
| 2.4 Схемотехнічні рішення та алгоритм роботи розробленої ІВС .....                          | 51 |
| 2.4.1 Структурна схема ІВС .....                                                            | 51 |
| 2.4.2 Алгоритм та принцип роботи ІВС .....                                                  | 53 |
| 2.5 Переваги та доцільність впровадження розробленої ІВС .....                              | 56 |
| 2.6 Висновок до Розділу 2 .....                                                             | 57 |
| РОЗДІЛ 3 МЕТРОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ<br>АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІВС .....    | 59 |
| 3.1 Аналіз метрологічного забезпечення та оцінка похибок вимірювальних<br>каналів ІВС ..... | 59 |
| 3.2 Нормативно-технічний статус та умови експлуатації розробленої системи                   | 62 |
| 3.3 Рекомендації щодо регулювання та впровадження ІВС у територіальних<br>громадах .....    | 63 |
| 3.4 Висновок до розділу 3 .....                                                             | 64 |
| ВИСНОВОК .....                                                                              | 66 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА .....                                                           | 67 |
| ДОДАТКИ .....                                                                               | 71 |
| ДОДАТОК А .....                                                                             | 72 |
| ДОДАТОК Б .....                                                                             | 73 |
| ДОДАТОК В .....                                                                             | 74 |
| ДОДАТОК Г .....                                                                             | 75 |
| ДОДАТОК Ґ .....                                                                             | 76 |

## **ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ СИМВОЛІВ**

1. АІС – Автоматизована інформаційна система
2. АСЕМ – Автоматизована система енергетичного моніторингу
3. ЗВТ – Засіб вимірювальної техніки
4. ІВС – Інформаційно-вимірювальна система
5. НД – Нормативні документи
6. НПА – Нормативно-правові акти
7. ОДА – Обласна державна адміністрація
8. ПЕР – Паливно-енергетичні ресурси
9. СЕМ – Система енергетичного менеджменту
10. BMS (Battery Management System) – система управління акумуляторною батареєю
11. GPRS (General Packet Radio Service) – технологія пакетної передачі даних
12. GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку
13. HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертексту
14. I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна шина обміну даними
15. IoT (Internet of Things) – Інтернет речей
16. JSON (JavaScript Object Notation) – текстовий формат обміну даними
17. Li-Ion (Lithium-ion) – літій-іонний (акумулятор)
18. MPPT (Maximum Power Point Tracking) – відстеження точки максимальної потужності
19. RTC (Real-Time Clock) – годинник реального часу
20. UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – універсальний асинхронний приймач-передавач

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

Одним із ключових завдань, які передбачає Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1], є забезпечення єдності вимірювань та економія всіх видів енергетичних і матеріальних ресурсів через розгортання точного й достовірного комерційного та технологічного обліку. Крім того, у зв'язку з дефіцитом потужності в українській енергосистемі, все більш критичним стає питання раціонального та оптимізованого споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) будівлями, зокрема у секторі муніципалітету. Для реалізації цих стратегічних завдань необхідно впроваджувати якісний моніторинг, який здійснюватиметься з максимальною точністю вимірювань, регулярністю оновлення даних та мінімальним впливом людського фактора.

Ефективним технічним рішенням для досягнення цієї мети є використання автоматизованих систем обліку енергоресурсів, зокрема із залученням інформаційно-вимірювальних систем (ИВС), сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та технологій Інтернету речей (IoT), що дозволяють перейти до високочастотного збору даних у режимі реального часу. В той же час, питання практичного розгортання та реалізації таких систем на рівні територіальних громад часто стримується дефіцитом фінансування муніципального сектору, жорсткими бюджетними рамками, а також проблемою технічної несумісності наявних застарілих приладів обліку.

Саме тому виникає потреба в розробленні автономної, економічно доступної та гнучкої інформаційно-вимірювальної системи, яка дозволить безперервно накопичувати дані про споживання в громадських будівлях та забезпечити комплексний контроль за використанням паливно-енергетичних ресурсів.

### **Мета та завдання дослідження**

Мета роботи полягає у розробленні інформаційно-вимірювальної системи для контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів із безперервним збором даних.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- Аналіз структури, принципу роботи та наповнення існуючої системи енергетичного менеджменту та енергетичного моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області;
- Визначення пріоритетних параметрів споживання паливно-енергетичних ресурсів, для яких необхідно здійснювати облік, та підбір компонентів інформаційно-вимірювальної системи для збору даних;
- Аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення безперервної роботи системи;
- Розроблення схеми роботи інформаційно-вимірювальної системи контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів;
- Оцінка точності збору даних з врахуванням використаних засобів вимірювальної техніки;
- Розроблення методичних рекомендацій щодо якісного збору даних та вибору компонентів інформаційно-вимірювальної системи для об'єктів муніципального сектору.

### **Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є процес обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів у громадських будівлях з використанням спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи.

### **Предмет дослідження**

Предметом дослідження є методи та засоби забезпечення безперервного збору даних про споживання ПЕР, алгоритми підбору компонентів інформаційно-вимірювальної системи та умови забезпечення її автономної роботи й точності вимірювань.

### **Методи дослідження**

Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувались такі методи дослідження:

- Теоретичний аналіз літератури та функціоналу чинних систем енергетичного моніторингу

- Методи системного аналізу та порівняльного оцінювання
- Структурно-функціональне та схемотехнічне моделювання
- Метрологічний та математичний аналіз
- Методи аналізу та систематизації

### **Практичне значення отриманих результатів**

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні інформаційно-вимірювальної системи з безперервним збором даних про споживання паливно-енергетичних ресурсів в громадських будівлях, що дозволяє мінімізувати ризик виникнення похибок під час внесення даних та забезпечити якісний і точний облік споживання.

Впровадження такої системи надає можливість в реальному часі аналізувати деталізовані профілі енергоспоживання громадських будівель, а також прогнозувати використання ПЕР. Це допоможе громадам робити обґрунтований вибір пріоритетних заходів з енергоефективності та енергозбереження, в тому числі з використанням відновлюваних джерел енергії. Реалізація таких заходів дозволяє забезпечити економію та ефективне використання енергетичних ресурсів, що є однією із пріоритетних цілей Енергетичної стратегії України до 2050 року [2] та завданням метрологічної системи України згідно з Законом «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1].

## **РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ**

Сучасний підхід до контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів у муніципальному секторі базується на двох принципово різних методологічних рівнях, а саме використанні класичних засобів вимірювальної техніки та впровадженні автоматизованих систем обліку.

Облік за допомогою звичайних ЗВТ базується на використанні стандартних фізичних приладів обліку, які потребують ручного зняття показників. Головною особливістю такого підходу є дискретність і низька частота збору даних (зазвичай двічі на тиждень або раз на місяць). Цей часовий розрив між моментом фактичного споживання ресурсів і моментом аналізу даних ускладнює оперативне реагування на аварії, а ручне внесення показників часто призводить до помилок через людський фактор.

Автоматизовані системи обліку та моніторингу передбачають інтеграцію приладів обліку, оснащених телеметричними модулями або смарт-датчиками, у єдину інформаційно-вимірювальну систему. Головна особливість полягає у забезпеченні безперервного високочастотного збору даних без залучення людського ресурсу. Такі системи, окрім фіксації фактичного споживання, мають функціональні можливості для формування деталізованих цифрових профілів об'єктів. Це дозволяє автоматично виявляти аномалії в режимі реального часу, здійснювати нормалізацію споживання з прив'язкою до погодних умов та вести автоматизований розрахунок фінансових витрат і кадастру викидів парникових газів.

### **1.1 Основні нормативні документи та нормативно-правові акти у сфері енергетичного моніторингу та обліку паливно-енергетичних ресурсів**

Ефективне функціонування муніципальних систем енергетичного менеджменту та розроблення сучасних інформаційно-вимірювальних

комплексів контролю паливно-енергетичних ресурсів базуються на чітко визначеній законодавчій та нормативно-технічній базі України. Формування архітектури таких систем, алгоритмів їх роботи, а також встановлення вимог до точності й періодичності збору даних регулюється низкою нормативно-правових актів (НПА) та нормативних документів (НД), які визначають правові, економічні та метрологічні рамки у сфері енергоефективності.

Основними базовими документами, що регламентують цей напрям і детально розглядаються та використовуються у подальших розділах кваліфікаційної роботи, є:

- Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-IX [3]. Визначає ключові поняття енергоменеджменту та енергомоніторингу, встановлює засади державної політики щодо раціонального використання енергоносіїв;
- Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII [1]. Регламентує вимоги до засобів вимірювальної техніки та комерційного обліку ресурсів, встановлюючи пріоритет економії енергії та захисту від недостовірних результатів вимірювань;
- Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII [4]. Впроваджує обов'язковість моніторингу енергетичних характеристик громадських споруд та правові основи для їх подальшої сертифікації;
- Постанова Кабінету Міністрів України від 23.12.2021 № 1460 «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» [5]. Zobov'язує органи державної виконавчої влади та місцевого самоврядування розгорнути системи енергоменеджменту й визначає чіткі вимоги до збору і аналізу даних;
- Розпорядження Івано-Франківської обласної державної адміністрації від 26.06.2024 № 292 «Про впровадження обласної системи енергетичного менеджменту та енергетичного моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області» [6]. Ключовий регіональний документ, який

безпосередньо впроваджує та регламентує функціонування системи енергетичного менеджменту для муніципальних об'єктів Івано-Франківщини;

Зазначений перелік НПА та НД складає єдиний правовий та технічний фундамент дослідження в рамках кваліфікаційної роботи. Посилання на ці джерела будуть детально залучені в наступних підрозділах теоретичного та практичного спрямування для обґрунтування структури проєктованої інформаційно-вимірювальної системи.

## **1.2 Визначення поняття енергетичного моніторингу, основна мета та завдання обліку і контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів**

Згідно із законом України «Про енергетичну ефективність» [3], енергетичний менеджмент визначається як комплексна система управління організацією, яка встановлює її енергетичну політику, проміжні та стратегічні цілі, завдання, плани дій, а також забезпечує їх безпосереднє досягнення задля планомірного підвищення рівня енергетичної ефективності.

Невід'ємною технологічною складовою та першочерговим інструментом функціонування дієвої системи енергетичного менеджменту є енергетичний моніторинг. У Законі України «Про енергетичну ефективність» енергетичний моніторинг визначено як регламентований процес збирання даних з вузлів комерційного, розподільного, технологічного обліку, а також інших засобів вимірювальної техніки. Цей процес обов'язково включає етапи системного накопичення, аналітичної обробки та фінального відображення отриманих параметрів у зручному для користувача форматі [3].

Глобальна мета контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у бюджетній та муніципальній сферах полягає у скороченні та ефективному використанні усіх видів енергії. Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», до сфери законодавчо регульованої метрології належить, зокрема, контроль стану навколишнього

природного середовища (стаття 3, пункт 1.3), а також одним з пріоритетних завдань метрологічної системи України визначена економія всіх видів енергетичних і матеріальних ресурсів (стаття 4, пункт 1.4) [1].

Реалізація цього завдання можлива завдяки забезпеченню точного, єдиного та достовірного обліку, що є фундаментом для захисту економічних інтересів громад і держави від фінансових втрат, спричинених недостовірними результатами вимірювань.

Поряд з цим, головною законодавчо встановленою метою енергетичного моніторингу є проведення всебічного аналізу ефективності споживання і виробництва енергії, енергоносіїв та комунальних послуг суб'єктами господарювання та об'єктами бюджетної сфери [3].

Практична реалізація зазначених процедур у секторі громадських будівель тісно пов'язана із вимогами Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [4]. Цей законодавчий акт впроваджує обов'язковість моніторингу енергетичних характеристик об'єктів для встановлення їх відповідності мінімальним вимогам з енергоефективності та проведення подальшої сертифікації. Результати безперервного автоматизованого або ручного енергомоніторингу є правовою та технічною основою для формування енергетичного сертифіката будівлі, оцінки класу її енергоефективності та формування економічно обґрунтованого переліку енергозберігаючих заходів [4].

### **1.3. Огляд існуючих досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи**

Аналіз сучасного стану наукових досліджень у сфері енергетичного моніторингу та автоматизації контролю енергоспоживання свідчить про значний інтерес наукової спільноти до інтеграції технологій IoT та інтелектуальних систем аналізу даних.

Глобальні дослідження сфокусовані на переході від періодичного ручного збору показників до безперервного моніторингу в режимі реального часу, що

дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та підвищити точність прогнозування споживання.

Значна частина публікацій присвячена використанню IoT як ключового інструменту для проєктування «розумних будівель». Зокрема, у систематичних оглядах підкреслюється, що впровадження сенсорних мереж дозволяє не лише накопичувати дані, а й виявляти приховані втрати енергії та бар'єри на шляху до енергоефективності [7]. Окремим перспективним напрямом є забезпечення автономності таких систем через використання технологій збору енергії з навколишнього середовища, що особливо актуально для віддалених або автономних об'єктів відновлюваної енергетики [8].

В українському науковому просторі увага дослідників зосереджена на адаптації європейських стандартів енергоменеджменту до специфіки вітчизняного житлового та бюджетного секторів. Розробки науковців спрямовані на створення алгоритмів оцінки енергоефективності будівель, що базуються на методах математичного моделювання та аналізу питомого споживання ресурсів [9, 10]. Питання технічної реалізації підсистем моніторингу в закладах вищої освіти та муніципальних установах розглядаються як фундамент для побудови загальнонаціональної системи контролю ПЕР [11].

Попри значну кількість теоретичних напрацювань, існуючі дослідження часто мають узагальнений характер або стосуються суто комерційних об'єктів. На відміну від них, дана кваліфікаційна робота має чітко виражену практичну спрямованість на розв'язання конкретних проблем муніципального сектору Івано-Франківської області.

#### **1.4 Аналіз автоматизованих систем енергетичного моніторингу для муніципалітету**

Постанова Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2021 року «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» зобов'язує усі органи державної влади, зокрема органи державної виконавчої влади, забезпечити

впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕМ) для обліку, контролю та економії споживання енергетичних ресурсів [5].

Дана постанова встановлює поняття системи енергетичного менеджменту, як «систему управління, що визначає енергетичну політику, цілі функціонування системи енергетичного менеджменту, проміжні цілі, спрямовані на досягнення цілей функціонування системи енергетичного менеджменту, енергетичні завдання та управлінські рішення, спрямовані на їх досягнення, передбачає інформаційні, організаційні, кадрові, фінансові та технічні заходи щодо планування і управління ефективністю споживання енергії (енергоносіїв) та комунальних послуг» [5].

Головною метою впровадження таких систем є формування енергетичної політики, досягнення цілей сталого енергетичного розвитку та сприяння досягненню національних цілей у сфері енергоефективності. В той же час основними завданнями створених СЕМ є ефективне споживання енергії, раціональне використання коштів на оплату енергоносіїв, підвищення енергетичної ефективності та зменшення викидів парникових газів та ін. [5].

Згідно з даними Держенергоефективності, станом на 31 січня 2026 року системи енергоменеджменту впроваджено у 286 територіальних громадах, що становить 19,5% від їх загальної кількості (1469). Відповідну інформацію надали 19 обласних військових адміністрацій [12].

Контроль споживання паливно-енергетичних ресурсів в рамках СЕМ реалізується автоматизованими системами енергетичного моніторингу (АСЕМ), що завдяки програмним і технічним засобам забезпечують автоматичне зчитування, збирання, обробку та візуалізацію даних про споживання й виробництво енергоресурсів та комунальних послуг.

На сучасному етапі розвитку цифрової інфраструктури України існує декілька основних програмних продуктів, які використовуються органами державної влади та місцевого самоврядування для автоматизованого моніторингу споживання енергетичних ресурсів.

В 2020 році, ще до затвердження Постанови КМУ про обов'язкове впровадження СЕМ на державному рівні, Асоціація «Енергоефективні міста України» сформувала експертний аналіз про існуючі готові програмні продукти – автоматизовані інформаційні системи (АІС) – від низки розробників, якими можуть користуватися органи державної влади для автоматизованого енергетичного моніторингу. Такі системи здійснюють моніторинг та аналіз даних, забезпечуючи оперативне реагування на відхилення від норми та автоматичне генерування звітів. Деякі з них мають технічну можливість автоматизованого збору показників безпосередньо з приладів обліку [13].

Нижче наведена інформація з експертного аналізу Асоціації «Енергоефективні міста України» щодо основних особливостей, переваг та недоліків обраних АІС [13].

- АІС «АСЕМ»

Програмний продукт «АСЕМ» розроблений компанією ТОВ «ЕСКО Україна» та орієнтований на застосування в бюджетному та житловому секторах. Система підтримує автоматичне завантаження метеорологічних даних для нормалізації звітів та має функціонал для розрахунку питомого споживання енергоресурсів на одиницю площі, об'єму або на одну особу. Особливістю сервісу є готовність розробника організовувати дистанційну передачу даних за допомогою власної апаратної частини для більшості наявних вузлів обліку.

Важливою перевагою системи є надання безкоштовних тренінгів для користувачів та наявність детальних відеоінструкцій. Користувачі високо оцінюють зручність інтерфейсу (4,4 бала за 5-бальною шкалою), проте негативно відзначають відсутність функцій аналізу фінансових показників та розрахунку кадастру викидів.

- АІС «UMUNI»

АІС «UMUNI» від розробника ТОВ «УМУНІ» позиціонується як універсальне рішення для бюджетного та комерційного секторів. Функціонал системи включає гнучкий механізм розподілу ролей користувачів та використання системи тегів, що дозволяє ефективно групувати будівлі в межах

територіальних громад. Програма забезпечує автоматичний імпорт даних про будівлі та користувачів з інших систем або файлів MS Excel.

До переваг продукту належать можливість розрахунку базового споживання відповідно до стандартів ISO 50015 та наявність системи сповіщень про перевищення лімітів через комунікаційні канали. Головним недоліком є відсутність повноцінного мобільного додатка, тому внесення показників можливе лише через мобільну версію сайту. Крім того, деякі користувачі вказують на проблеми з автоматичною передачею даних та відсутність вбудованого захисту від некоректного введення показників у ручному режимі.

- AIC «EManagement24»

Система «EManagement24», створена ПК «EManagement24», спеціалізується на моніторингу об'єктів бюджетної сфери. Програма вирізняється можливістю генерації енергетичного рейтингу будівель згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016 та наявністю Telegram-бота для зручного внесення щоденних показів лічильників. Користувачі надали найвищу оцінку технічній підтримці цього розробника, яка працює в режимі 24/7.

Серед переваг виділяють високий рівень надійності та супроводжуваності продукту (по 4,5 бала з 5-ти за оцінкою користувачів). Однак суттєвим недоліком є відсутність можливості аналізу фінансових показників, завантаження рахунків та платіжних документів. Також у системі відсутні канали сповіщення через SMS чи месенджери щодо відсутності внесення показів.

- AIC «Energyplan»

AIC «Енергоплан» розроблена ПП «ІТ-Менеджмент» і базується на ієрархічній структурі об'єктів (організація – установа – будівля). Програма використовує лінійну регресію для нормалізації споживання з урахуванням зовнішньої та внутрішньої температур, що забезпечує високу точність аналітики. Система підтримує як онлайн-версію, так і інсталяційний пакет, що гарантує повноту функціоналу навіть за відсутності стабільного інтернет-з'єднання.

Перевагою системи є найвищий серед усіх аналогів показник зручності та надійності (4,8 бала з 5). До недоліків експерти відносять платне навчання

користувачів та відсутність мобільного додатка. Також у базовому функціоналі відсутній блок розрахунку кадастру викидів парникових газів та обмежені можливості для формування детального опису інженерних мереж у межах енергоаудиту.

- АІС «ICE»

Система енергетичного моніторингу «ICE» від ТОВ «ФІАТУ» спрямована на зниження споживання ресурсів у бюджетній сфері через паспортизацію будівель та візуалізацію ефективності споживання. Система забезпечує ручний, напівавтоматизований та автоматизований збір даних.

Головною перевагою системи є якісна технічна підтримка та наявність безкоштовного навчання. Проте користувачі вказують на недоліки, а саме незручний формат звітів для друку, тривалий процес відновлення пароля та неможливість перегляду щоденного споживання за довільний період (лише за календарний місяць). Також відсутня можливість розрахунку базового кадастру викидів CO<sub>2</sub>.

- АІС «Енергосервіс»

АІС «Енергосервіс: облік, контроль, економія» від ТОВ «БІС-СОФТ» є найбільш універсальним інструментом, що охоплює будівлі бюджетного, житлового та комерційного секторів. Система має повноцінну адаптивну версію для мобільних пристроїв та пропонує три різні пакети послуг (базовий, розширений, індивідуальний), що дозволяє гнучко підійти до бюджетування. Програма дозволяє розраховувати ліміти на рік, місяць і день для всіх видів енергії.

Перевагами продукту є можливість аналізу кількості викидів CO<sub>2</sub>, наявність розширеного блоку енергетичного аудиту та автоматичне резервування бази даних. До недоліків користувачі відносять складність інтерфейсу та незручну систему блокування доступу після 30 днів відсутності активності, що створює труднощі для об'єктів, які не потребують щоденного моніторингу.

### **1.5 АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» як провідний інструмент енергетичного менеджменту в бюджетній сфері Івано-Франківської області**

Розпорядженням Івано-Франківської ОДА від 26 червня 2024 р. №292 було запроваджено обласну систему енергетичного менеджменту та енергетичного моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області [6]. Відповідальними особами була обрана інформаційна система моніторингу споживання паливно-енергетичних ресурсів на об'єктах бюджетної сфери Івано-Франківської області, а саме АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» від розробника ТОВ «БІС-СОФТ».

Концептуально ця система базується на здійсненні якісного та точного обліку паливно-енергетичних ресурсів, що дозволяє ефективно управляти процесами енергоспоживання, мінімізувати фінансові витрати на енергоносії та формувати надійний аналітичний фундамент для реалізації енергоефективних проєктів.

Однак наразі для значної частини об'єктів в системі відсутній автоматизований збір даних через несумісні прилади обліку або неналежно налаштовані канали передачі показників. Це спричиняє викривлення картини споживання через похибки ручного введення та нерегулярність оновлення даних, що ускладнює проведення якісного аналізу та прогнозування.

В рамках проходження передкваліфікаційної практики за освітньою програмою «Інженерія відновлюваної енергетики», на базі практики, а саме Департаменту економічного розвитку, промисловості та інфраструктури Івано-Франківської ОДА, був отриманий доступ до регіонального сегмента АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» та відповідної бази даних енергетичних характеристик об'єктів області. Це дало можливість детально проаналізувати функціонал інструменту та оцінити методику муніципального енергоменеджменту на основі зібраних даних про споживання паливно-енергетичних ресурсів зареєстрованими об'єктами бюджетної сфери Івано-Франківської області.

### 1.5.1 Опис особливостей та функціональних можливостей системи

AIC «ЕНЕРГОСЕРВІС» являє собою комплексне SaaS-рішення (Software as a Service), розроблене для автоматизації повного циклу енергетичного менеджменту – від збору первинних даних з приладів обліку до формування аналітичної звітності та планування енергоефективних заходів. Хмарна архітектура системи дозволяє масштабувати її на рівні всієї області без необхідності розгортання локальних серверів у кожній установі, забезпечуючи доступ через захищений веб-інтерфейс [14].

Архітектура системи побудована за модульним принципом, що дозволяє комплексно вирішувати завдання енергоменеджменту. Відповідно до головного меню користувача (Рисунок 1.1 та Рисунок 1.2), функціонал системи розподілено на наступні ключові блоки:

- інформаційна панель: центральний елемент інтерфейсу, що відображає оперативну зведену інформацію про стан системи. Панель налаштована на принцип «управління за виключеннями», тобто користувач бачить насамперед проблемні зони, що потребують уваги.
- організаційно-виконавча структура: модуль адміністрування, що дозволяє вибудовувати ієрархію підпорядкування (департамент → район/громада → установа → будівля) та розмежовувати права доступу користувачів.
- облік об'єктів (Об'єкти та установи, Мапа об'єктів): інформаційна складова системи, яка дозволяє не лише вести паспортний облік будівель, але й візуалізувати їх розташування на карті для логістичного планування.
- аналітичний блок (Аналіз споживання, Загальні звіти): інструментарій для візуалізації даних у вигляді графіків та таблиць, формування звітності за обрані періоди.
- управління енергоефективністю (Заходи з енергозбереження): модуль для планування та моніторингу ефективності впроваджених енергоощадних заходів.

- фінансовий блок (Тарифи): забезпечує коректний перерахунок натуральних показників (кВт, м<sup>3</sup>, Гкал) у грошовий еквівалент з урахуванням історії змін тарифів.

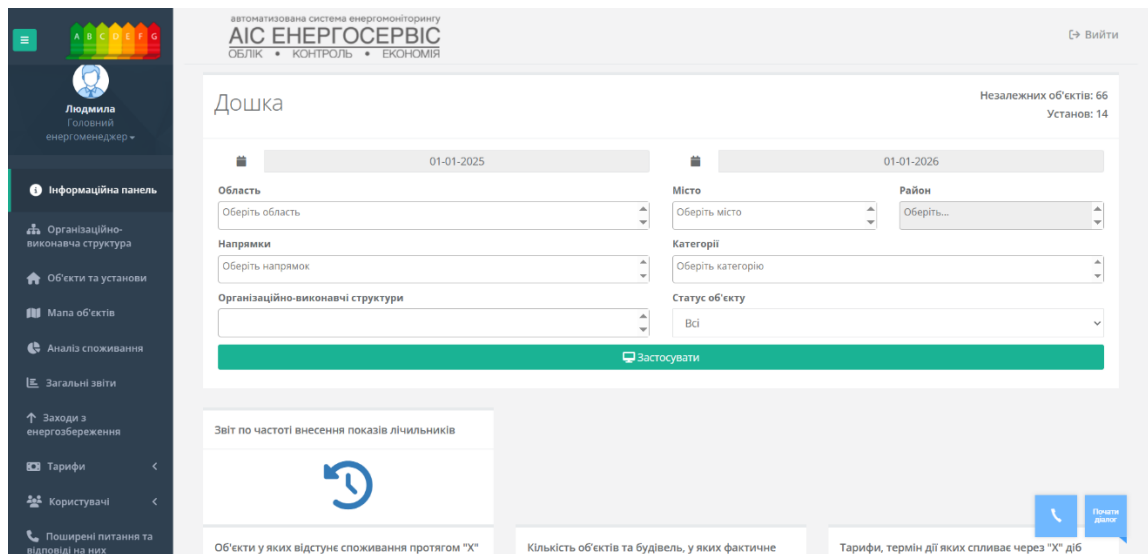


Рисунок 1.1 – Загальний інтерфейс АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» [14]

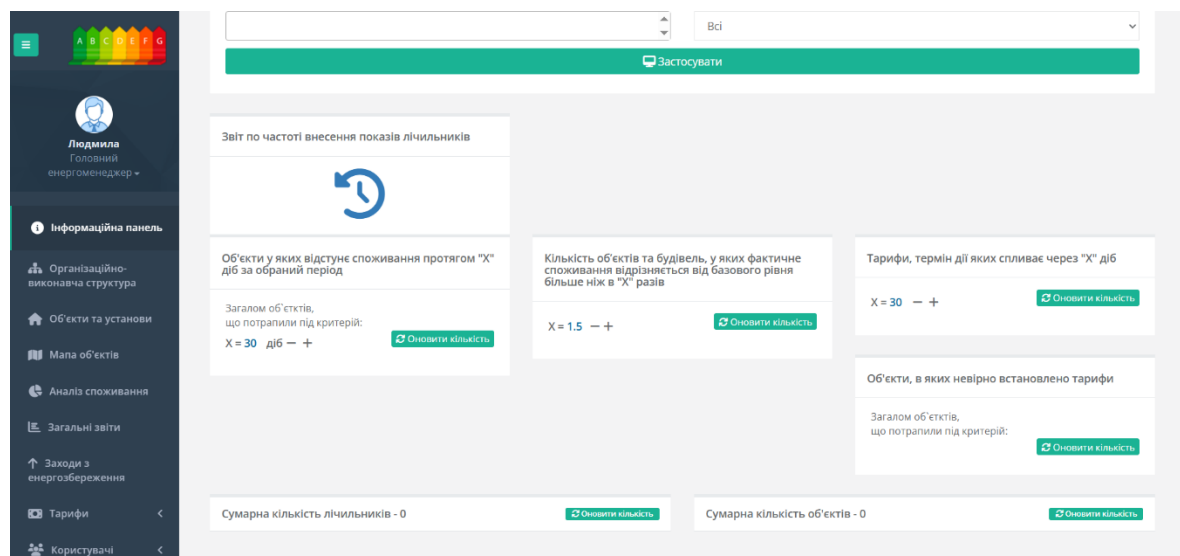


Рисунок 1.2 – Інтерфейс моніторингу АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» [14]

Унікальною особливістю системи є алгоритми автоматичного виявлення аномалій та запобігання втратам. Як видно з інтерфейсу моніторингу (Рисунок 1.2), система в фоновому режимі аналізує вхідні дані за кількома критичними параметрами:

1. Віджет «Об'єкти, у яких відсутнє споживання» автоматично фіксує точки обліку, де дані не змінюються протягом заданого періоду (налаштування  $X = 30$  діб), що може свідчити про несправність окремих вузлів обліку або несвоєчасне внесення показників відповідальним персоналом.
2. Алгоритм порівнює поточне споживання з базовим рівнем (історичними даними або нормативами). Якщо різниця перевищує встановлений коефіцієнт (наприклад,  $X = 1,5$  рази), система сигналізує про можливий витік, аварію або несанкціоноване підключення.
3. Система веде трекінг термінів дії договорів на постачання енергоносіїв. Віджет «Тарифи, термін дії яких спливає» завчасно попереджає про необхідність пролонгації угод, що запобігає переходу на штрафні тарифи або відключенню.

### 1.5.2 Процес збору та наповнення бази даних

Наповнення бази даних АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» – це регламентований процес, який трансформує розосереджені дані споживання у структуровану інформацію для прийняття енергоефективних рішень. Він реалізується через три послідовні етапи.

Етап 1: Паспортизація та створення цифрових двійників будівель

Первинне наповнення передбачає створення профілю для кожного енергоспоживаючого об'єкта. В систему вносяться детальні технічні характеристики (адреса, загальна та опалювальна площа, об'єм будівлі, тип огорожувальних конструкцій, режим роботи закладу). Ці параметри є критично важливими, оскільки саме на їх основі система розраховує питомі показники енергоефективності ( $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ) та формує базову лінію споживання.

Етап 2: Конфігурація вузлів обліку та тарифної політики

На цьому етапі формується зв'язок «будівля – лічильник – постачальник». Кожен прилад обліку реєструється з унікальними параметрами (тип ресурсу, розрядність, коефіцієнт трансформації). Паралельно у модулі «Тарифи»

налаштовуються актуальні цінові пропозиції та ліміти споживання. Функціонал системи дозволяє автоматично відстежувати об'єкти з помилково встановленими тарифами, що мінімізує фінансові ризики при розрахунках бюджетів.

### Етап 3: Оперативний збір даних

Внесення показників здійснюється двома шляхами:

- Автоматизований збір: для об'єктів, обладнаних смарт-лічильниками з модемами, дані передаються безпосередньо на сервер за розкладом.
- Ручне внесення: відповідальні особи на місцях вносять покази через особисті кабінети. Для забезпечення якості даних в системі реалізовано жорсткий контроль дисципліни, віджет «Звіт по частоті внесення показів лічильників» візуалізує активність користувачів.

При внесенні даних система виконує миттєву валідацію, а саме введені значення перевіряються на логічну відповідність (відсутність від'ємного споживання, відповідність розрядності лічильника). Тільки валідні дані потрапляють до основного сховища і стають доступними для аналітичних звітів.

## 1.6 Постановка задачі на виконання кваліфікаційної роботи

Основним завданням роботи є розроблення інформаційно-вимірювальної системи для безперервного контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів у будівлях муніципального сектору. Впровадження такої системи сприятиме автоматизації процесу збору вимірювальної інформації. Це дозволить усунути похибки, пов'язані з людським фактором під час ручного введення показників, забезпечить оперативне виявлення аномалій енергоспоживання, а також підвищить надійність і точність прогнозування.

Для досягнення поставленого завдання необхідно провести наступне:

- Проаналізувати наповнення бази даних чинної системи енергетичного менеджменту та моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області;

- Визначити пріоритетні параметри споживання паливно-енергетичних ресурсів, які підлягають обов'язковому обліку, та здійснити обґрунтований підбір апаратних компонентів, датчиків і мікроконтролерного модуля інформаційно-вимірювальної системи;
- Розробити структурну і функціональну схеми ІВС контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів та алгоритми її взаємодії з інформаційною платформою;
- Провести оцінку точності збору даних та розрахувати сумарну похибку вимірювального каналу з урахуванням метрологічних характеристик обраних засобів вимірювальної техніки;
- Розробити комплексні методичні рекомендації щодо впровадження якісного високочастотного збору даних та оптимізації вибору компонентів вимірювальних систем для об'єктів муніципального сектору.

Ці завдання спрямовані на створення автономного, точного та економічно обґрунтованого інструменту для моніторингу стану енергоспоживання громадських будівель. Реалізація запропонованих рішень дозволить забезпечити повну відповідність процесу обліку вимогам чинного законодавства України, мінімізувати фінансові втрати територіальних громад, а також створити надійну інформаційну базу для планування довгострокових енергоефективних проєктів в Івано-Франківській області.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АПАРТАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1 Аналіз наповнення бази даних та сучасний стан роботи існуючої автоматизованої системи

За допомогою інструментарію АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» було здійснено вибірку та аналіз статистичних даних щодо об'єктів бюджетної сфери протягом 2025 року. Отримані результати дозволяють оцінити масштаб впровадження системи та поточну ситуацію із обліком споживання енергоресурсів.

#### 2.1.1 Охоплення та структура об'єктів моніторингу

На першому етапі було проаналізовано ступінь наповнення бази даних системи. Згідно зі сформованим звітом «Кількість об'єктів в громадах», моніторинг охоплює значну частину адміністративно-територіальних одиниць області. Дані щодо кількості об'єктів, зареєстрованих в системі наведений в таблиці 2.1 та на рисунках 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Кількість об'єктів органів влади та самоврядування в системі енергетичного моніторингу

| Назва ОВС ЕМ                                                                          | Кількість |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| АРЗ СП ГУ ДСНС України у Івано-Франківській області                                   | 1         |
| ВГРЧ ГУ ДСНС України у Івано-Франківській області                                     | 1         |
| Навчально методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності ДСНС України | 1         |
| Снятинська міська територіальна громада                                               | 1         |
| Брошнів-Осадська СР                                                                   | 2         |
| Івано-Франківський обласний центр з гідрометеорології ДСНС України                    | 3         |
| Рожнівська ОТГ                                                                        | 5         |
| Бурштинська МТГ                                                                       | 8         |
| 1 ДПРЗ ГУ ДСНС України у Івано-Франківській області                                   | 12        |
| Не діючі об'єкти (Не видаляти)                                                        | 12        |

Продовження таблиці 2.1

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 4 ДПРЗ ГУ ДСНС України у Івано-Франківській області     | 14  |
| Державна служба зайнятості у Івано-Франківській області | 18  |
| Коломийська МР (Установи районного підпорядкування)     | 24  |
| Галицька міська рада Івано-Франківська область          | 75  |
| Івано-Франківська ОДА                                   | 81  |
| Долинська міська рада Івано-Франківська область         | 97  |
| Калуська МР                                             | 98  |
| Рогатинська міська територіальна громада                | 104 |
| Городенківська міська рада Івано-Франківська область    | 126 |



Рисунок 2.1 – Кількість об'єктів органів влади та самоврядування в системі енергетичного моніторингу

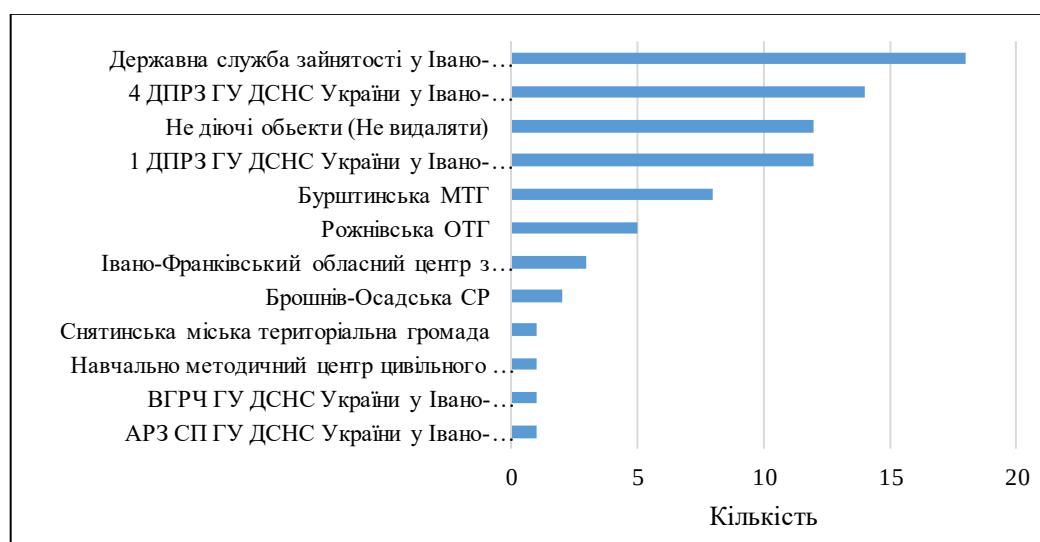


Рисунок 2.2 – Кількість об'єктів органів влади та самоврядування в системі енергетичного моніторингу

Дані з таблиці 2.1 і рисунків 2.1 та 2.2 свідчать про те, що система наразі працює переважно як інструмент контролю для установ обласного підпорядкування, адміністративні центри яких зосереджені в Івано-Франківську. В той же час, рівень залученості територіальних громад області залишається низьким, із 62 громад області до системи активно підключено лише близько десятка. Більшість об'єктів соціальної інфраструктури в селах та невеликих містах залишаються поза межами цифрового моніторингу. Це призводить до формування цифрового дисбалансу, оскільки наявний потенціал систем енергоменеджменту реалізується переважно в обласному центрі, тоді як на навколишні громади залишаються не репрезентовані і в них домінують застарілі підходи до збору даних.

### 2.1.2 Паливно-енергетичні ресурси, що підлягають обліку

Звіт «Параметри паливно-енергетичних ресурсів» відображає структуру енергетичного балансу установ, що заведені в систему. Аналіз переліку параметрів дозволяє визначити, на яких саме ресурсах зосереджена увага енергоменеджерів. Дані свідчать про те, що система АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» використовується як мультиресурсна платформа, що здатна обліковувати всі види комунальних послуг та палива. Перелік паливно-енергетичних ресурсів, що обліковуються на об'єктах системи енергомоніторингу наведений в таблиці 2.2 та на рисунку 2.3.

Таблиця 2.2 – Перелік паливно-енергетичних ресурсів, що обліковуються на об'єктах системи енергомоніторингу

| Ресурс                             | Кількість об'єктів |
|------------------------------------|--------------------|
| Вугілля (кг)                       | 1                  |
| Гаряча вода (м3)                   | 4                  |
| Вугілля антрацит (т)               | 5                  |
| Паливні брикети (т)                | 5                  |
| Централізоване водовідведення (м3) | 5                  |

Продовження таблиці 2.2

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Дрова (м3)                   | 6  |
| Електрична реактивна енергія | 7  |
| Теплова енергія              | 39 |
| Природний газ                | 42 |
| Холодна вода                 | 72 |
| Електрична енергія           | 96 |

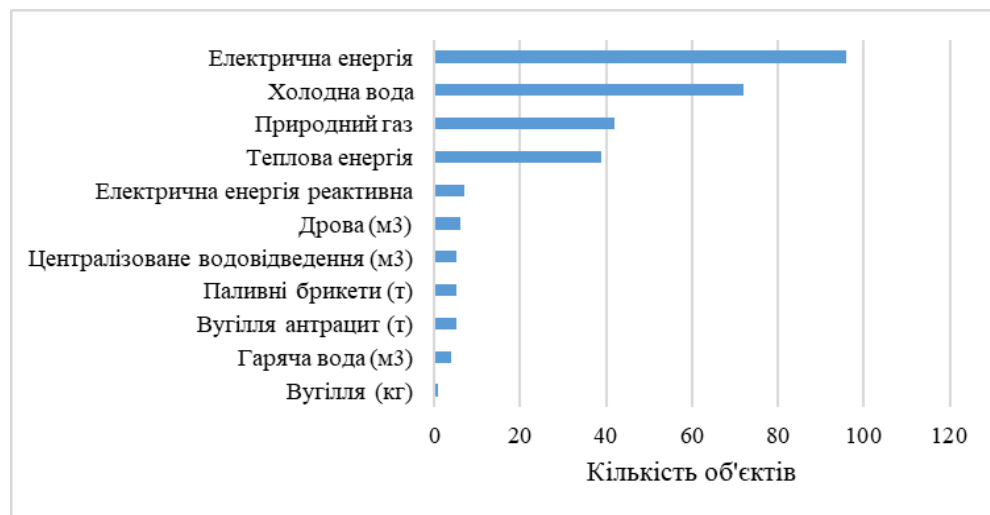


Рисунок 2.3 – Перелік паливно-енергетичних ресурсів, що обліковуються на об'єктах системи енергомоніторингу

Найбільше охоплення моніторингом зафіксовано за показником електричної енергії, важливе місце також займає контроль водопостачання. У секторі опалення спостерігається рівний розподіл між споживанням природного газу та теплової енергії. Крім того, система підтримує облік твердого палива (дров, вугілля та брикетів).

### **2.1.3 Кількість та моделі встановлених засобів вимірювальної техніки для обліку пріоритетних ресурсів**

Якість та достовірність даних в системі АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» безпосередньо залежить від метрологічних характеристик лічильників, встановлених на об'єктах. Загальна картина технічного оснащення є

неоднорідною, поряд із сучасними інтелектуальними приладами в базі даних фігурує значна кількість «тимчасових моделей» та застарілих механічних лічильників. Нижче наведено детальний аналіз встановлених приладів обліку за видами ресурсів.

- Електропостачання: 243 лічильники

Це найбільш оснащений сегмент, що складає майже половину (45%) всього переліку зареєстрованих приладів. Попри велику кількість точок обліку, значна частина з них у системі позначена як «Тимчасова модель» (81 од.) або «Віртуальний лічильник» (17 од.), що свідчить про незавершений процес паспортизації. Серед ідентифікованих приладів домінують електронні багатотарифні лічильники. Повний перелік зареєстрованих лічильників електричної енергії в системі наведено в Додатку А.

Найпопулярнішою моделлю за кількістю було визначено лічильник електричної енергії Меридіан ЛТЕ-1.03 трифазний однотарифний. Загальний вигляд приладу обліку наведено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд лічильника електроенергії Меридіан ЛТЕ-1.03

[15]

Меридіан ЛТЕ-1.03 є поширеною моделлю серед однофазних приладів обліку українського виробництва. Це надійний електронний лічильник класу точності 1.0, призначений для вимірювання активної енергії.

Лічильник оснащений імпульсним телеметричним виходом (оптично розв'язаним). Це дозволяє використовувати його в автоматизованих системах обліку шляхом підключення до зовнішнього концентратора даних або модему, хоча сам по собі він не має вбудованого модуля зв'язку. Технічні характеристики моделі наведені в Таблиці 2.3 та Додатку Б.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики лічильника електроенергії Меридіан ЛТЕ-1.03 [15]

| Параметр                                   | Значення              |
|--------------------------------------------|-----------------------|
| Номінальна напруга, В                      | 3×220/380             |
| Номінальний (максимальний) струм, А        | 5 (100)               |
| Номінальна частота, Гц                     | 50/60                 |
| Клас точності                              | 1                     |
| Поріг чутливості, не більше ніж, А         | 0,02                  |
| Повна потужність, споживана на кожній фазі | не більше 1,0 Вт      |
| Передатне число виходу для випробування    | 1000 імп/кВт·год      |
| Робочий діапазон температур, °С            | від -40 до +60        |
| Ступінь захисту за ГОСТ 14254              | IP54                  |
| Термін експлуатації лічильника             | не менше ніж 30 років |
| Міжповірочний інтервал, років              | 16                    |

- Водопостачання: 136 лічильників

Даний сегмент посідає друге місце за рівнем охоплення муніципальної інфраструктури, забезпечуючи контроль споживання на 72 об'єктах бюджетної сфери області. В той же час найпоширенішою моделлю лічильника холодної води є Новатор ЛК-15Х. Загальний вигляд лічильника наведено на рисунку 2.5. Повний перелік приладів для обліку холодної води в системі наведено в Додатку А.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд лічильника холодної води Новатор ЛК-15Х [16]

У сегменті водопостачання найпоширенішою моделлю є ЛК-15Х виробництва ДП «Новатор» (Україна). Це механічний крильчастий лічильник класу точності «В», який характеризується надійністю та простотою конструкції. Однак, його головним недоліком у контексті енергомоніторингу є відсутність у базовій комплектації інтерфейсів передачі даних, що змушує персонал здійснювати збір показників у ручному режимі. Технічні характеристики описаної моделі наведені в таблиці 2.4 та Додатку В.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики лічильника холодної води Новатор ЛК-15Х [16]

| Параметр                                                                                                                                                          | Значення                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Діаметр умовного проходження Ду, мм                                                                                                                               | 15                              |
| Клас і робоче положення                                                                                                                                           | BN/AV                           |
| Температура води, °C                                                                                                                                              | від 5 до 30                     |
| Об'ємні витрати води, м³/год: - мінімальний (Q <sub>min</sub> ) - перехідний (Q <sub>t</sub> ) - номінальний (Q <sub>n</sub> ) - максимальний (Q <sub>max</sub> ) | 0,03 / 0,06 0,12 / 0,15 1,5 3,0 |
| Передавальний коефіцієнт (K), м³/імп                                                                                                                              | 6,9228×10 <sup>-6</sup>         |
| Місткість рахівниці, м³                                                                                                                                           | 99999                           |
| Найменша ціна поділки лічильника, м³                                                                                                                              | 0,0001                          |
| Межа допустимої відносної похибки, %: - від Q <sub>min</sub> (включно) до Q <sub>t</sub> - від Q <sub>t</sub> (включно) до Q <sub>max</sub>                       | X / Г ±5 / ±5 ±2 / ±3           |
| Поріг чутливості, м³/год, не більше ніж                                                                                                                           | 0,015 / 0,03                    |
| Втрата тиску під час Q <sub>max</sub> , МПа, не більше ніж                                                                                                        | 0,1                             |
| Середній повний термін експлуатації                                                                                                                               | 12 років                        |

- Газопостачання: 93 лічильники

Газові лічильники представлені переважно мембранними моделями. Найпоширенішою моделлю є лічильник природного газу ELSTER BK G6MT. Загальний вигляд цієї моделі наведений на рисунку 2.6. Повний перелік лічильників природного газу в системі наведено в Додатку А.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд лічильника природного газу ELSTER BK G6MT [17]

В сегменті газопостачання базовою моделлю є ELSTER BK-G6MT (Німеччина). Це мембранний лічильник класу точності 1,5, оснащений системою механічної термокомпенсації, що гарантує достовірність обліку незалежно від погодних умов. Технічні характеристики моделі представлені в таблиці 2.5 та Додатку Г.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики лічильника природного газу ELSTER BK G6MT [17]

| Параметр                                                  | Значення       |
|-----------------------------------------------------------|----------------|
| Клас точності                                             | 1,5            |
| Пропускна спроможність ( $Q_{nom}$ ), м <sup>3</sup> /год | 6              |
| Максимальна витрата ( $Q_{max}$ ), м <sup>3</sup> /год    | 10             |
| Мінімальна витрата ( $Q_{min}$ ), м <sup>3</sup> /год     | 0,06           |
| Циклічний об'єм (V), дм <sup>3</sup>                      | 2              |
| Максимальний робочий тиск ( $P_{max}$ ), кПа              | 50             |
| Діаметр штуцерів                                          | 1 1/4"         |
| Робочий діапазон температур, °C                           | від -25 до +55 |
| Міжповітряний інтервал                                    | 8 років        |

- Теплопостачання: 70 лічильників

Найменш чисельний, але найбільш технологічно досконалий сегмент. Хоча цей сегмент є найменшим (всього 13% від усіх приладів), у ньому встановлено переважно сучасне та якісне обладнання. Найпопулярніша модель – лічильник теплової енергії Kamstrup MULTICAL 401. Загальний вигляд моделі наведений на рисунку 2.7. Повний перелік лічильників теплопостачання в системі наведений в Додатку А.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд лічильника теплової енергії Kamstrup MULTICAL 401 [18]

У сегменті теплопостачання використовується модель Kamstrup Multical 401. Це сучасний ультразвуковий лічильник 2-го класу точності, який характеризується винятковою надійністю завдяки відсутності рухомих частин. Ключовою перевагою для моніторингу є його автономність (до 16 років роботи від батареї) та наявність вбудованих інтерфейсів для дистанційної передачі даних, що забезпечує 100% достовірність обліку тепла. Технічні характеристики моделі представлені в таблиці 2.6 та Додатку Г.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики лічильника теплової енергії MULTICAL 401 [18]

| Параметр                                                    | Значення                        |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Клас точності (за EN 1434-1)                                | 2                               |
| Живлення                                                    | Від елементу живлення (батареї) |
| Тип датчика температури                                     | Pt500                           |
| Діапазон температур (T <sub>min</sub> ...T <sub>max</sub> ) | 10 °C ... 160 °C                |
| Різниця температур (Min...Max)                              | 3.0 °C ... 150 °C               |
| Датчик витрати                                              | Ультразвуковий (Ultraflow)      |
| Динамічний діапазон                                         | 02:40                           |
| Номінальний тиск (PN)                                       | 16 / 25 бар                     |
| Зняття даних                                                | Оптичний інтерфейс              |

#### 2.1.4 Моніторинг повноти даних та дисципліни звітування

Критичним показником ефективності функціонування АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» є регулярність і повнота внесення показників. Алгоритми системи автоматично генерують звіт «Відсутність внесення даних», що ідентифікує об'єкти, по яких інформація не оновлювалася протягом регламентованого періоду (понад 30 діб).

Аналіз цього звіту виявив пряму кореляцію між рівнем автоматизації вузлів обліку та регулярністю оновлення даних. Оскільки значна частина приладів, зокрема у секторі водопостачання та газопостачання (описані в п. 2.1.3), є механічними і не мають модулів дистанційної передачі, процес наповнення бази даних повністю залежить від відповідальних осіб на місцях. Необхідність ручного зняття та внесення показників створює ризик впливу «людського фактору», що призводить до появи інформаційних прогалин.

Структурний аналіз установ з найбільшою кількістю пропусків у звітуванні наведено в таблиці нижче.

Таблиця 2.7 – Перелік структурних підрозділів з найбільшою кількістю пропусків у звітуванні

| Категорія (Розріз)          | Назва                                          | Кількість |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>Організації (ОВС ЕМ)</b> | Івано-Франківська ОДА                          | 102       |
| <b>Міста</b>                | Івано-Франківськ                               | 90        |
|                             | Калуш                                          | 14        |
|                             | смт. Вигода                                    | 3         |
|                             | с. Угорники                                    | 3         |
|                             | Коломия                                        | 2         |
|                             | смт. Деятин                                    | 2         |
|                             | смт Солотвин                                   | 2         |
|                             | с. Микуличин                                   | 2         |
|                             | <i>Інші (по 1)</i>                             | 6         |
| <b>Департаменти</b>         | Департамент охорони здоров'я                   | 63        |
|                             | Департамент освіти і науки ОДА                 | 33        |
|                             | Управління культури                            | 11        |
|                             | Департамент соціальної політики ОДА            | 9         |
|                             | Управління молоді, фізичної культури та спорту | 6         |
|                             | Служба по справам дітей                        | 3         |
| <b>Категорії об'єктів</b>   | Лікарні, диспансери                            | 63        |
|                             | Адміністративні будівлі                        | 43        |
|                             | Школа                                          | 7         |
|                             | Фізкультура і спорт                            | 6         |
|                             | Навчальні заклади                              | 3         |
|                             | Соціальні дитячі заклади                       | 3         |
| <b>Ресурси</b>              | Електрична енергія                             | 67        |
|                             | Холодна вода                                   | 29        |
|                             | Природний газ                                  | 14        |
|                             | Теплова енергія                                | 14        |
|                             | Електрична енергія реактивна                   | 1         |

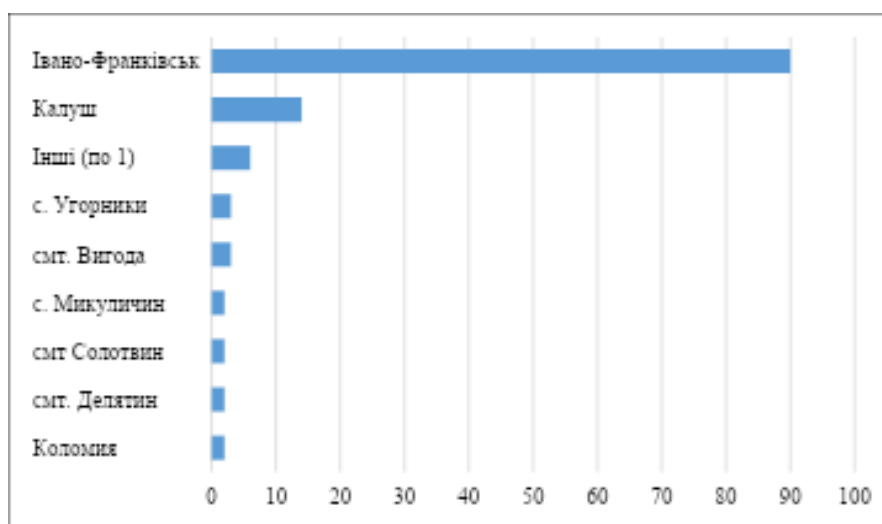


Рисунок 2.8 – Кількість об'єктів з не оновленим споживанням в області

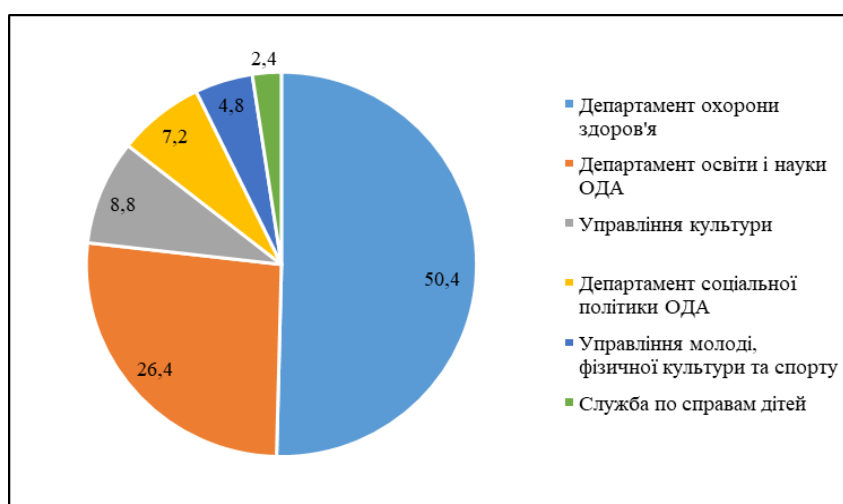


Рисунок 2.9 – Відсоткове співвідношення об'єктів з не оновленим споживанням в структурних підрозділах ОДА

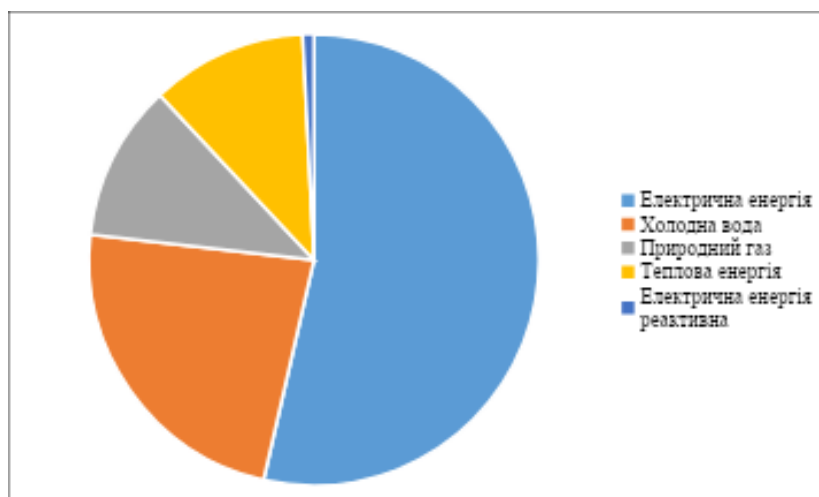


Рисунок 2.10 – Кількість об'єктів з не оновленим споживанням за ресурсами

Дані таблиці демонструють, що основний масив пропусків формується у великих бюджетних структурах (ліцелях, лікарнях), що розташовані переважно в обласному центрі та мають належне комп'ютерне забезпечення. Це підтверджує, що проблема відсутності даних має не лише технічний, а й організаційно-психологічний характер. Системне ігнорування внесення показників не дозволяє правильно порахувати загальне споживання енергії за звітний період, що повністю викривляє статистику енергоефективності області.

## **2.2 Обґрунтування технічних вимог до проєктування інформаційно-вимірювальної системи**

Проведений у підрозділі 2.1 комплексний аналіз наповнення бази даних АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» та поточного стану технічного оснащення об'єктів муніципальної інфраструктури Івано-Франківської області дозволяє сформулювати низку критично важливих вимог та орієнтирів, які необхідно врахувати під час подальшого розроблення ІВС. Апаратна частина та алгоритм роботи ІВС має безпосередньо базуватися на усуненні виявлених технічних розривів та організаційних бар'єрів. Зокрема, важливим є забезпечення наступних особливостей:

- забезпечення високої частоти дискретизації вимірювань

Згідно з чинними вимогами, мінімальна періодичність збору даних за наявності автоматизованого енергомоніторингу має становити один раз на 10 хвилин, тоді як за його відсутності регламентовано фіксацію лише двічі на тиждень (щопонеділка станом на 10:00 та щоп'ятниці станом на 16:00) [5]. Наявна статистика пропусків у звітуванні (Таблиця 2.7) наочно доводить, що за умов низької частоти збору даних та ручного введення показників, система працює неефективно що не дозволяє проводити подальший аналіз споживання. Розроблена ІВС повинна реалізовувати якісний облік в автоматичному режимі для формування точних профілів будівель, оперативного розрахунку базових ліній та миттєвого виявлення аварійних аномалій.

- адаптація різнотипних засобів вимірювальної техніки та вирішення проблеми технічної несумісності

Аналіз наявних засобів обліку виявив суттєву неоднорідність за видами ресурсів. Більшість встановлених моделей лічильників не мають вбудованих інтерфейсів передачі даних. В той же час, деякі моделі потребують додаткового зовнішнього обладнання для зчитування інформації. З огляду на це, розроблювана ІВС має бути універсальним та економічно доступним рішенням. Вона повинна зчитувати дані через підключення до існуючих імпульсних виходів лічильників або за допомогою локальних смарт-датчиків.

- повне усунення людського фактора в процесі наповнення бази даних

Статистика пропусків внесення показників (Таблиця 2.7) демонструє закономірність, що найбільше затримок із подачею даних виникає у великих установах Івано-Франківська та підрозділах ОДА (зокрема в лікарнях і закладах освіти). Персонал часто пропускає ручне введення через організаційні чинники.

Це підтверджує, що проблема відсутності даних має переважно організаційний та людський характер. Розроблена ІВС повинна повністю виключити людину з ланцюга збору інформації. Автоматична передача інформації з мікроконтролерного модуля безпосередньо на сервер унеможливить суб'єктивний вплив персоналу на повноту та якість даних, гарантуючи достовірність та регулярність наповнення бази.

- забезпечення автономності роботи та комплексного обліку в умовах дефіциту потужності

Враховуючи структуру енергетичного балансу регіону (Таблиця 2.2), ІВС має підтримувати одночасне підключення кількох каналів вимірювання для різних видів енергоносіїв. Забезпечення безперервності роботи самої вимірювальної системи є критично важливим в умовах поточного дефіциту потужності в українській енергосистемі та ризиків планових чи аварійних вимкнень електропостачання. ІВС обов'язково повинна включати блок автономного живлення на базі відновлюваних джерел енергії (наприклад, малогабаритних фотоелектричних елементів) у поєднанні з буферним

накопичувачем енергії та енергоефективними алгоритмами роботи мікроконтролера (режими глибокого сну між циклами вимірювань). Це гарантує тривалу автономність пристрою та безперервний збір інформації навіть в умовах тривалого блекауту.

## **2.3 Підбір компонентів інформаційно-вимірювальної системи**

На основі проведеного аналізу бази даних АІС та виявленої технологічної різноманітності існуючих приладів обліку, наступним етапом розробки є підбір апаратної бази для ІВС. Головним критерієм вибору компонентів є забезпечення універсальності, економічної доступності та здатності інтегруватися з різнотипними лічильниками (механічними, імпульсними, цифровими) без необхідності втручання в їхню заводську конструкцію чи порушення метрологічних пломб. Крім того, враховуючи специфіку розміщення вузлів комерційного обліку в муніципальних будівлях та ризики перебоїв з електропостачанням, апаратний комплекс повинен гарантувати безперебійність передачі даних та можливість тривалої роботи від автономних джерел живлення.

Для оптимізації та систематизації процесу проектування, підбір елементної бази розділено на три функціональні логічні блоки, а саме модулі первинного зчитування (датчики), центральний мікроконтролерний вузол (концентратор із модулем зв'язку) та систему централізованого автономного енергозабезпечення.

### **2.3.1 Блок 1. Модулі зчитування даних з приладів обліку**

Реалізація першого блоку ІВС спрямована на вирішення проблеми неоднорідності первинних засобів вимірювальної техніки. Оскільки найпоширеніші на об'єктах лічильники використовують принципово різні методи відображення показників (механічний відліковий пристрій, імпульсний вихід, оптичний порт), для кожного з них підібрано індивідуальний принцип

зчитування показників. Головна функція цих модулів — перетворення специфічних фізичних сигналів приладів обліку у стандартизований цифровий або дискретний формат, придатний для обробки центральним мікроконтролером.

Нижче наведено опис обраних первинних перетворювачів для базових моделей лічильників.

#### 1. Модуль гальванічної розв'язки на базі оптопари PC817

Основне призначення: зчитування телеметричних імпульсів з лічильника електричної енергії (Меридіан ЛТЕ-1.03).

Модуль підключається безпосередньо до штатного імпульсного виходу електролічильника. Оптопара PC817 перетворює світлові імпульси всередині свого корпусу на чіткі електричні сигнали, повністю захищаючи концентратор від можливих стрибків напруги, електромагнітних завад та коротких замикань [19]. Загальний вигляд модуля наведено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 - Загальний вигляд модуля гальванічної розв'язки PC817

[19]

#### 2. Інфрачервоний оптичний датчик відбиття TCRT5000 (модуль KY-033)

Основне призначення: оптична фіксація обертів механічного відлікового пристрою лічильника холодної води (Новатор ЛК-15Х).

Датчик складається з інфрачервоного випромінювача та фототранзистора. Він накладним способом монтується безпосередньо на прозоре скло лічильника

над центральною стрілкою-індикатором. Під час обертання стрілки змінюється коефіцієнт відбиття інфрачервоного променя. Вбудований на платі компаратор обробляє цю зміну та генерує чіткий цифровий сигнал, який далі підраховується мікроконтролером як об'єм спожитої води [20]. Загальний вигляд датчика наведено на рисунку 2.12



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд інфрачервоного оптичного датчика TCRT5000 [20]

### 3. Низькочастотний генератор імпульсів ELSTER IN-Z61

Основне призначення: фіксація циклів роботи мембранного лічильника природного газу (ELSTER BK G6MT).

Це спеціалізований заводський герконовий датчик, розроблений для газових лічильників, у молодший розряд роликового механізму яких вбудовано магнітну вставку. Датчик встановлюється у передбачений виробником зовнішній паз під циферблатом, що виключає необхідність розпломбування приладу. Під час проходження магніту контакти геркона замикаються, формуючи електричний імпульс. Датчик є пасивним елементом і працює від напруги логічного рівня мікроконтролера [21]. Загальний вигляд датчика наведено на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд герконового датчика імпульсів  
ELSTER IN-Z61 [21]

#### 4. Оптична зчитувальна головка IEC 62056-21 з інтерфейсом UART (TTL)

Основне призначення: пряме зчитування даних з мікропроцесорного лічильника теплової енергії (Kamstrup MULTICAL 401).

Пристрій виконано у вигляді циліндричної головки з вбудованим постійним магніто. Головка обладнана перетворювачем рівнів, який адаптує сигнали до стандарту UART (TTL 3,3 В/5 В). Це дозволяє мікроконтролеру ІВС надсилати запити та отримувати значення спожитих гігакалорій, поточних температур теплоносія та витрат без необхідності математичного підрахунку імпульсів [22]. Загальний вигляд оптичної зчитувальної головки наведено на рисунку 2.14



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд оптичної зчитувальної головки  
стандарту IEC 62056-21 [22]

### 2.3.2 Блок 2. Мікроконтролер та модуль зв'язку

Центральним вузлом розроблюваної ІВС є блок обробки даних та зв'язку (концентратор). Його головна функція полягає у зборі сигналів від первинних датчиків, їхній обробці, інтеграції з точними часовими мітками та бездротовій передачі сформованих інформаційних пакетів на сервер хмарної АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС». Ключовими вимогами до елементної бази цього блоку є висока енергоефективність, підтримка режимів глибокого енергозбереження та наявність кількох апаратних інтерфейсів обміну даними.

Нижче наведено опис та інженерне обґрунтування вибору компонентів центрального концентратора.

#### 1. Налагоджувальна плата ESP32 DevKitC V4

Основне призначення: центральна обробка первинних даних, керування датчиками, формування пакетів інформації та координація роботи всієї системи.

Обрана плата підтримує режим наднизького споживання. Наявність трьох апаратних інтерфейсів UART дозволяє одночасно підключити декілька периферійних модулів. Великий об'єм оперативної пам'яті забезпечує надійну буферизацію даних у разі тимчасової відсутності зв'язку із сервером [23]. Загальний вигляд плати наведено на рисунку 2.15

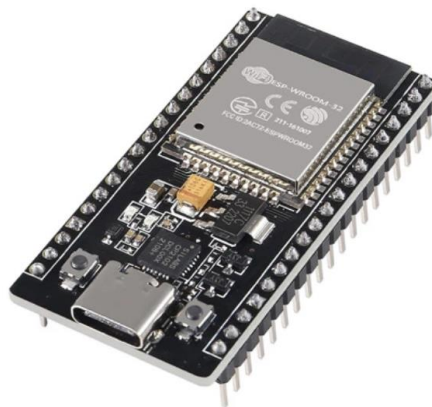


Рисунок 2.15 – Загальний вигляд налагоджувальної плати ESP32 DevKitC V4 [23]

#### 2. GSM/GPRS модуль зв'язку SIM800L V2.0 EVB

Основне призначення: бездротова передача сформованих пакетів даних з мікроконтролера в хмарну інформаційну систему за визначеним розкладом.

Модуль забезпечує передачу даних за протоколами через стільникову мережу, що робить ІВС повністю незалежною від наявності локальних Wi-Fi-мереж або Ethernet-підключень. Модуль більшу частину часу перебуває у вимкненому стані, активуючись мікроконтролером кожні 10 хвилин виключно на час відправки інформаційного пакета на сервер, що суттєво економить енергію акумулятора [24]. Загальний вигляд модуля наведено на рисунку 2.16

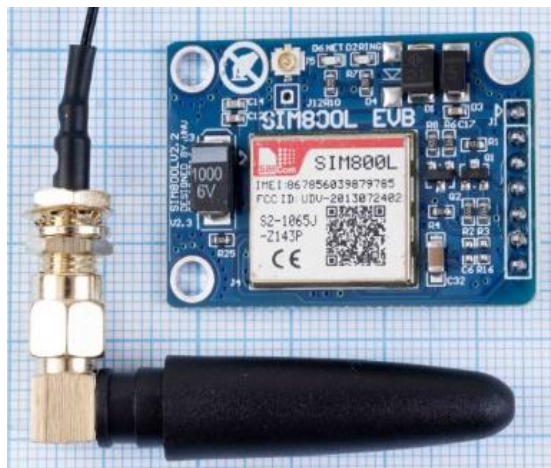


Рисунок 2.16 – Загальний вигляд модуля зв'язку SIM800L V2.0 EVB [24]

### 3. Модуль годинника реального часу DS3231 (I2C RTC)

Основне призначення: формування точних часових міток для кожного 10-хвилинного вимірювального циклу та апаратна синхронізація роботи системи.

Оскільки мікроконтролер регулярно переходить у режим глибокого сну і скидає внутрішні таймери, системі необхідне незалежне та точне джерело часу. Модуль DS3231 підключається до плати через двопровідну шину I2C. Наявність власної літієвої батарейки дозволяє модулю зберігати актуальний час навіть у разі повного розряду або тривалого відключення основної акумуляторної батареї системи [25]. Загальний вигляд модуля наведено на рисунку 2.17

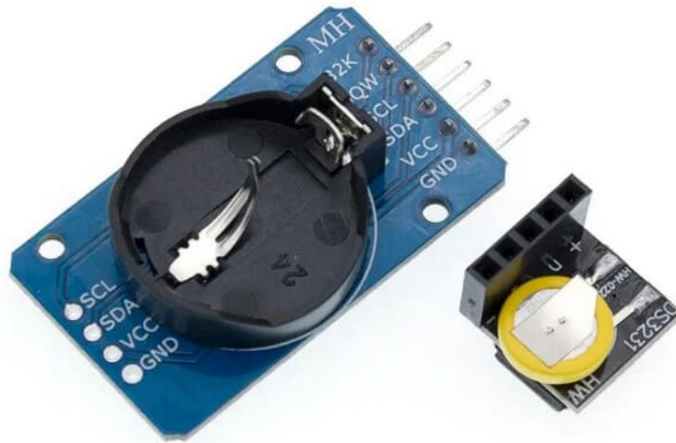


Рисунок 2.17 – Загальний вигляд модуля годинника реального часу DS3231 [25]

### 2.3.3 Блок 3. Система автономного живлення

Враховуючи високу ймовірність відключень електроенергії у муніципальному секторі, забезпечення безперервного живлення є критичним фактором для надійної роботи ІВС. Для досягнення повної енергетичної незалежності пристрою, варто реалізувати живлення на базі відновлюваних джерел (сонячної енергії) з буферним накопиченням.

Нижче наведено опис та обґрунтування вибору компонентів блоку автономного живлення.

#### 1. Монокристалічна сонячна панель (Mini Solar Panel 5W/6V)

Основне призначення: первинне відновлюване джерело енергії для живлення системи в світлу пори доби та підзарядки акумуляторів.

Використання компактної монокристалічної панелі потужністю 5 Вт є оптимальним рішенням з огляду на габарити та ефективність перетворення сонячного випромінювання. Номінальна вихідна напруга 6 В узгоджується з параметрами обраного контролера заряду і дозволяє мінімізувати втрати на перетворення при заряджанні літій-іонних акумуляторів (3,7 В). Панель має захисне покриття, що гарантує її довговічність при вуличному монтажі [26]. Загальний вигляд панелі наведено на рисунку 2.18.



Рисунок 2.18 – Загальний вигляд малогабаритної сонячної панелі [26]

## 2. MPPT-контролер заряду сонячної батареї CN3791

Основне призначення: керування процесом заряду акумуляторів та відбору максимальної потужності від сонячної панелі.

На відміну від ШІМ-контролерів, MPPT-алгоритм дозволяє відстежувати точку максимальної потужності та отримувати всю доступну енергію з панелі навіть у похмуру погоду, забезпечуючи правильний алгоритм заряду Li-Ion-батареї до безпечного порогу [27]. Загальний вигляд контролера наведено на рисунку 2.19



Рисунок 2.19 – Загальний вигляд MPPT-контролера заряду CN3791

[27]

### 3. Буферний акумулятор (Li-Ion Panasonic NCR18650B, 3400 mAh)

Основне призначення: накопичення та збереження енергії для підтримки працездатності ІВС уночі, під час тривалих блекаутів або затяжної хмарної погоди.

Для забезпечення високої автономності обрано літій-іонні акумулятори. Використання двох паралельно з'єднаних елементів загальною ємністю 6800 мА·год створює надійне джерело резервного живлення. Враховуючи, що мікроконтролер ESP32 більшість часу перебуває в режимі глибокого сну, такої ємності вистачить на тиждень автономної роботи без підзарядки. Додатково акумуляторний масив оснащується платою захисту BMS (Battery Management System), що запобігає глибокому розряду (нижче 2,5 В) та короткому замиканню [28]. Загальний вигляд контролеру наведено на рисунку 2.20.



Рисунок 2.20 – Загальний вигляд акумуляторів формату 18650 [28]

### 4. Підвищувальний DC-DC стабілізатор напруги MT3608

Основне призначення: стабілізація напруги акумулятора до фіксованого рівня 5 В, необхідного для живлення мікроконтролера та GSM-модуля.

Напруга на літєвому акумуляторі не є сталою і падає від повного заряду до розряду з 4,2 В до 3 В. Проте для надійної роботи плати ESP32 та особливо GSM-модуля, який під час передачі даних на сервер може споживати пікові струми до 2 А, необхідне стабільне живлення рівня 5 В. Імпульсний підвищувальний перетворювач MT3608 згладжує просадки напруги та гарантує

безперебійну роботу системи зв'язку незалежно від рівня заряду батареї [29].  
Загальний вигляд стабілізатора наведено на рисунку 2.21.

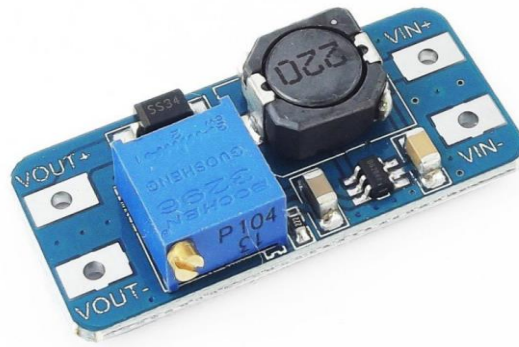


Рисунок 2.21 – Загальний вигляд підвищувального DC-DC перетворювача MT3608 [29]

#### 2.3.4 Зведена специфікація апаратних модулів ІВС

Підсумовуючи вибір апаратної бази, усі обрані компоненти (модулі зчитування, мікроконтролерний вузол та елементи системи живлення) зведено в єдину таблицю 2.8. Цей перелік демонструє, з яких саме деталей складатиметься розроблювана інформаційно-вимірювальна система. Зазначені модулі дозволять інтегруватися з найпоширенішими лічильниками в системі АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» та забезпечать стабільну роботу.

Таблиця 2.8 – Апаратне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи для інтеграції з найпоширенішими приладами обліку в базі АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС»

| № | Назва апаратного компонента                     | Призначення в системі                                              | Робоча напруга | Короткий опис та особливості застосування                                                                 |
|---|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Модуль опторозв'язки PC817 (2 канали)           | Зчитування імпульсів електrolічильника (Меридіан ЛТЕ-1.03)         | 3,3 В / 5 В    | Забезпечує гальванічну ізоляцію між імпульсним виходом лічильника та мікроконтролером, захищає від завад. |
| 2 | Інфрачервоний датчик відбиття TCRT5000 (KY-033) | Оптична фіксація обертів лічильника холодної води (Новатор ЛК-15Х) | 3,3 В / 5 В    | Фіксує обертання стрілки-індикатора під склом механічного водоміра завдяки вбудованому компаратору LM393. |

## Продовження таблиці 2.8

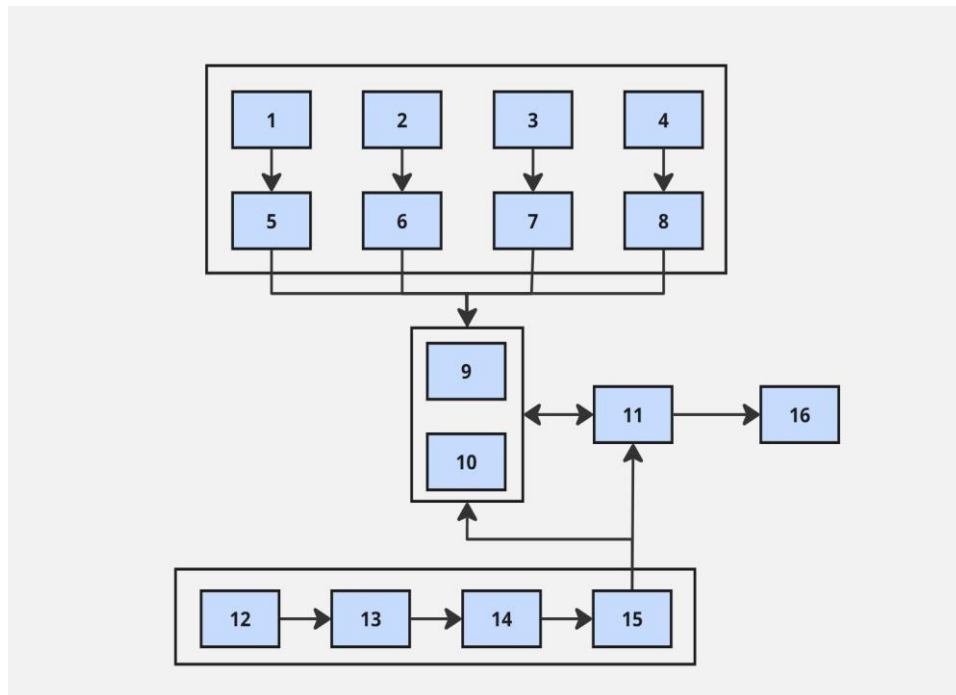
|    |                                                          |                                                                       |                                 |                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Низькочастотний генератор імпульсів ELSTER IN-Z61        | Магнітна фіксація обертів газового лічильника (ELSTER BK G6MT)        | Пасивний (логіка 3,3 В)         | Заводський герконовий датчик, що інтегрується у штатний паз лічильника без порушення пломб та конструкції.                   |
| 4  | Оптична зчитувальна головка IEC 62056-21 (UART TTL)      | Зчитування даних з лічильника теплопостачання (Kamstrup MULTICAL 401) | 3,3 В / 5 В                     | Забезпечує безконтактне зчитування готових цифрових пакетів (витрата, температури) через інфрачервоний порт.                 |
| 5  | Налагоджувальна плата ESP32 DevKitC V4 (ESP32-WROOM-32)  | Центральна обробка даних та керування                                 | 5 В (живлення) / 3,3 В (логіка) | Високопродуктивний мікроконтролер із підтримкою режимів глибокого сну (Deep Sleep) та достатньою кількістю портів GPIO/UART. |
| 6  | GSM/GPRS модуль SIM800L V2.0 EVB                         | Передача даних на сервер хмарної AIC                                  | 5 В                             | Забезпечує відправку сформованих пакетів даних до інформаційної системи через мобільну мережу.                               |
| 7  | Модуль годинника реального часу DS3231 (I2C RTC)         | Формування часових міток                                              | 3,3 В / 5 В                     | Гарантує точну часову прив'язку вимірювань кожні 10 хвилин завдяки незалежному живленню (батарея CR2032).                    |
| 8  | Монокристалічна сонячна панель (Mini Solar Panel 5W)     | Автономна генерація енергії                                           | 6 В                             | Відновлюване джерело енергії для підзарядки буферного акумулятора в світлу пору доби.                                        |
| 9  | Контролер заряду CN3791 (версія 6V)                      | Керування зарядом акумулятора                                         | Вхід: 6 В<br>Вихід: 4,2 В       | Максимізує відбір потужності від сонячної панелі, забезпечує правильний та безпечний цикл заряду Li-Ion батареї.             |
| 10 | Li-Ion акумулятор Panasonic NCR18650B (3400 mAh) – 2 шт. | Накопичення та збереження енергії                                     | 3,7 В (номінальна)              | Буферне джерело для забезпечення автономної роботи системи вночі, під час блекаутів та в похмуру погоду.                     |
| 11 | Підвищувальний DC-DC перетворювач MT3608                 | Стабілізація живлення компонентів системи                             | Вхід: 3,0-4,2 В<br>Вихід: 5 В   | Стабілізує змінну напругу від акумуляторів рівно до 5 В, необхідних для стабільної роботи ESP32 та GSM-модуля.               |

## 2.4 Схемотехнічні рішення та алгоритм роботи розробленої ІВС

### 2.4.1 Структурна схема ІВС

У структурній схемі необхідно передбачити усі основні компоненти системи. На основі цієї схеми буде забезпечено інтеграцію та ефективну роботу

усіх компонентів інформаційно-вимірювальної системи для обліку споживання ПЕР. Структурна схема ІВС наведена на рисунку 2.22.



1 – Трифазний лічильник електроенергії Меридіан ЛТЕ-1.03; 2 – Лічильник холодної води Новатор ЛК-15Х; 3 – Мембранний лічильник газу ELSTER BK G6MT; 4 – Мікропроцесорний теплолічильник Kamstrup MULTICAL 401; 5 – Двоканальний модуль гальванічної розв'язки на базі оптопару PC817; 6 – Інфрачервоний оптичний датчик відбиття TCRT5000; 7 – Низькочастотний генератор імпульсів ELSTER IN-Z61; 8 – Оптична зчитувальна головка стандарту IEC 62056-21; 9 – Налаштовувальна плата ESP32 DevKitC V4; 10 – Високоточний годинник реального часу DS3231 з інтерфейсом I2C; 11 – Модуль стільникового зв'язку GSM/GPRS SIM800L EVB V2.0; 12 – Монокристалічна сонячна панель (Mini Solar Panel 5W/6V); 13 – Інтелектуальний MPPT-контролер заряду сонячної батареї CN3791; 14 – Два літій-іонні (Li-Ion) акумулятори формату 18650 Panasonic NCR18650B; 15 – Імпульсний підвищувальний DC-DC перетворювач MT3608; 16 – Хмарна інформаційна система АІС “ЕНЕРГОСЕРВІС”

Рисунок 2.22 - Структурна схема ІВС

## 2.4.2 Алгоритм та принцип роботи IBC

Для того, щоб зрозуміти, як саме відбувається обробка та перетворення інформації всередині обраних апаратних модулів, необхідно розробити алгоритм роботи системи з урахуванням дискретизації збору даних. Алгоритм відображає логіку внутрішніх процесів, послідовність проходження сигналів і взаємодію між окремими блоками. Узагальнений алгоритм роботи IBC наведено на рисунку 2.23.

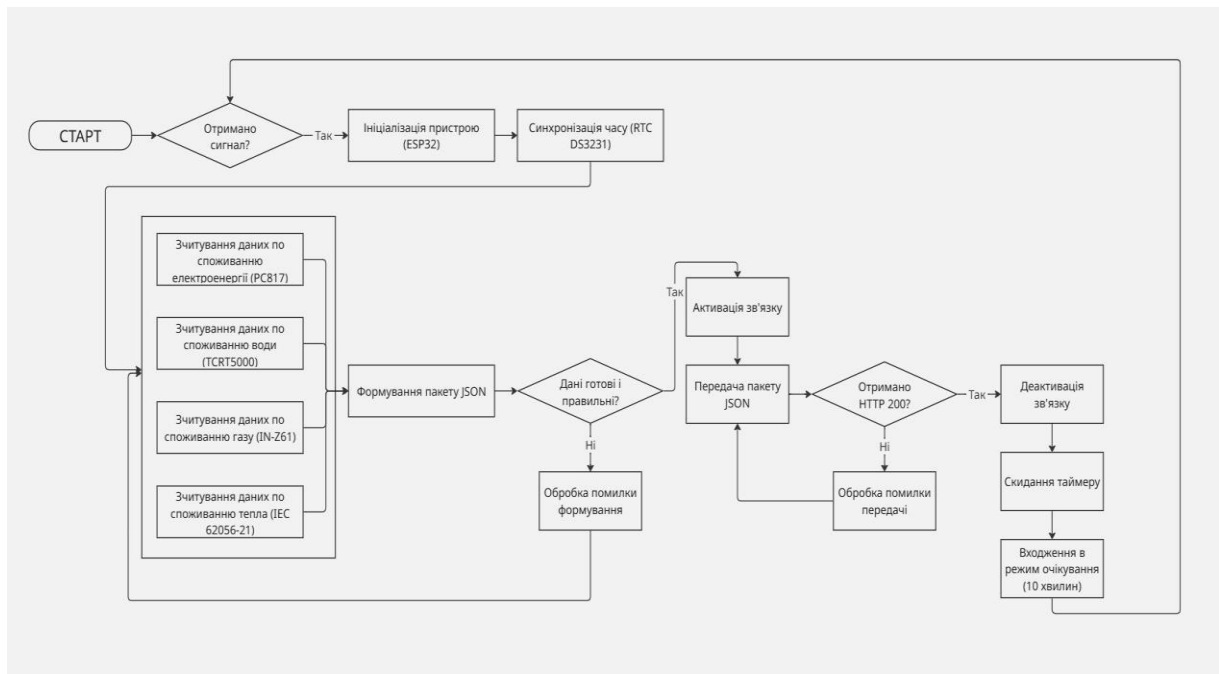


Рисунок 2.23 - Алгоритм роботи IBC

Для забезпечення високої енергоефективності, автономності та виконання нормативних вимог щодо частоти дискретизації вимірювань (один раз на 10 хвилин [5]), функціонування інформаційно-вимірювальної системи базується на циклічному алгоритмі роботи. Основна логіка системи полягає у мінімізації часу активного стану найбільш енергоємних модулів (мікроконтролера ESP32 та GSM-модема) та максимальному використанні режимів глибокого енергозбереження.

Весь робочий цикл функціонування IBC можна розділити на чотири послідовні фази, що повторюються циклічно:

### 1. Фаза підрахунку та енергозбереження

Більшу частину 10-хвилинного інтервалу центральний процесор мікроконтролера ESP32 перебуває у стані глибокого сну, а GSM-модуль SIM800L повністю знеструмлений або переведений у режим наднизького споживання. У цей час підрахунок первинних вимірювальних імпульсів, що надходять від вузлів обліку електроенергії, холодної води та природного газу, здійснюється апаратно за допомогою копроцесора, інтегрованого в архітектуру плати ESP32. Копроцесор працює незалежно від основних ядер і безперервно інкрементує змінні лічильників у спеціальній енергонезалежній пам'яті.

## 2. Фаза пробудження та синхронізації часу

Після завершення 10-хвилинного інтервалу за сигналом від внутрішнього таймера або за зовнішнім перериванням від модуля годинника реального часу DS3231, основні ядра мікроконтролера ESP32 переходять в активний стан. Першочергово здійснюється звернення до модуля DS3231 через послідовну двопровідну шину I2C. Мікроконтролер зчитує поточні значення року, місяця, числа, години, хвилини та секунди для формування точної часової мітки вимірювань.

## 3. Фаза зчитування цифрових даних та формування пакета

Після фіксації часу мікроконтролер виконує наступні процедури обробки даних:

- зчитує з пам'яті накопичені копроцесором значення імпульсів для електроенергії, води та газу, після чого перераховує їх у фізичні одиниці споживання згідно із передавальними коефіцієнтами лічильників;
- активує інтерфейс UART2 та надсилає через оптичну зчитувальну головку стандарту IEC 62056-21 команду-запит до мікропроцесорного теплолічильника Kamstrup MULTICAL 401. Отриманий у відповідь цифровий масив даних десеріалізується, з нього виділяються параметри спожитої теплової енергії, температура теплоносія та об'ємна витрата;
- усі зібрані дані інтегруються із часовою міткою і за допомогою програмних бібліотек кодуються у компактний текстовий формат. Структура пакета містить унікальний ідентифікатор концентратора, мітку

часу та масив виміряних значень за всіма чотирма пріоритетними ресурсами.

#### 4. Фаза бездротової передачі даних та переходу в режим сну

Сформований пакет даних необхідно транзитувати у хмарне середовище АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС». Цей процес відбувається за таким алгоритмом:

- мікроконтролер через вивід керування подає живлення на GSM/GPRS модуль SIM800L;
- через інтерфейс UART1 надсилається серія керуючих команд для ініціалізації модуля в мережі стільникового оператора, активації GPRS-контексту та встановлення бездротового з'єднання за протоколом TCP/IP;
- використовуючи базовий прикладний протокол HTTP (або MQTT), модуль здійснює запит на заздалегідь визначену точку доступу хмарного сервера;
- після отримання від сервера підтвердження про успішне приймання пакета, мікроконтролер надсилає команду на закриття мережевої сесії, вимикає живлення GSM-модуля, скидає прапорці обробки і знову переводить систему в режим сну до наступного циклу вимірювань.

У разі виникнення помилки зв'язку, пакет з даними тимчасово дублюється в енергонезалежну флеш-пам'ять мікроконтролера і накопичується в буфері для відправки під час наступного успішного сеансу зв'язку, що повністю виключає втрату метрологічної інформації.

Для забезпечення високої енергоефективності, автономності та виконання нормативних вимог щодо частоти дискретизації вимірювань (один раз на 10 хвилин [5]), функціонування інформаційно-вимірювальної системи базується на циклічному алгоритмі роботи. Робочий цикл ІВС складається з трьох основних етапів:

1. За сигналом таймера мікроконтролер виходить із режиму глибокого сну, проходить ініціалізацію та зчитує точний час із RTC-модуля DS3231. Під час сну фоновий підрахунок імпульсів від лічильників не зупиняється, його автоматично виконує копроцесор, зберігаючи дані в пам'яті.

2. ESP32 забирає накопичені дані з лічильників для отримання показників. Після цього формується загальний пакет даних у форматі JSON із додаванням часової мітки. Алгоритм передбачає логічну перевірку, якщо дані зчитано некоректно, система фіксує помилку формування і повторює спробу зчитування.

3. Якщо пакет сформовано правильно, мікроконтролер подає живлення на GSM-модуль, ініціалізує GPRS-з'єднання та відправляє JSON-пакет на хмарний сервер АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС».

- у разі успіху (отримано відповідь HTTP 200), модем деактивується, таймер скидається, і система переходить у режим сну на наступні 10 хвилин.
- у разі помилки зв'язку, алгоритм переходить до блоку обробки помилки, дані тимчасово дублюються у флеш-пам'ять для відправки під час наступного успішного сеансу, що виключає втрату показників.

Паралельно з інформаційними процесами збору даних у системі безперервно функціонує контур автономного енергозабезпечення, який працює повністю в автоматичному режимі незалежно від тактів процесора. Протягом світлового дня малогабаритна сонячна панель генерує постійний струм, який надходить на інтелектуальний MPPT-контролер, де за алгоритмом максимальної потужності заряджає Li-Ion батареї. Під час пікових навантажень (наприклад, у моменти активації GSM-модема) або у темну пору доби, накопичена енергія через імпульсний перетворювач MT3608 стабільно підвищується до рівня 5 В, що гарантує захист від просадок напруги та забезпечує роботу ІВС в умовах тривалих відключень.

## **2.5 Переваги та доцільність впровадження розробленої ІВС**

Головною перевагою розробленої інформаційно-вимірювальної системи є її висока адаптивність до реального технологічного стану муніципального обліку. Проведений аналіз бази даних АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» наочно показав, що більшість існуючих лічильників у громадах позбавлена сучасних вбудованих

засобів передачі даних. Використання концентратора дозволяє автоматизувати збір показників без дороговартісної заміни самих лічильників.

З метрологічної та організаційної точок зору розроблена ІВС забезпечує усунення людського фактора у процесі збору та передачі даних. Збір інформації з 10-хвилинним інтервалом створює якісну базу для аналітики енергоспоживання будівлями державного сектору. В умовах нестабільної роботи електромереж використання незалежного джерела живлення забезпечує безперебійну роботу системи. Завдяки цьому процес обліку не зупиняється навіть у періоди тривалих відключень.

Поряд з цим, розроблена система має високий потенціал масштабованості. Використання розширюваного формату даних забезпечує повну сумісність пристрою не лише з поточною платформою «ЕНЕРГОСЕРВІС», але й з будь-якими іншими сучасними системами або розумними рішеннями, що робить розробку універсальним інструментом для цифрової трансформації регіональної енергетичної політики та досягнення встановлених національних завдань та цілей у сфері енергетичного моніторингу і, зокрема, якісного метрологічного обліку споживання ПЕР.

## **2.6 Висновок до Розділу 2**

У другому розділі бакалаврської роботи було обґрунтовано вибір апаратного забезпечення для розробки універсальної ІВС, призначеної для безперервного контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів. Було детально проаналізовано наявний перелік зареєстрованих приладів обліку в базі АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» та підібрано відповідні неінвазивні давачі для різних типів лічильників, обрано мікроконтролер на базі ESP32, GSM-модуль зв'язку, а також елементи для системи автономного живлення. Зокрема, було розроблено структурну схему з апаратним забезпеченням системи.

На основі проведених досліджень та аналізу було створено циклічний алгоритм роботи системи, що дозволяє забезпечити автоматичний збір даних.

Розроблена логіка функціонування мікроконтролера реалізує зчитування показників, формування інформаційних пакетів даних, а також їх надійну передачу на хмарний сервер з урахуванням обробки можливих помилок.

Розробка цієї системи є важливим кроком до повної автоматизації процесу моніторингу енергоспоживання в установах бюджетної сфери. Впровадження розробленого модуля дозволить повністю виключити людський фактор, мінімізувати витрати на модернізацію існуючих вузлів обліку та забезпечити безперервний збір достовірних даних.

## РОЗДІЛ 3 МЕТРОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІВС

### 3.1 Аналіз метрологічного забезпечення та оцінка похибок вимірювальних каналів ІВС

Надійна метрологічна база та безперервність отримання даних є фундаментальною основою для ефективного функціонування будь-якої системи енергетичного моніторингу та обліку споживання енергетичних ресурсів. Зазвичай якість вимірювань визначається класом точності приладів. У випадку діючої системи АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» відсутність своєчасно внесеного показника еквівалентна абсолютній похибці вимірювання, що прямує до нескінченності, оскільки достовірність інформації про споживання у цей період дорівнює нулю. Така особливість роботи системи є значною метрологічною проблемою.

Впровадження розробленої ІВС повністю ліквідує суб'єктивну похибку відповідальних осіб на об'єктах і дозволяє здійснювати облік ПЕР в повному обсязі, що, в свою чергу, створює якісно наповнену базу даних для подальшого аналізу особливостей споживання і прийняття енергоефективних рішень.

Оскільки мікроконтролерний модуль ІВС здійснює зчитування протоколів або дискретних імпульсів без використання аналогово-цифрових перетворювачів, додатковою інструментальною похибкою самого каналу передачі даних можна знехтувати. Відповідно, загальна похибка системи визначається виключно інструментальними похибками первинних засобів вимірювальної техніки за чотирма базовими каналами.

Зважаючи, що похибки окремих компонентів є незалежними випадковими величинами, сумарна відносна похибка каналу визначається як геометрична сума:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_{\text{л}}^2 + \delta_{\text{пер}}^2}, \quad (3.1)$$

де  $\delta_{\text{л}}$  – відносна похибка самого приладу обліку (визначається його класом точності);  $\delta_{\text{пер}}$  – похибка модуля зчитування (перетворювача).

Для імпульсних каналів зв'язку похибка перетворювача  $\delta_{\text{пер}}$  зводиться до похибки квантування (дискретності)  $\delta_{\text{кв}}$ . Вона виникає через те, що за встановлений інтервал вимірювання (10 хвилин) останній імпульс може бути сформований не повністю. Ця похибка обернено пропорційна загальній кількості зафіксованих імпульсів і розраховується за формулою:

$$\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{N} \cdot 100\% , \quad (3.2)$$

де  $N$  – загальна кількість імпульсів, зафіксована за період вимірювання.

Виходячи з наведеного, розрахуємо загальну інструментальну похибку для чотирьох базових каналів розробленої ІВС:

1. Канал обліку електричної енергії (лічильник Меридіан ЛТЕ-1.03 та оптопара РС817)

Відносна похибка вимірювання активної електроенергії визначається класом точності лічильника, який становить 1.0 ( $\delta_{\text{л}} = 1\%$ ). Припустимо, що середнє навантаження об'єкта становить 6 кВт. За інтервал 10 хвилин (1/6 години) споживання дорівнюватиме 1 кВт·год. Згідно з технічною документацією ділильника Меридіан ЛТЕ-1.03, його передавальне число становить 1000 імп/кВт·год (Таблиця 2.3). Відповідно, за цей цикл модуль РС817 зафіксує  $N_{\text{EE}} = 1000$  імпульсів.

Похибка квантування становитиме:

$$\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{1000} \cdot 100\% = \pm 0,1 \% , \quad (3.3)$$

Загальна відносна інструментальна похибка каналу:

$$\delta_{\text{EE}} = \pm \sqrt{1^2 + 0,1^2} = \pm \sqrt{1,01} = \pm 1,005\% , \quad (3.4)$$

2. Канал обліку холодної води (водомір Новатор ЛК-15Х та інфрачервоний датчик TCRT5000)

Для механічних крильчастих лічильників води метрологічного класу «В» межа допустимої відносної похибки в номінальному діапазоні витрат становить 2%. Нехай номінальна витрата води в установі становитиме 0,3 м³/год (або 300 літрів/год). За 10 хвилин об'єкт споживає 50 літрів. Оптичний датчик TCRT5000 налаштований на фіксацію одного повного оберту стрілки лічильника води ЛК-15Х, що дорівнює одному літру. Отже, кількість імпульсів  $N_b = 50$ .

Похибка квантування:

$$\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{50} \cdot 100\% = \pm 2 \%, \quad (3.5)$$

Загальна похибка каналу:

$$\delta_B = \pm \sqrt{2^2 + 2^2} = \pm \sqrt{8} = \pm 2,83\%, \quad (3.6)$$

3. Канал обліку природного газу (лічильник ELSTER BK G6MT та герконовий датчик IN-Z61)

Клас точності даного мембранного лічильника становить 1,5. Наявність системи механічної термокомпенсації мінімізує додаткові температурні впливи. Візьмемо типову витрату газу для автономної котельні у зимовий період на рівні 3 м³/год. За 10-хвилинний цикл споживання складе 0,5 м³. Штатний герконовий датчик IN-Z61 формує один імпульс на кожні 0,01 м³ об'єму. Тоді  $N_r = 0,5/0,01 = 50$  імпульсів.

Похибка квантування:

$$\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{50} \cdot 100\% = \pm 2 \%, \quad (3.7)$$

Загальна похибка каналу:

$$\delta_r = \pm \sqrt{1,5^2 + 2^2} = \pm \sqrt{6,25} = \pm 2,5\%, \quad (3.8)$$

4. Канал обліку теплової енергії (теплічильник Kamstrup MULTICAL 401 та оптична головка IEC 62056-21)

Даний канал є виключно цифровим. Оскільки зчитування відбувається через інфрачервоний порт за протоколом UART у вигляді готових пакетів даних,

похибка квантування відсутня ( $\delta_{\text{кв}} = 0$ ). Похибка каналу повністю дорівнює похибці самого теплолічильника (клас точності 2):

$$\delta_T = \pm \sqrt{2^2 + 0^2} = \pm 2\%, \quad (3.9)$$

Підсумовуючи, максимальні значення похибок для каналів системи при 10-хвилинній дискретизації становлять:

- Канал обліку електричної енергії:  $\pm 1,01\%$ ;
- Канал обліку холодної води:  $\pm 2,83\%$ ;
- Канал обліку природного газу:  $\pm 2,50\%$ ;
- Канал обліку теплової енергії:  $\pm 2,00\%$ .

Змодельований розрахунок доводить, що навіть за відносно невеликих обсягів споживання в межах короткого 10-хвилинного інтервалу максимальна інструментальна похибка вимірювальних каналів не перевищує 2,5–2,83%. У масштабах добового або місячного обліку кількість імпульсів  $N$  зростає в сотні разів, зводячи похибку квантування  $\delta_{\text{кв}}$  до значень, якими можна знехтувати, і наближаючи сумарну похибку системи до точності лічильників.

Завдяки ІВС облік використання ПЕР ведеться безперервно та в повному обсязі. Саме це дозволяє якісно аналізувати графіки споживання та приймати енергоефективні рішення.

### **3.2 Нормативно-технічний статус та умови експлуатації розробленої системи**

Розроблена інформаційно-вимірювальна система за своїм функціональним призначенням не є первинним засобом вимірювальної техніки. Фактично, вона виконує роль комунікаційного вузла, який лише збирає, обробляє та передає дані, уже сформовані первинними приладами. Такий статус принципово спрощує підхід до впровадження на реальних об'єктах муніципальної інфраструктури.

Головною перевагою системи є те, що її можна підключити без фізичного втручання в роботу лічильників. Для зчитування показників з існуючих лічильників використовуються виключно зовнішні накладні датчики, а також передбачені виробниками штатні імпульсні чи цифрові виходи. Такий спосіб підключення не потребує фізичного втручання у внутрішню конструкцію приладів обліку. Відповідно, під час монтажу системи не пошкоджуються заводські пломби. Це означає, що встановлення розробленого комплексу жодним чином не впливає на поточний метрологічний статус лічильників і не вимагає їхньої позачергової перевірки.

Система базується на загальноприйнятих стандартах обміну інформацією. Зчитування даних відбувається за поширеними протоколами (UART, I2C), а передача на сервер здійснюється у стандартному текстовому форматі JSON через HTTP-запити. Це гарантує високу сумісність пристрою не лише з наявною АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС», а й з будь-якими іншими сучасними хмарними платформами.

З нормативно-технічної точки зору, розроблена ІВС класифікується як універсальне телеметричне обладнання. Його використання не створює додаткових бюрократичних чи юридичних зобов'язань для бюджетних установ.

### **3.3 Рекомендації щодо регулювання та впровадження ІВС у територіальних громадах**

Досвід експлуатації АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» засвідчив, що поточна нормативно-правова база України у сфері енергетичного моніторингу ат обліку ПЕР потребує оновлення. Зокрема, чинні регламенти, які допускають ручне внесення показників двічі на тиждень за відсутності автоматизації, на практиці довели свою неефективність.

Для покращення нормативного регулювання процесу енергомоніторингу пропонуються наступні кроки:

- на рівні управлінських рішень доцільно ініціювати зміни та поступово вилучити з місцевих положень норму про допустимість ручного звітування для установ бюджетної сфери;
- для підвищення якості та ефективності збору даних, регламентувати обов'язкову автоматизацію та збір даних із дискретизацією не менше 10 хвилин;
- стимулювати використання сучасних інформаційно-вимірювальних технологій із відповідними ЗВТ.

Впровадження розробленої системи доцільно розпочинати з найбільших споживачів (лікарень та закладів освіти), де зафіксована найбільша кількість пропусків у внесенні показників та фінансові втрати від помилок обліку є найвагомішими для бюджету. Надалі ІВС варто використовувати для підключення до єдиної бази даних віддалених сільських об'єктів, які зараз залишаються поза контролем. Завдяки такій повній автоматизації місцеві енергоменеджери перейдуть від ручного переписування показників і спрямують свій час на профільну аналітику, зокрема, моніторинг графіків споживання, прогнозування, пошук аномалій та розробку заходів з підвищення енергоефективності.

### 3.4 Висновок до розділу 3

У розділі 3 було проведено аналіз метрологічного забезпечення розробленої інформаційно-вимірювальної системи та розрахунок інструментальної похибки для чотирьох каналів обліку енергоресурсів. Також було сформовано практичні рекомендації щодо впровадження розробленої системи в муніципалітетах.

Результати аналізу похибок довели, що точність системи обмежена лише класом точності самих лічильників. Систему можна монтувати на діючих об'єктах без пошкодження пломб, що робить її цілком придатною для практичного використання.

Таким чином, розроблена ІВС є практичним інструментом для модернізації муніципального енергетичного моніторингу. Її впровадження у громадах дозволить повністю усунути людський фактор, забезпечити безперервність збору даних та оптимізувати витрати бюджетної сфери.

## ВИСНОВОК

У цій бакалаврській роботі виконано комплекс завдань із розроблення інформаційно-вимірювальної системи для безперервного контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів в установах бюджетної сфери.

По-перше, проаналізовано поточний стан системи енергетичного моніторингу та наповнення бази даних АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» в Івано-Франківській області. Це дозволило виявити критичну проблему з низькою якістю і системною відсутністю даних через ручне внесення показників та регулярний вплив людського фактора.

По-друге, обґрунтовано вибір апаратного забезпечення для розроблення інформаційно-вимірювальної системи. Підібрано відповідні перетворювачі для повноцінної інтеграції з найпоширенішими наявними лічильниками електроенергії, води, газу та тепла в системі. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи ІВС на базі мікроконтролера ESP32. Для гарантування стабільної роботи в умовах дефіциту потужності в енергомережі додано контур автономного живлення від сонячної енергії з літійовими акумуляторами.

Наступним кроком стала було проведено оцінку метрологічного забезпечення системи. Проведені розрахунки довели, що точність вимірювальних каналів обмежується виключно класами точності встановлених лічильників. На основі отриманих результатів сформовано практичні рекомендації для громад, де ключовою вимогою є повна відмова від ручного збору даних та затвердження автоматизованого обліку як єдиного стандарту.

Таким чином, виконані завдання дозволили розробити ефективну, надійну та економічно доступну інформаційно-вимірювальну систему, впровадження якої забезпечить безперервний і точний облік енергоресурсів, усуне людський фактор та підвищить якість енергетичного моніторингу на об'єктах муніципальної інфраструктури.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05 черв. 2014 р. № 1314-VII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. Енергетична стратегія України на період до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 01 травня 2023 р. № 431-р. Міністерство енергетики України: офіційний вебсайт. URL: <https://mev.gov.ua/reforma-energetyky/energetychna-stratehiya>
3. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21 жовт. 2021 р. № 1818-IX. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20>
4. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22 черв. 2017 р. № 2118-VIII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» від 23.12.2021 № 1460. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-%D0%BF>
6. Розпорядження ОДА, Департамент економічного розвитку, промисловості та інфраструктури ОДА, від 26 червня 2024 р. № 292 Про впровадження обласної системи енергетичного менеджменту та енергетичного моніторингу в бюджетній сфері Івано-Франківської області URL: <https://www.if.gov.ua/npas/pro-vprovadzhennia-oblasnoi-systemy-enerhetychnoho-menedzhmentu-ta-enerhetychnoho-monitorynhu-v-biudzhethnii-sferi-ivano-frankivskoi-oblasti>
7. IoT-A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope // ResearchGate. 2024. URL: <https://www.researchgate.net/publication/385358843>
8. Energy Harvesting IoT Sensors for Remote Renewable Energy Systems // ResearchGate. 2025. URL: <https://www.researchgate.net/publication/388824014>

9. Моніторинг енергоефективності будівель навчальних закладів // Збірник наукових праць ДонНТУ. 2018. Вип. 1(19)-2(20). С. 37–44. URL: [https://elen.donntu.edu.ua/Zbirnyk\\_1\(19\)-2\(20\)2018.pdf#page=37](https://elen.donntu.edu.ua/Zbirnyk_1(19)-2(20)2018.pdf#page=37)
10. Автоматизація збору даних у системах енергоменеджменту // Енергетика: економіка, технології, екологія : наук. журн. КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2024. URL: <https://energy.kpi.ua/article/view/324186/314505>
11. Науменко О. В. Розробка підсистеми моніторингу енергоспоживання об'єктів ВНЗ : магістерська робота / ХНУРЕ. Харків, 2020. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/6e206ec7-e63b-4052-8db3-9de79f156cf9/content>
12. Звіт щодо стану виконання вимог постанови Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2021 р. № 1460 «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» станом на 31 січня 2026 року / Держенергоефективності. 2026.
13. Огляд автоматизованих інформаційних систем для енергомоніторингу / Асоціація «Енергоефективні міста України». Львів, 2020. URL: [https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Analytics/Expert\\_review\\_2020.pdf](https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Analytics/Expert_review_2020.pdf)
14. Автоматизована система моніторингу та керування паливно - енергетичними ресурсами, що споживаються: АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС» URL: <https://promo.energoservic.com/>
15. Лічильник Мерідіан ЛТЕ-1.03ТУ 5-100А (універсальний) активної електроенергії трифазний однотарифний URL: <https://elmisto.com.ua/ua/p50972144-schetchik-meridian-lte.html>
16. Лічильники ЛК URL: [https://www.novator-tm.com/pages/lk\\_page.php](https://www.novator-tm.com/pages/lk_page.php)
17. Лічильник газу ELSTER BK G6MT URL: <https://elster.com.ua/lichilnik-gazu-elster-bk-g6mt>
18. Теплолічильник MULTICAL 401 URL: <https://teplosystem.com.ua/teplolichilnik-multical-401>
19. Модуль гальванічної розв'язки 4-х канальний на PC817 URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p1292644682-modul-galvanicheskoy-razvyazki.html>
20. Датчик лінії KY-033 на TCRT5000 URL:

[https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000?srsltid=AfmBOoqfoxEcSr1QfpuLj7uy\\_8\\_oruKmZfnOg72xSi1qKv3Z6Tq-cgnC](https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000?srsltid=AfmBOoqfoxEcSr1QfpuLj7uy_8_oruKmZfnOg72xSi1qKv3Z6Tq-cgnC)

21. Низькочастотний датчик імпульсів Elster IN-Z61 URL:

<https://elster.com.ua/nizkochastotnij-datchik-impulsiv-elster-z61>

22. IEC 62056-21 TTL Infrared Optical Read Head – Smart Meter Probe URL:

<https://smartgateways.nl/en/product/iec-62056-21-ttl-infrared-optical-read-head/>

23. Плата розробника ESP32 DevKit 38 pin на базі модуля ESP32-WROOM-32 з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth (521-efe55) URL:

<https://epicentrk.ua/ua/shop/mpic-plata-rozrobnika-esp32-devkit-38-pin-na-bazi-modula-esp32-wroom-32-z-pidtrimkou-wi-fi-ta-bluetooth-521-efe55-1f0af811-b5e8-6a06-a6ff-d7392fef6cdb.html>

24. Модуль стільникового зв'язку GSM і GPRS для Arduino SIM800L EVB з виносною антеною URL:

<https://mehanika.net.ua/product/modul-stilnikovogo-zvyazku-gsm-i-gprs-dlya-arduino-sim800l-evb-z-vynosnoyu-antenoyu/>

25. Модуль годинника реального часу DS3231 RTC URL:

<https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-ds3231-rtc>

26. Монокристалічна сонячна панель Waveshare 6V/5W (16158) URL:

[https://evo.net.ua/solnechnaya-panel-waveshare-6v-5w-16158/?srsltid=AfmBOOpZVF8IFg82aQtLgN84U5yjHcQpQb2DOeHpTWJSNC4fnuCZrr\\_r](https://evo.net.ua/solnechnaya-panel-waveshare-6v-5w-16158/?srsltid=AfmBOOpZVF8IFg82aQtLgN84U5yjHcQpQb2DOeHpTWJSNC4fnuCZrr_r)

27. Контролер заряду сонячних модулів MPPT CN3791-6V URL:

<https://techland.com.ua/ua/p2772533174-kontroller-zaryada-solnechnyh.html?srsltid=AfmBOoqxhKlzFmedNTxz6SOvqItvXlIKXuWZd6wEHVUi6PYqIENP3lAL>

28. Акумулятор Li-Ion Panasonic NCR18650B 3400 mAh без захисту (з опуклим плюсом) URL:

[https://itakshop.com.ua/ua/p1619867739-akkumulyator-ion-panasonic.html?source=merchant\\_center&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=2387822](https://itakshop.com.ua/ua/p1619867739-akkumulyator-ion-panasonic.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=2387822)

[6120&gbraid=0AAAAAqkkzCqeBYJd-06GZ-iCsI3RjhY2y&gclid=Cj0KCQjw\\_vnQBhCxAARIsADcZyxLU3pE\\_xYQXo3868e\\_qwY\\_9KdB00fIiXEUldqfxTJzInW3x\\_cgfQsIaAqbbEALw\\_wcB](#)

29. Підвищувальний регулятор напруги DC-DC MT3608 URL:

[https://flymod.net/item/dc-dc\\_step\\_up\\_power\\_module\\_booster\\_8v\\_2a?srsId=AfmBOop3zy0YZMkB\\_BCtMZDFPlNHc016A\\_tYb5Xbw\\_j0Nx6egUB7lQwY](#)

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

**Перелік усіх моделей лічильників по обраних ресурсах  
в АІС «ЕНЕРГОСЕРВІС»**

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| <b>Електрична енергія</b>                 | <b>243</b> |
| Тимчасова модель                          | 81         |
| Меридіан ЛТЕ-1.03                         | 34         |
| Віртуальний лічильник                     | 17         |
| ZMD410CT44.0007S2                         | 15         |
| <i>[Модель не вказана / порожнє поле]</i> | 13         |
| CA4Y-II672M                               | 4          |
| COE-1.02/5 КРТД                           | 3          |
| MTx 36-20,DD, 3M1-y004                    | 3          |
| ACTAPIS ACE 6000                          | 2          |
| AD13A-1-6-1                               | 2          |
| AD3A.2-9-1                                | 2          |
| MTX 1A10.DG.2L5-YD4                       | 2          |
| MTX 3R30.DG.4L3-YD4                       | 2          |
| NIK 2301 АПЗ                              | 2          |
| Tele tec                                  | 2          |
| ZMD 405 CR440007                          | 2          |
| ACE 3000                                  | 2          |
| МЕРИДІАН СОЭ-1.02/2КТ                     | 2          |
| НИК 2301 АПІ                              | 2          |
| НИК 2303 АРПІ                             | 2          |
| CA4-II678 kW-h                            | 2          |
| CO-ЭА10ДИ                                 | 2          |
| Трифазний електронний OE-008NFH-03        | 2          |
| <i>Інші розрізнені моделі (по 1 шт.)</i>  | 43         |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| <b>Холодна вода</b>                      | <b>136</b> |
| Тимчасова модель                         | 67         |
| ЛК-15X                                   | 8          |
| MTK-UA                                   | 4          |
| BAYALAN                                  | 3          |
| Gross MTK                                | 3          |
| SENSUS 25                                | 3          |
| Віртуальний лічильник                    | 3          |
| KB -1,5                                  | 3          |
| BAYLAN                                   | 2          |
| Gross ETR-UA 20                          | 2          |
| Gross MTK-UA                             | 2          |
| UBK-40                                   | 2          |
| METRON                                   | 2          |
| ЛК-25X                                   | 2          |
| <i>Інші розрізнені моделі (по 1 шт.)</i> | 22         |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| <b>Природний газ</b>                     | <b>93</b> |
| Тимчасова модель                         | 42        |
| Elster BK-G6 MT                          | 12        |
| Віртуальний                              | 6         |
| Elster BK-G4M                            | 4         |
| РГК-100                                  | 3         |
| BK-G1,6MT                                | 2         |
| BK-G 10 MT зав.                          | 2         |
| BK-G2,5MT                                | 2         |
| РГА G16                                  | 2         |
| BK-G4MT                                  | 2         |
| Elster BK-G2.5                           | 2         |
| METRIX G-10                              | 2         |
| <i>Інші розрізнені моделі (по 1 шт.)</i> | 12        |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| <b>Теплова енергія</b>                   | <b>70</b> |
| Тимчасова модель                         | 38        |
| MULTICAL 401                             | 7         |
| CBTY-10M                                 | 4         |
| INFOCAL 5                                | 3         |
| SHARKY 775                               | 3         |
| Суперком 01-1                            | 3         |
| Multikal 402                             | 2         |
| Віртуальний лічильник                    | 2         |
| SK3-3                                    | 2         |
| <i>Інші розрізнені моделі (по 1 шт.)</i> | 6         |

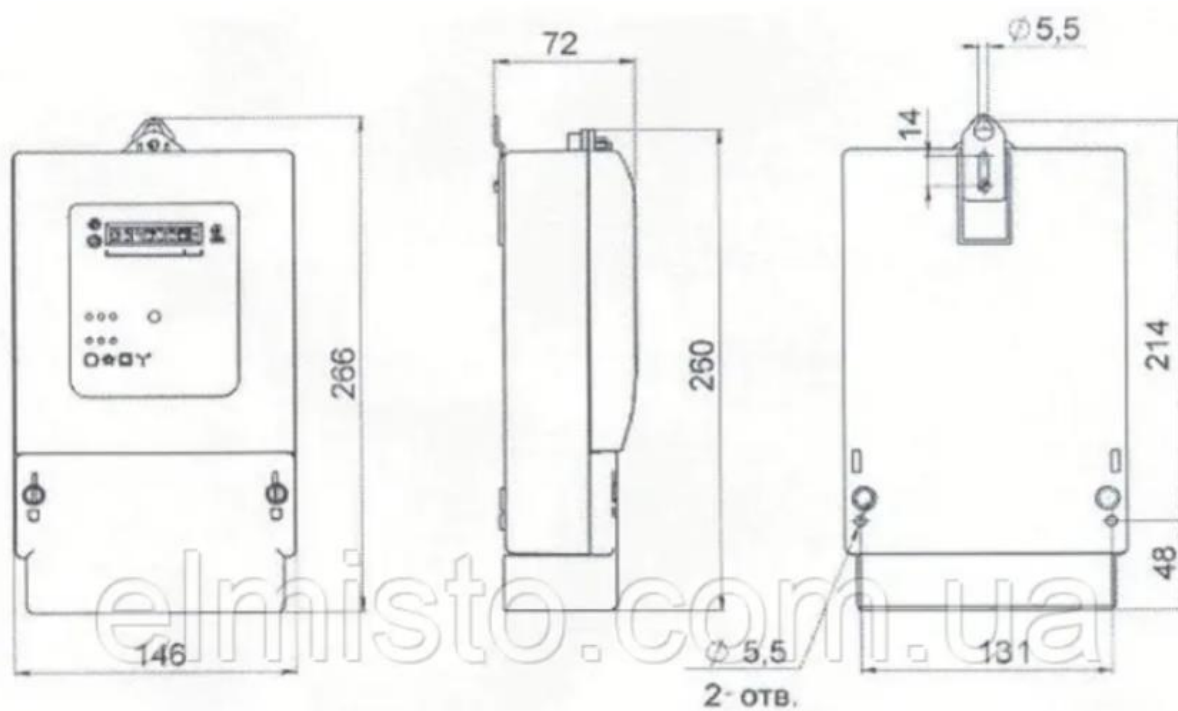
## ДОДАТОК Б

## Основні технічні характеристики лічильника електричної енергії

## Меридіан ЛТЕ-1.03ТУ

| Найменування параметрів                                               | Значення     |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Номінальна напруга, В                                                 | 3*220/380    |
| Номінальний (максимальний) струм, А                                   | 5(100)       |
| Номінальна частота, Гц                                                | 50/60        |
| Клас точності                                                         | 1.0          |
| Поріг чутливості не більш ніж, А                                      | 0.02         |
| Повна потужність, споживана на кожній фазі лічильника не більш ніж Вт | 1.0          |
| Передатне число виходу для випробування, імпульс/кВт-год              | 1000         |
| Робочий діапазон температур, С0                                       | - 40 ...+ 60 |
| Ступінь захисту за ГОСТ 14254                                         | IP54         |
| Термін експлуатації лічильника не менш ніж рік                        | 30           |
| Термін гарантії, років                                                | 3            |
| Міжповерховий інтервал, років                                         | 16           |
| Габаритні розміри, мм                                                 | 247x172x75   |
| Маса, кг                                                              | 1,8          |

## Габаритне креслення електролічильника Меридіан ЛТЕ-1.03ТУ



## ДОДАТОК В

### Основні характеристики лічильника холодної води Новатор ЛК-15

| Найменування характеристики                                                                                                                                                                                                                                          | Значення характеристики                                                      |                                 |                                |                              |                                 |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Номінальний діаметр (DN), мм                                                                                                                                                                                                                                      | 15                                                                           | 15                              | 20                             | 25                           | 32                              | 40                          |
| 2. Кількість розрядів відлікового пристрою для відображення цілих значень вимірюваного об'єму (максимальне значення вимірюваного об'єму, м³)                                                                                                                         | 5<br>(99999)                                                                 | 5<br>(99999)                    | 5<br>(99999)                   | 5<br>(99999)                 | 5<br>(99999)                    | 6<br>(99999)                |
| 3. Найменша ціна поділки відлікового пристрою, м³                                                                                                                                                                                                                    | 1x10 <sup>-4</sup>                                                           | 1x10 <sup>-4</sup>              | 1x10 <sup>-4</sup>             | 1x10 <sup>-4</sup>           | 1x10 <sup>-4</sup>              | 1x10 <sup>-3</sup>          |
| 4. Клас точності                                                                                                                                                                                                                                                     | 2                                                                            |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 5. Границі допустимої основної відносної похибки лічильника, % <ul style="list-style-type: none"> <li>від Q1 (включно) до Q2</li> <li>від Q2 (включно) до Q4</li> <li>для лічильника ЛК-DNX</li> <li>для лічильника ЛК-DNГ</li> <li>для лічильника ЛК-DNУ</li> </ul> | ±5.0<br><br>±2.0<br>±3.0<br>±3.0                                             |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 6. Клас температур <ul style="list-style-type: none"> <li>для лічильника ЛК-DNX</li> <li>для лічильника ЛК-DNГ</li> <li>для лічильника ЛК-DNУ</li> </ul>                                                                                                             | Т30 (від 0.1 до 30 °С)<br>Т30/90 (від 30 до 90 °С)<br>Т90 (від 0.1 до 90 °С) |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 7. Об'ємна витрата води в горизонтальному положенні Н, м³/год: <ul style="list-style-type: none"> <li>мінімальна (Q1)</li> <li>перехідна (Q2)</li> <li>номінальна (Q3)</li> <li>максимальна (Q4)</li> </ul>                                                          | 0.032<br>0.0512<br>1.6<br>2.0                                                | 0.025<br>0.040<br>2.5<br>3.125  | 0.050<br>0.080<br>2.5<br>3.125 | 0.080<br>0.128<br>4.0<br>5.0 | 0.126<br>0.2016<br>6.3<br>7.875 | 0.2<br>0.32<br>10.0<br>12.5 |
| 8. Об'ємна витрата води в вертикальному положенні V, м³/год: <ul style="list-style-type: none"> <li>мінімальна (Q1)</li> <li>перехідна (Q2)</li> <li>номінальна (Q3)</li> <li>максимальна (Q4)</li> </ul>                                                            | 0.040<br>0.064<br>1.6<br>2.0                                                 | 0.0625<br>0.100<br>2.5<br>3.125 | 0.0625<br>0.10<br>2.5<br>3.125 | -<br>-<br>-<br>-             | -<br>-<br>-<br>-                | -<br>-<br>-<br>-            |
| 9. Максимальний тиск води, МПа                                                                                                                                                                                                                                       | 1.0                                                                          |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 10. Габаритні розміри, мм, не більше:                                                                                                                                                                                                                                | 110x80x85                                                                    | 110x80x85                       | 130x80x95                      | 260x105x140                  | 260x105x140                     | 300x110x154                 |
| 11. Маса, кг, не більше <ul style="list-style-type: none"> <li>без герконового датчика імпульсного виходу</li> <li>з герконовим датчиком імпульсного виходу</li> </ul>                                                                                               | 0.65<br>0.85                                                                 | 0.65                            | 0.87<br>1.07                   | 3.6<br>3.8                   | 3.6<br>3.8                      | 5.5<br>5.7                  |
| 12. Клас зовнішніх механічних умов відповідно до ДСТУ ОІМЛ D 11:2018                                                                                                                                                                                                 | M1                                                                           |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 13. Клас чутливості до профілю потоку                                                                                                                                                                                                                                | U3/D3                                                                        |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 14. Клас втрати тиску                                                                                                                                                                                                                                                | Др63                                                                         |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 15. Середнє напрацювання на відмову лічильника, не менше, год                                                                                                                                                                                                        | 10000                                                                        |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 16. Умови експлуатації <ul style="list-style-type: none"> <li>температура навколишнього повітря, °С</li> <li>відносна вологість, повітря при температурі 35 °С, %</li> </ul>                                                                                         | від 5 до 55<br>до 80                                                         |                                 |                                |                              |                                 |                             |
| 17. Ціна імпульсу лічильника з імпульсним виходом, м³                                                                                                                                                                                                                | 0.01                                                                         | -                               | 0.01                           | 0.01                         | 0.01                            | 0.01                        |
| 18. Середній строк служби, років                                                                                                                                                                                                                                     | 12                                                                           |                                 |                                |                              |                                 |                             |

## ДОДАТОК Г

## Основні характеристики лічильника природного газу ELSTER BK G6MT

|                                   |                                                 |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Виробник:                         | Elster                                          |
| Типорозмір:                       | G6                                              |
| Номінальна витрата:               | 6 м3/год                                        |
| Мінімальна витрата:               | 0,06 м3/год                                     |
| Максимальна витрата:              | 10 м3/год                                       |
| Динамічний діапазон:              | 166,6                                           |
| Максимальний робочий тиск:        | 50 кПа (макс. надлишковий)                      |
| Циклічний об'єм:                  | 2 дм3                                           |
| Клас точності:                    | 1,5                                             |
| Міжповірочний інтервал:           | 8 років                                         |
| Діапазон температур:              | -25 °C ÷ +40 °C (газу), -25 °C ÷ +55 °C (зовні) |
| Тип з'єднання:                    | різьбове 1 1/4                                  |
| Міжосьова відстань між штуцерами: | 250 мм                                          |
| Габарити:                         | В×Ш×Г 241×327×163 мм                            |
| Маса:                             | 3,5 кг, не більше                               |

## ДОДАТОК Г

### Основні характеристики лічильника тепла MULTICAL 401

**MULTICAL® 401 Thermal Heat Meter**

**"Long-life" ultrasonic heat meter**

**Large dynamic range**

**12 years of battery operation, 24 V or 230 V**

**Calendar, data logger and tariffs**

**Optical data reading**

**RS232, M-Bus, modem and radio**

**2 pulse inputs for water meters**

**Pulse output for energy**

**NOWA compatible verification**

**TS** 27.01  
145

GB 12133-2006, EN 13303

**PTB** 22.52  
04.02

MID-2004/22/EC

**CE** MD7 0200



**Application**

MULTICAL® 401 is used for metering heat in small and medium-sized central heating plants and district heating plants, typically in single or multi-family houses and in blocks of flats. The meter is very simple to install, read and verify. In addition, MULTICAL® 401 contributes to keeping the annual operating costs at a minimum with its unique combination of large measuring accuracy and long lifetime.

MULTICAL® 401 calculates the thermal energy based on the measured differential temperature between flow and return flow, the measured water quantity, as well as internal table correction for density and enthalpy.

Flow is measured with ultrasound according to the transit time method, and all measurements, references, display readings, calculations and data communication are controlled by a microprocessor and an ASIC.

In addition, MULTICAL® 401 totalizes the consumption of 2 water meters with pulse output, and thereby a total reading of thermal energy and tap water consumption is obtained.

Via an internal module MULTICAL® 401 can be remotely read by means of RS232, M-Bus, modem or Kamstrup's radio system.

#### Technical data

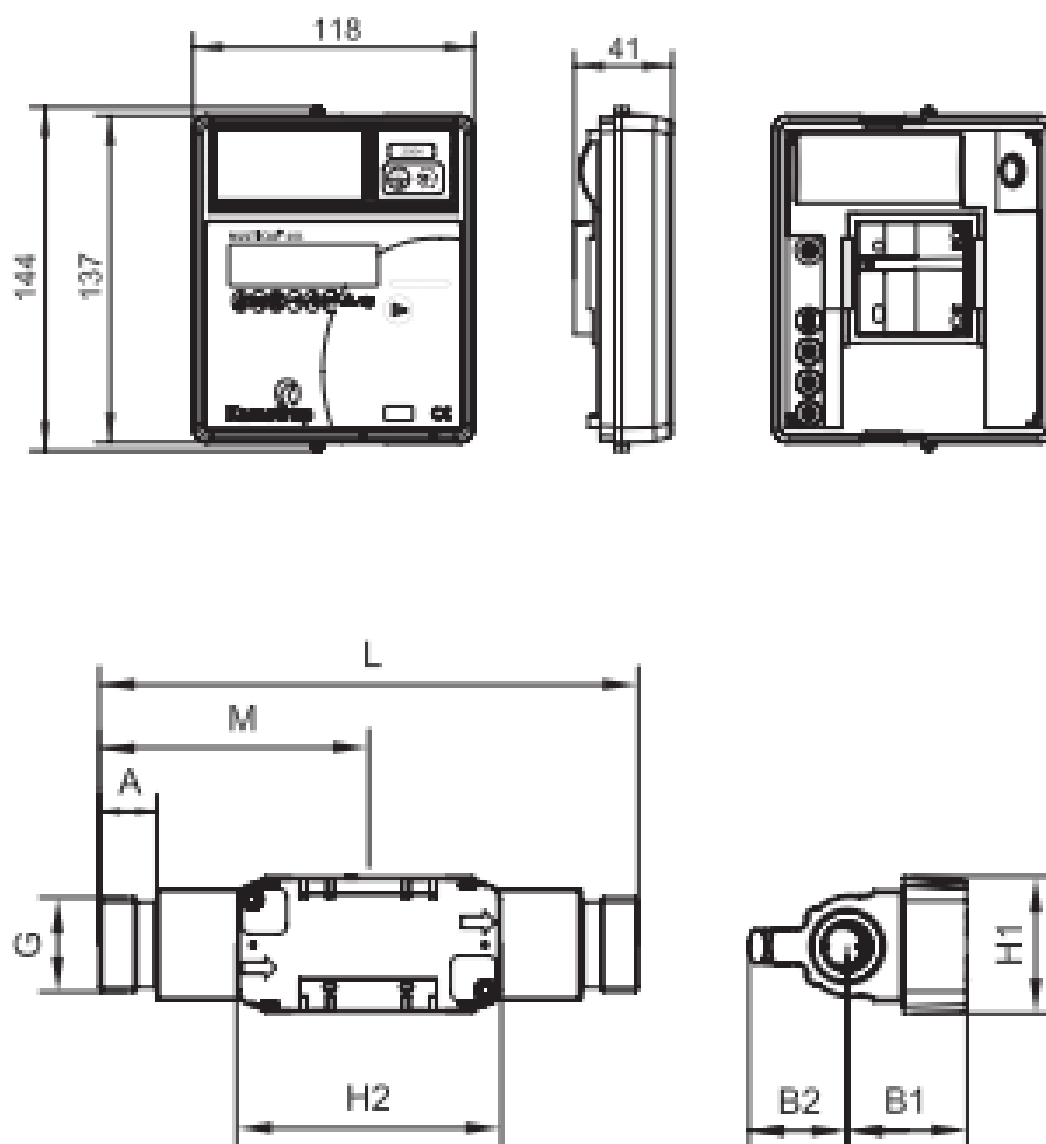
| Electrical data      |                                                               | Mechanical data                  |                                                                                                                              |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Supply voltage       | 3.6 V ±5%                                                     | Metrology class                  | 2 or 3                                                                                                                       |
| Battery              | 3.65 VDC, D-cell lithium                                      | Environment class                | Meets EN 1434 class A                                                                                                        |
| Replacement interval |                                                               | Ambient temperature              | 0...55°C (indoor)                                                                                                            |
| Mounted on the wall  | 12 years @ t <sub>BAT</sub> < 30°C                            | Protection class                 | IP54                                                                                                                         |
| Mounted on flow part | 10 years @ t <sub>BAT</sub> < 40°C                            | Medium temperature               | 15...130°C                                                                                                                   |
| Fast mode            | 4 years @ t <sub>BAT</sub> < 30°C                             |                                  | At medium temperatures over 90°C in the flow part, we recommend using flange meters and mounting the calculator on the wall. |
|                      | 3 years @ t <sub>BAT</sub> < 40°C                             |                                  |                                                                                                                              |
| Mains supply         | 230 VAC +15/-30%, 50 Hz<br>24 VAC ±50%                        | Storage temperature, empty meter | +25...60°C                                                                                                                   |
| Power absorption     | <1W                                                           | Pressure step                    |                                                                                                                              |
| Backup mains supply  | Integral SuperCap eliminates operation stop due to power cuts | with thread                      | PN16                                                                                                                         |
| EMC data             | Meets EN 1434 class A                                         | with flanges                     | PN25                                                                                                                         |
|                      |                                                               | Flow sensor cable                | 1.4 m                                                                                                                        |

#### Accuracy

| Sub-units of the heat meter | MPE according to EN 1434-1 | MULTICAL® 401, typical accuracy |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Flow sensor                 | ±(2 + 0.02 qp/q)%          | ±(1 + 0.01 qp/q)%               |
| Calculator                  | ±(0.5 + ΔΘ min/ΔΘ)%        | ±(0.15 + 2/ΔΘ)%                 |
| Sensor set                  | ±(0.5 + 3 ΔΘ min/ΔΘ)%      | ±(0.4 + 4/ΔΘ)%                  |

MULTICAL® 401 q<sub>p</sub> 1,5 m³/h @ ΔΘ 30K

## Dimensional drawings



| Thread       | L   | M   | H2   | A    | B1 | B2 | H1   | Approx. weight [kg] |
|--------------|-----|-----|------|------|----|----|------|---------------------|
| G 1/4        | 110 | L/2 | 92.5 | 10.5 | 42 | 35 | 47.5 | 1.4                 |
| G 1 (qp 1.5) | 130 | L/2 | 92.5 | 20.5 | 42 | 35 | 47.5 | 1.5                 |
| G 1 (qp 3.0) | 130 | L/2 | 92.5 | 20.5 | 42 | 35 | 47.5 | 1.4                 |
| G 1/2        | 165 | L/2 | 92.5 | 20.5 | 42 | 35 | 47.5 | 1.8                 |
| G 1 (qp 1.5) | 190 | L/2 | 92.5 | 20.5 | 42 | 35 | 47.5 | 2.0                 |
| G 1 (qp 3.0) | 190 | L/2 | 92.5 | 20.5 | 42 | 35 | 47.5 | 1.9                 |

Weight includes a 3 m sensor set, but is excluding packing.