

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Факультет математики та інформатики  
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

## ВИПУСКНА ДИПЛОМНА РОБОТА

Тема: «Інформаційно - вимірювальна система рівноважної вологості  
навколишнього середовища»

Виконав: студент IV курсу гр. ІСТ-41  
ОР бакалавр  
спеціальності 126 “Інформаційні системи та  
технології”  
Фединяк Віталій Володимирович

Науковий керівник: к.т.н., доц. Превисокова  
Наталія Володимирівна

Рецензент:

м. Івано-Франківськ – 2024



## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із Загальний обсяг роботи становить стор., на яких представлено таблиці, малюнки і додатків.

Робота присвячена аналізу предметної області та розробці автоматизованої системи для вимірювання рівноважної вологості навколишнього середовища.

У першому розділі здійснено аналіз існуючих рішень. У другому розділі досліджуються методи та інструменти для вимірювання рівноважної вологості повітря. У третьому розділі здійснюється реалізація системи.

Ключові слова: вологість, температура, HMI, SCADA, Weintec, Codesys, EasyBuilder Pro, дистанційний моніторинг, архівування даних, модулі збору даних.

## ABSTRACT

This diploma thesis is dedicated to the development and implementation of an automated information-measuring system for monitoring the equilibrium humidity of the environment. It spans \_\_\_\_ pages and includes a table of contents, introduction, three chapters, conclusions, several figures, tables, and appendices.

The work provides an overview of existing solutions in the field of environmental monitoring and humidity measurement, identifying their strengths and limitations. It explores appropriate hardware and software tools, such as digital humidity and temperature sensors, data acquisition modules, and HMI panels. A software solution was developed using Codesys and EasyBuilder Pro, ensuring reliable data collection, visualization, remote access, and archiving capabilities.

Keywords: humidity, temperature, HMI, SCADA, Weintec, Codesys, EasyBuilder Pro, remote monitoring, data archiving, data acquisition modules.

## ЗМІСТ

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                               | <b>7</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>                  | <b>10</b> |
| 1.1 Визначення рівноважної вологості та її фізичне значення.....                                | 10        |
| 1.2 Важливість контролю вологості в різних галузях промисловості та домашніх господарствах..... | 12        |
| 1.3. Аналіз існуючих засобів контролю рівноважної вологості.....                                | 14        |
| 1.4. Визначення потреб та особливостей системи моніторингу .....                                | 20        |
| 1.5. Опис принципу роботи пропонованої системи.....                                             | 21        |
| 1.7 Висновки до розділу .....                                                                   | 24        |
| <b>РОЗДІЛ 2.ВИКОРИСТАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ</b>                                  | <b>25</b> |
| 2.1 Прилади збору та передачі даних.....                                                        | 25        |
| 2.1.1 Прилад БПВТ-423 у складі автоматизованої системи.....                                     | 25        |
| 2.1.2 Модуль збору даних MAS-100 .....                                                          | 27        |
| 2.2.1 Давач вологості та температури DHT-AM2302 .....                                           | 29        |
| 2.3 Панель оператора та середовище програмування .....                                          | 31        |
| 2.3.1 Панель оператора Weintec HMI .....                                                        | 31        |
| 2.4 Програмне забезпечення .....                                                                | 32        |
| 2.4.1 SCADA EasyBuilder Pro .....                                                               | 32        |
| 2.5 Середовище візуалізації та архівації.....                                                   | 37        |
| 3.1 Загальна структура програми.....                                                            | 38        |
| 3.2 Архітектура програмного забезпечення .....                                                  | 39        |
| 3.2.1 Оголошення змінних та базова обробка вхідних даних .....                                  | 41        |
| 3.2.2 Перетворення температури з Цельсія у Фаренгейти .....                                     | 41        |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3 Реалізація алгоритму розрахунку рівноважної вологості .....      | 42        |
| 3.2.4 Налаштування пристрою та створення з'єднання з пристроєм..       | 44        |
| 3.3 Візуалізація даних у SCADA EasyBuilder .....                       | 45        |
| 3.3.1 Інтерфейс SCADA-системи: приклади реалізації кнопок та графіків. | 49        |
| 3.4 Логіка збереження та архівування даних .....                       | 52        |
| 3.5 Реалізація дистанційного доступу.....                              | 54        |
| 3.6 Структура щитів.....                                               | 57        |
| 3.6.1 Структура локального щита приміщення .....                       | 57        |
| 3.6.2 Структура центрального щита з панеллю оператора.....             | 60        |
| 3.8 Висновки до розділу .....                                          | 64        |
| <b>ВИСНОВОК .....</b>                                                  | <b>66</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>                                | <b>68</b> |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

HMI Human-Machine Interface — інтерфейс «людина-машина»

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition — диспетчерське управління і збір даних

PLC Programmable Logic Controller — програмований логічний контролер

## ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промислової автоматизації особливого значення набуває точний та оперативний моніторинг параметрів середовища, зокрема показників рівноважної вологості. На багатьох виробництвах досі експлуатуються застарілі системи контролю, які не відповідають сучасним вимогам точності та надійності, що призводить до помилок у вимірюваннях, зростання витрат на зберігання сировини та загального зниження ефективності виробничих процесів [2; 3]. Водночас гостро відчувається нестача кваліфікованих фахівців, здатних впроваджувати сучасні системи моніторингу, що значно ускладнює модернізацію існуючих технологій [2].

Однак розвиток цифрових вимірювальних технологій, зокрема SCADA-систем і промислових контролерів, відкриває нові можливості для автоматизації технологічних процесів, зменшуючи залежність від людського фактора та підвищуючи точність збору й обробки даних [4, 6]. Це дозволяє створювати більш гнучкі, адаптивні та економічно ефективні рішення, що мають критичне значення для стабільності та якості виробничих операцій.

Вибір теми дослідження обумовлений потребою у впровадженні інноваційних рішень в сфері промислового контролю, особливо в регіонах, де відсутні сучасні системи моніторингу. Розробка ефективної інформаційно-вимірювальної системи дозволить не лише підвищити точність визначення рівноважної вологості, але й зменшити ризики втрат під час зберігання матеріалів та забезпечити стабільність технологічних процесів.

Такі системи є особливо актуальними для великих підприємств із великим обсягом продукції, де надійний контроль середовища прямо впливає на якість, безпеку та економічну ефективність виробництва.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу рівноважної вологості на підприємствах.

Предмет дослідження – інформаційно-вимірювальна система для ефективного контролю рівноважної вологості.

Мета дослідження – розробка та вдосконалення інформаційно-вимірювальної системи для ефективного моніторингу рівноважної вологості на підприємствах з метою підвищення точності контролю, автоматизації процесів та зниження впливу людського фактора.

Завдання дослідження:

1. Аналіз наявних на ринку методів моніторингу рівноважної вологості, визначення їхніх основних недоліків.
2. Підбір обладнання та здійснення його ефективної комунікації між собою.
3. Розробка інформаційно-вимірювальної системи для автоматизованого контролю рівноважної вологості.
4. Розробка програмного забезпечення для обраного обладнання, логіка обрахунки та візуалізація.
5. Організація шитової структури системи, та її демонстрація.

Стан наукової розробки - у сучасних наукових працях, присвячених контролю вологості, спостерігається тенденція до вдосконалення як самих засобів вимірювання, так і способів автоматизованого збору даних. Протягом 2023 року на ринку з'явилися нові типи ємнісних датчиків, призначених для вимірювання вологи у будівельних матеріалах. Також було розроблено сенсори з екологічно безпечних матеріалів і нанорозмірні давачі, що дозволяють досягати більшої точності у фіксації параметрів мікроклімату.

Було розроблено системи онлайн-моніторингу на основі алгоритму Калмана та портативні датчики для вимірювання вологості ґрунту. Це свідчить про високий рівень інтересу до вдосконалення інформаційно-вимірювальних систем та актуальність подальших досліджень у цій галузі.

Інженерна реалізація - у дипломній роботі запропоновано новий підхід до побудови інформаційно-вимірювальної системи контролю рівноважної вологості, який передбачає інтеграцію модулів збору даних MAS-100 з системою візуалізації



SCADA EasyBuilder Pro на базі HMI-панелей Weintec. Новизна полягає у застосуванні модулів MAS-100 для збору показників температури та вологості з приладів БПВТ-423 і передачі цих даних за допомогою інтерфейсу RS-485, що дозволяє досягти високої точності та надійності вимірювання.

Уперше реалізовано поєднання SCADA-системи з функціоналом архівації вимірювань у прив'язці до часу, що забезпечує можливість детального аналізу та контролю параметрів у реальному часі. Розроблено автономні вимірювальні щити з вбудованими блоками живлення, захисту та комунікації, які можуть бути встановлені у різних зонах контролю мікроклімату. Окрім цього, впроваджено можливість дистанційного доступу до системи з використанням сервісів EasyWeb 2.0 та cMT Viewer, що розширює функціональні можливості моніторингу та обслуговування обладнання.

Розроблена система має модульну структуру, високу точність, зручність у використанні та можливість масштабування для промислових об'єктів. Отримані результати можуть бути використані у подальших дослідженнях і практичних впровадженнях у сфері автоматизації технологічних процесів і моніторингу кліматичних параметрів у різних середовищах.

Методи дослідження - аналіз літературних джерел – вивчення наукових публікацій, нормативної документації та технічної літератури з питань вимірювання рівноважної вологості.

Математичне моделювання – побудова математичних моделей для визначення параметрів вимірювальної системи.

Експериментальні дослідження – тестування інформаційно-вимірювальної системи та аналіз отриманих даних.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Визначення рівноважної вологості та її фізичне значення.

Рівноважна вологість - це фізичний стан, за якого кількість води, що поглинається матеріалом із навколишнього середовища, дорівнює кількості води, яку він одночасно виділяє в це середовище. Інакше кажучи, йдеться про стан динамічної рівноваги між матеріалом і повітряним середовищем за певних умов температури та вологості [1].

З фізичної точки зору, рівноважна вологість характеризує здатність матеріалу до поглинання або віддавання води залежно від параметрів зовнішнього середовища. Особливо виражено це спостерігається у гігроскопічних матеріалів — деревини, паперу, текстилю тощо, які активно реагують на зміну вологості повітря, прагнучи досягти стану рівноваги [2].

На рівноважну вологість впливають такі основні фактори:

- Температура. Зі збільшенням температури зростає здатність повітря утримувати більшу кількість водяної пари, що безпосередньо впливає на зміну рівноважної вологості матеріалів [3].
- Відносна вологість повітря. Чим вища відносна вологість, тим більший вміст

У технологічних процесах рівноважна вологість є одним із ключових параметрів, що визначають стабільність і якість продукції. Будь-які відхилення від оптимального рівня можуть призвести до погіршення властивостей матеріалу: розтріскування деревини, втрата міцності чи еластичності текстилю, псування харчової продукції [2,4].

Підтримання рівноважної вологості в заданих межах є критично важливим для забезпечення довговічності, функціональності та безпечної експлуатації матеріалів і виробів у різних галузях промисловості.

Вологість повітря - це фізична властивість, яка може описувати кількість водяної пари, яка знаходиться в атмосфері. Його значення визначається взаємодією деяких параметрів, наприклад таких як : температура, тиск , вміст вологи [2].

Температура є одним із ключових факторів, що впливають на вологісні характеристики повітря та матеріалів у промислових умовах. Від її значення залежить не лише здатність повітря утримувати водяну пару, але й рівновага між матеріалом та навколишнім середовищем [11].

Вплив температури - з підвищенням температури повітря зростає його здатність утримувати більший об'єм водяної пари. Це явище пояснюється зростанням кінетичної енергії молекул, що дозволяє парі залишатися в газоподібному стані навіть при високій концентрації води в повітрі [2]. При цьому абсолютна вологість (маса водяної пари в 1 м<sup>3</sup> повітря) може залишатися незмінною, однак відносна вологість буде зменшуватися.

Точка роси - це температура, за якої водяна пара, присутня в повітрі, досягає стану насичення й починає конденсуватися у вигляді крапель. Тобто, коли температура повітря знижується до точки роси, відносна вологість досягає 100 %, і виникає конденсація [3]. Це явище важливе в контексті зберігання матеріалів, які чутливі до надлишкової вологості.

Визначення абсолютної та відносної вологості.

- Абсолютна вологість — це кількість водяної пари, що міститься в одиниці об'єму повітря (г/м<sup>3</sup>). Вона безпосередньо вказує на фактичний вміст води у повітряному середовищі [2].

- Відносна вологість — це відсоткове співвідношення між фактичним вмістом водяної пари в повітрі та максимально можливою кількістю, яку повітря здатне утримати за певної температури. Якщо стала абсолютна вологість підвищується це призводить до зниження відносної вологості, бо зростає потенціал повітря до насичення вологою.

Дефіцит насичення — це різниця між максимально можливою кількістю водяної пари при певній температурі та її фактичною кількістю. Він показує,

наскільки інтенсивно повітря здатне випаровувати вологу з поверхні матеріалу [11].

При стабільних умовах температура значно впливає на рівновагу між матеріалом та повітрям. Якщо температура змінюється, змінюється і тиск водяної пари, що впливає на процеси поглинання або віддачі вологи матеріалом. Таким чином, підтримання постійної температури дозволяє досягти та утримувати стан рівноважної вологості, що є критичним для зберігання, обробки та експлуатації вологочутливих матеріалів [1,3].

## **1.2 Важливість контролю вологості в різних галузях промисловості та домашніх господарствах**

Контроль вологості є критично важливим аспектом у багатьох сферах людської діяльності, оскільки він безпосередньо впливає на якість продукції, стабільність технологічних процесів, безпеку експлуатації обладнання та комфорт у побуті. У кожній галузі існують специфічні вимоги до рівня вологості, які визначають ефективність виробництва та збереження продукції [2], [3].

У харчовій промисловості контроль вологості є необхідним для забезпечення якості та безпечності продуктів. Надмірна вологість може сприяти росту цвілі, бактерій і гнильних мікроорганізмів, тоді як занадто сухе повітря може призвести до втрати маси та зміни текстури харчових продуктів [3], [5]. Контроль вологості відіграє ключову роль на етапах сушіння, ферментації, пакування та зберігання, оскільки саме від цього показника значною мірою залежить тривалість зберігання продукції, а також збереження її органолептичних властивостей.

У сільськогосподарській сфері рівень вологості є ключовим фактором під час зберігання зерен, фруктів, овочів та насіння. Підвищена вологість призводить до активного розвитку мікроорганізмів, що може спричинити псування продукції. З іншого боку, занадто низька вологість викликає висушування і втрату маси. Крім того, у тепличному господарстві контроль вологості забезпечує оптимальні умови для росту рослин [2], [6].

У текстильній промисловості вологість впливає на властивості волокон. При недостатній вологості тканини стають ламкими, знижується їхня гнучкість, а також виникають статичні заряди, що ускладнює обробку [3]. Адекватне зволоження забезпечує рівномірне фарбування та обробку тканин, підвищує якість готової продукції.

Деревина є гігроскопічним матеріалом, тому зміни вологості можуть призвести до її деформації, розтріскування або розбухання. Під час виготовлення меблів або елементів будівництва (наприклад, вікон, дверей, підлог) важливо дотримуватися рівноважної вологості деревини [2], [4]. У будівництві контроль вологості також критичний під час заливання бетону, оздоблювальних робіт і сушіння оздоблювальних матеріалів.

Висока вологість у середовищі експлуатації електроніки може призвести до корозії контактів, коротких замикань і виходу обладнання з ладу. Натомість занадто сухе повітря створює ризик статичних розрядів, які є небезпечними для мікросхем і чутливих елементів [3], [11].

У побуті оптимальний рівень вологості повітря становить 40–60 %. Надто сухе повітря викликає подразнення слизових оболонок, шкіри, проблеми з диханням, особливо у дітей. Висока вологість сприяє розвитку цвілі, грибків, а також негативно впливає на стан меблів, паркету й побутової техніки [5].

Виробництво фармацевтичних засобів вимагає суворого контролю вологості на всіх етапах: від синтезу та сушіння до зберігання готових препаратів. Надлишкова волога може змінити хімічний склад лікарських засобів або зменшити їх ефективність [6].

Під час транспортування виробів, особливо чутливих до умов довкілля (електроніка, фармацевтика, текстиль), контроль вологості в контейнерах або складах є обов'язковим для запобігання пошкодженням і псуванню продукції. У морському транспорті волога спричиняє корозію палуб, двигунів і систем керування [4], [8].

Зберігання культурної спадщини вимагає дотримання суворих параметрів вологості. Сухе повітря викликає розтріскування паперу, полотен, деревини, тоді як

якщо вологості забагато то вона може сприяти розвитку плісняви, деформації та втраті кольору. [5], [6].

### 1.3. Аналіз існуючих засобів контролю рівноважної вологості

Рівноважна вологість є критично важливим параметром при зберіганні сировини, особливо в аграрній, харчовій та деревообробній промисловості. Вимірювання цього показника дозволяє контролювати якість матеріалів, запобігати псуванню продукції та зменшувати втрати [1].

Сьогодні на ринку присутні різноманітні пристрої для вимірювання вологості. На таблиці 1.1 зображено порівняння засобів автоматизації.

Таблиця 1.1 - порівняння аналогів систем вимірювання рівноважної вологості

| Назва                | Тип                     | Принцип роботи              | Інтерфейс   | Автоматизація | Вартість  | Переваги                         | Недоліки                            |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|-----------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Wagner Orion 950     | Портативний вологомір   | Безконтактне вимірювання    | Немає       | Ні            | \$350–400 | Простота використання            | Лише ручний режим                   |
| ALMEMO FHAD 46-C2    | Цифровий сенсор         | Електронне вимірювання RH+T | RS-232, USB | Часткова      | \$500–700 | Висока точність                  | Висока ціна                         |
| Lignomat EMC Wafers  | Пасивна система         | Плівковий метод             | Немає       | Ні            | \$150–250 | Довготривала дія                 | Без цифрової інтеграції             |
| Precisa XM 60        | Лабораторний аналізатор | Сушка втрата маси           | USB         | Ні            | \$1000+   | Висока точність                  | Не підходить для промислових систем |
| Розроблювана система | SCADA-система           | Сенсори обробка SCADA       | RS-485      | Так           | ~\$1500+  | Інтеграція, візуалізація, аналіз | Потрібна початкова конфігурація     |

Проаналізуємо детальніше окремі варіанти та системи для вимірювання рівноважної вологості:

Тип: Портативний електронний вологомір Orion 950

Призначення: Вологомір призначений для оперативного вимірювання вологості деревини та інших матеріалів без порушення їхньої структури. Основна сфера застосування – будівництво, деревообробна та столярна промисловість, контроль умов зберігання [3], [8].

Принцип роботи: Безконтактна технологія Wagner IntelliSense – полягає у створенні електромагнітного поля, яке проникає в матеріал, визначаючи рівень вологи [3], [8].

Особливості:

- Вбудований екран для відображення значень.
- Автокалібрування.
- Працює на батарейках.

Переваги:

- Мобільність.
- Простота у використанні.

Недоліки:

- Не підтримує постійного моніторингу.
- Не підходить для автоматизації.

Отже, вологомір Orion 950 , (Рисунок 1.1) є ефективним засобом для разових вимірювань вологості матеріалів, проте не може бути використаний у складі безперервних інформаційно-вимірювальних систем на виробництві, що є суттєвим обмеженням для автоматизованих процесів [3].



Рисунок 1.1 – зовнішній вигляд Orion 950

Тип: Цифровий сенсор температури та відносної вологості ALMEMO FHAD 46-C2

Призначення: Точне вимірювання параметрів повітря у лабораторних або промислових умовах.

Принцип роботи: ALMEMO FHAD 46-C2 побудований на основі високоточного ємнісного сенсора для вимірювання вологості, що забезпечує стабільну роботу при змінних умовах навколишнього середовища. Вимірювання температури здійснюється за допомогою прецизійного терморезистора типу Pt100 або його аналогів, що дозволяє досягти високої точності в широкому діапазоні температур [3], [4], [5].

Особливості:

- Інтерфейс ALMEMO (USB, RS-232).
- Робота через ALMEMO-адаптер або комп'ютер.
- Підтримка довготривалих вимірювань.

Переваги:

- Висока точність.
- Широкий діапазон вимірювання.
- Може інтегруватися в SCADA.

Недоліки:

- Висока вартість.
- Не є повноцінною системою автоматизації без додаткових модулів.



Сенсор ALMEMO FHAD 46-C2, (Рисунок 1.2) є надійним і точним пристроєм для моніторингу параметрів мікроклімату. Завдяки можливості довготривалого вимірювання та інтеграції в SCADA-системи, він може застосовуватися у складі інформаційно-вимірювальних систем контролю вологості на промислових об'єктах. Однак, для повноцінного автоматизованого функціонування потребує використання додаткового обладнання [3].



Рисунок 1.2 – зовнішній вигляд ALMEMO FHAD 46-C2

Тип: Пасивна система контролю рівноважної вологості Lignomat EMC Wafers

Призначення: даний засіб призначений для моніторингу умов навколишнього середовища з метою визначення досягнення матеріалом стану рівноважної вологості. Застосовується переважно під час зберігання деревини, паперу, текстилю або аналогічних гігроскопічних матеріалів [3], [9].

Принцип роботи: Основу системи складають сорбційні пластини EMC Wafers, які поступово вбирають або віддають вологу, поки не досягнуть рівноважного стану з навколишнім середовищем. Визначення вологості може здійснюватися зважуванням пластин або за допомогою кольорових індикаторів, вбудованих у пристрій. Такий підхід дозволяє визначити вологість повітря, яка відповідає рівноважному стану для матеріалів, що зберігаються [9].

Особливості:

- Без джерела живлення.
- Призначені для тривалого зберігання/моніторингу.

Переваги:

- Дешево.
- Пасивна дія — не потребує електроніки.

Недоліки:

- Відсутність цифрової обробки.
- Не дає миттєвого результату.

Система Lignomat EMC Wafers є доцільним варіантом для тривалого моніторингу рівноважної вологості в умовах зберігання. Її переваги – простота, автономність і низька вартість – роблять її придатною для допоміжного контролю, однак у контексті автоматизованого виробництва вона має обмежене застосування [3].

Зовнішній вигляд пасивної системи Lignomat EMC Wafers представлено на рисунку 1.3 , що дозволяє візуально ознайомитися з конструкцією пластин і методами їх використання (рисунок вставляється в текст нижче або збоку відповідно до макета дипломної роботи) [3].



Рисунок 1.3 – зовнішній вигляд Lignomat EMC Wafers

Тип: Лабораторний аналізатор вологості Precisa XM 60

Призначення: Аналізатор призначений для високоточних лабораторних вимірювань вологості у різноманітних зразках твердих, порошкоподібних або пастоподібних матеріалів. Особливо широко використовується в харчовій, фармацевтичній, хімічній промисловості та наукових лабораторіях [3], [8].

Принцип роботи: Метод аналізу базується на гравіметричному сушінні зразка. Пристрій автоматично зважує зразок, потім нагріває його до заданої температури. У процесі нагріву відбувається випаровування вологи, і подальше

зменшення маси інтерпретується як вміст вологи у зразку. Результати подаються у вигляді абсолютної або відносної вологості [3].

Особливості:

- Автоматичний процес.
- Вбудована логіка, екран, інтерфейс для ПК.

Переваги:

- Висока точність і наукова достовірність.
- Підходить для калібрування інших пристроїв.

Недоліки:

- Повільність.
- Не придатна для автоматизованих ліній.
- Висока ціна.

Отже Precisa XM 60 (Рисунок 1.4) – це високоточний аналізатор для лабораторного контролю вологості, який забезпечує достовірні результати та може використовуватися для валідації або калібрування польових вимірювальних приладів. Водночас через повільність та ізольованість процесу аналізу його використання в автоматизованих виробничих системах є обмеженим[8].



Рисунок 1.4 – зовнішній вигляд Precisa XM 60

- Розроблювана система (БПВТ-423 + MAS-100 + Weintec SCADA)

Тип: Інформаційно-вимірювальна система з автоматизованою візуалізацією

Призначення: Безперервний контроль та аналіз рівноважної вологості сировини в умовах підприємства.

Принцип роботи:

- БПВТ-423 приймає сигнали від датчиків вологості та температури (наприклад, сенсори RH та T).
- MAS-100 – перетворює дані у цифрову форму та передає через RS-485.
- Weintec – операторська панель, яка в SCADA-середовищі EasyBuilder виконує візуалізацію, логіку, аналіз, розрахунки та управління.

Переваги:

- Повна автоматизація.
- Гнучкість налаштувань.
- Можливість масштабування.
- Інтеграція з іншими системами.

Недоліки:

- Потребує початкової розробки логіки SCADA.
- Потребує налаштування мережі RS-485.

#### **1.4. Визначення потреб та особливостей системи моніторингу**

У промислових підприємствах, що займаються зберіганням, сушінням або обробкою сировини (зокрема, деревини, зерна, паперу тощо), дуже важливо контролювати рівноважну вологість (ЕМС) — показник, що визначає стан рівноваги між матеріалом і навколишнім середовищем [1]. Невідповідність вологості технологічним нормам призводить до:

- Псування сировини (цвіль, розтріскування, усадка тощо),
- Втрати якості продукції,
- Надмірних витрат на енергію при сушінні,
- Порушення стандартів зберігання.

У сучасних умовах актуальною є потреба в автоматизованому, точному та безперервному моніторингу, що не залежить від людського фактора.

Для ефективної реалізації контролю рівноважної вологості система повинна відповідати таким вимогам[1]:

- Безперервне вимірювання вологості та температури повітря (щоб обчислити ЕМС).
- Можливість цифрової обробки даних і побудови трендів, графіків, гістограм.
- Передача даних у режимі реального часу до системи візуалізації.
- Зручність інтерфейсу оператора, можливість керування та аналізу історії вимірювань.
- Інтеграція у виробниче середовище (підтримка промислових інтерфейсів, як-от RS-485).
- Можливість масштабування та адаптації до різних зон вимірювання.

На відміну від існуючих ручних або лабораторних методів вимірювання, розроблювана система базується на інформаційно-вимірювальному підході з використанням SCADA, що дозволяє досягти:

- Автоматичного збору даних із приладів БПВТ-423 через модулі MAS-100,
- Централізованого управління на базі панелей Weintec,
- Візуального контролю процесу в SCADA-середовищі EasyBuilder,
- Гнучкого налаштування логіки (тривоги, порівняння, сортування тощо).

### **1.5. Опис принципу роботи пропонованої системи**

Розроблена система призначена для автоматизованого вимірювання, моніторингу та аналізу рівноважної вологості повітря — одного з ключових показників під час зберігання сировини у деревообробній і аграрній промисловості [1].

Основними функціональними модулями системи є:

- Давачі температури та вологості, зокрема DHT22 (AM2302), підключені до вимірювального пристрою БПВТ-423 виробництва ТОВ «Мікрол» [2; 3; 10];
- Модуль збору даних MAS-100, який приймає цифрові сигнали від БПВТ-423 по інтерфейсу RS-485 та передає їх у зручному форматі для подальшої обробки [4,11];
- Операторська панель Weintek з інсталюваним середовищем SCADA EasyBuilder Pro, де реалізовано інтерфейс користувача, функції аналізу, візуалізації та архівації даних [5-7].

Принцип роботи системи:

1. Збір даних - підключені датчики безперервно вимірюють температуру та відносну вологість повітря. Отримані значення передаються до приладу БПВТ-423, який формує цифровий вихідний сигнал [2].
2. Передача інформації - модуль MAS-100 приймає дані через RS-485 та передає їх до панелі оператора по протоколу Modbus RTU або ASCII, що забезпечує високу надійність та захищеність від електромагнітних завад [4].
3. Обробка та візуалізація - у середовищі EasyBuilder Pro реалізовано:
  - a. автоматичний розрахунок рівноважної вологості (ЕМС) на основі вхідних параметрів [1,5];
  - b. побудову графіків і трендів;
  - c. налаштування порогових значень та сигналізацій (тривог);
  - d. архівацію історичних даних [5,8].

#### 4. Керування та контроль

Оператор має змогу переглядати актуальні та архівні дані, змінювати параметри, а також здійснювати аналіз зібраної інформації через панель Weintek [5,6].

Загальна архітектура інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості представлена на рисунку 1.5.

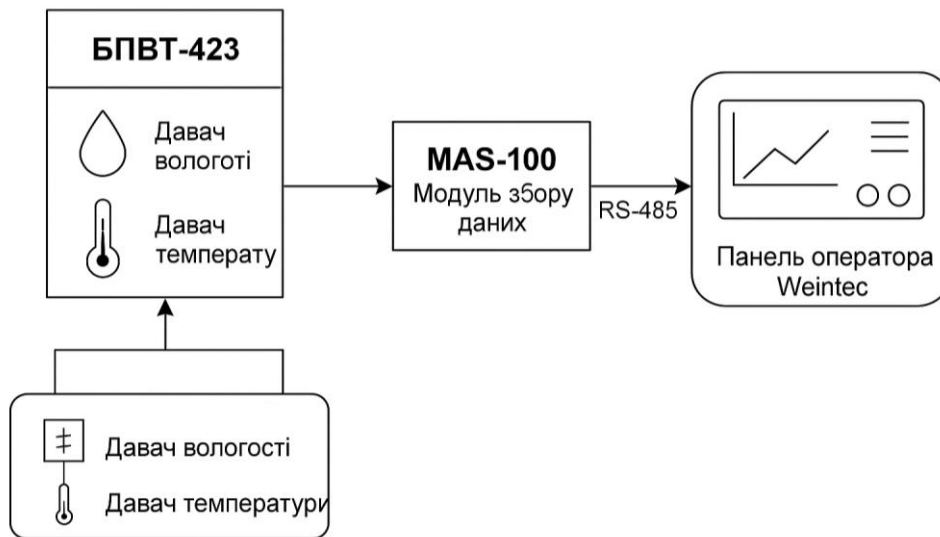


Рисунок 1.5 – Пропонована система вимірювання рівноважної вологості

### 1.6. Постановка задачі дослідження

На основі аналізу існуючих аналогів та дослідження сучасного стану систем моніторингу параметрів навколишнього середовища, було визначено необхідність розробки сучасної інформаційно-вимірювальної системи для контролю рівноважної вологості. Враховуючи технологічні можливості сучасних засобів автоматизації, метою даної роботи є створення ефективної та надійної системи збору, передачі, аналізу та візуалізації даних про рівноважну вологість на основі SCADA-рішення.

Основна мета дослідження:

Розробка та впровадження автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості з використанням промислових контролерів, панелей оператора та SCADA-системи EasyBuilder.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих систем моніторингу параметрів вологи та температури.
2. Обґрунтувати вибір апаратної платформи: давачів, приладів збору даних та панелі оператора.

3. Розробити схему функціонування та структуру побудови системи.
4. Реалізувати алгоритми збору, обробки та візуалізації даних у SCADA-системі.
5. Забезпечити можливість віддаленого доступу до даних з використанням сучасних технологій (наприклад, CMT Viewer, EasyWeb).
6. Провести тестування та оцінку ефективності функціонування системи.
7. Оцінити можливості масштабування та перспективи впровадження системи на промислових підприємствах.

### **1.7 Висновки до розділу**

У першому розділі було проведено аналіз сучасного стану інформаційно-вимірювальних систем для контролю рівноважної вологості. Здійснено огляд існуючих аналогів та технічних рішень, які застосовуються на промислових підприємствах, виявлено їхні переваги та недоліки. Особливу увагу приділено аналізу доступних технічних засобів для реалізації системи, таких як давачі вологості й температури, модулі збору даних та панелі оператора.

Було визначено потреби у створенні сучасної, гнучкої та зручної в обслуговуванні системи, яка дозволяє в режимі реального часу відслідковувати показники рівноважної вологості, зберігати історію даних та аналізувати тенденції. Описано принцип роботи пропонованої системи, що базується на інтеграції апаратного забезпечення (БПВТ-423, MAS-100, Weintec) із програмним середовищем SCADA EasyBuilder.

Постановлено мету дослідження — створення ефективної інформаційно-вимірювальної системи, а також сформульовано перелік конкретних завдань, які потрібно вирішити у подальших розділах роботи.

Отримані результати та висновки першого розділу створюють ґрунтовну теоретичну й практичну основу для розробки та реалізації системи в наступних частинах дипломного проєкту.



## РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Прилади збору та передачі даних

#### 2.1.1 Прилад БПВТ-423 у складі автоматизованої системи

Вимірювальний прилад БПВТ-423, розроблений ТОВ «Мікрол», виконує функції збору, попередньої обробки та передачі сигналів від датчиків температури та вологості, як-от DHT-AM2302, що активно використовується в промислових системах [9; 11]. У цій системі пристрій виступає проміжною ланкою між первинними перетворювачами та SCADA-панеллю, забезпечуючи точність вимірювань і надійну передачу даних за допомогою інтерфейсу RS-485 [9].

БПВТ-423 приймає як аналогові, так і цифрові сигнали. В залежності від типу датчика, дані можуть бути оброблені вбудованим аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) або через цифровий вхід. Після обробки дані формуються у вигляді Modbus RTU-кадрів, що зручно інтегрується в SCADA-систему [1,3,11].

Пристрій підтримує опитування кількох каналів, формуючи повний масив даних, який передається на модуль MAS-100 або безпосередньо на операторську панель Weintek, що працює в середовищі EasyBuilder Pro [5,6,10].

Фізичні характеристики [9]:

- Матеріал корпусу: метал або пластик
- Розміри: 145 x 90 x 40 мм
- Ступінь захисту: IP20
- Робоча температура: від -10°C до +50°C

Електротехнічні параметри [9]:

- Напруга живлення: 12/24 В постійного струму
- Інтерфейс передачі: RS-485 (Modbus RTU)
- Споживання: до 3 Вт
- Захист від перенапруги та переполюсовки

Монтаж та використання - БПВТ-423 встановлюється в електротехнічних шафах за допомогою DIN-рейки або в монтажних коробках. Підключення сенсорів відбувається через стандартні гвинтові клеми, що забезпечують швидкий та надійний монтаж [9].

Похибка вимірювання становить не більше  $\pm 1\%$ . Кожен вхідний канал може бути відкалібрований вручну або з використанням відповідного програмного забезпечення. Це дозволяє забезпечити високу точність та стабільність вимірювань [1].

До комплекту постачання входять технічний паспорт, схеми підключення, а також сертифікати відповідності національним стандартам, зокрема УкрСЕПРО та ISO [9].

Ілюстрація зовнішнього вигляду приладу представлена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – зовнішній вигляд БПВТ - 423 [9]

### 2.1.2 Модуль збору даних MAS-100

MAS-100 — це промисловий модуль збору, буферизації та передачі цифрових сигналів, призначений для організації надійної комунікації між вимірювальними приладами, такими як БПВТ-423, та панелями оператора або контролерами. Його застосування дозволяє створити ефективну архітектуру автоматизованої системи моніторингу в аграрній, деревообробній та інших галузях промисловості [2,3,10].

Модуль приймає дані у форматі Modbus RTU через інтерфейс RS-485, після чого здійснює буферизацію і передає інформацію у SCADA-систему, зокрема EasyBuilder, або безпосередньо на панель Weintek. Пристрій підтримує багатоканальний режим, що дозволяє підключення до 32 вузлів на одну шину [10].

MAS-100 виступає ключовою ланкою між польовими модулями та візуалізаційним середовищем. Він зчитує та аналізує Modbus-пакети, передає дані в SCADA EasyBuilder, EasyWeb, або CMT Viewer, забезпечуючи високу точність синхронізації параметрів процесу [5,10].

Фізичні характеристики [10]

- Компактний корпус для монтажу на DIN-рейку
- Габарити: 115 x 75 x 35 мм
- Індикатори живлення та передачі даних
- Ступінь захисту: IP20

Електротехнічні параметри [10]

- Живлення: 12–24 В DC
- Інтерфейс: RS-485 (Modbus RTU)
- Кількість каналів: до 32 вузлів на шині
- Швидкість передачі: до 115200 біт/с
- Споживання: до 2 Вт

Монтаж та використання - MAS-100 легко монтується на стандартну DIN-рейку у розподільчих шафах. Підключення здійснюється за допомогою гвинтових клем. Налаштування параметрів пристрою можливе як через програмне

забезпечення, так і через DIP-перемикачі, що дає змогу оперативно адаптувати пристрій до різних конфігурацій [10].

#### Переваги

- Стабільна передача даних на великі відстані
- Підтримка багатьох пристроїв на одній лінії
- Простота налаштування і адаптації під існуючі системи

MAS-100 сертифікований для застосування у промислових умовах, відповідає міжнародним стандартам електробезпеки та постачається з повним комплектом технічної документації, включно зі схемами підключення [10].

MAS-100 має широкий спектр функцій, які роблять його зручним для використання в умовах промислового виробництва [10]:

1. Збір даних з датчиків і контролерів
2. Буферизація в локальну таблицю реєстрів
3. Збереження архівів у форматі .csv на карту пам'яті
4. Передача даних по RS-485, USB, Ethernet
5. Підтримка протоколів Modbus RTU Master/Slave
6. Конвертація Modbus TCP ↔ Modbus RTU
7. Web-інтерфейс користувача
8. Зчитування архівів по локальній мережі
9. Резервне копіювання конфігурації
10. Оновлення прошивки через USB

На рисунку 2.2 представлено зовнішній вигляд модуля MAS-100. Видно компактний форм-фактор, індикатори стану та клеми для підключення інтерфейсів, що полегшує монтаж та діагностику пристрою у виробничих умовах (Рисунок. 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд MAC - 100 [10]

## 2.2 Давачі вологості та температури

### 2.2.1 Давач вологості та температури DHT-AM2302

Функціональне призначення - DHT-AM2302 виконує функцію комбінованого давача температури та вологості в автоматизованій системі. Він забезпечує зчитування поточних значень температури повітря та відносної вологості з подальшою передачею даних у цифровому вигляді до приладу збору інформації БПВТ-423 [11].

Принцип дії - Давач побудований на основі ємнісного сенсора вологості та термістора. Внутрішній мікроконтролер обробляє сигнал, виконує оцифрування і передає дані через однопровідний інтерфейс. Частота оновлення становить один цикл кожні 2 секунди [11].

Інтеграція в систему - DHT-AM2302 з'єднано із приладом БПВТ-423, який слугує як приймач та передавач даних на інтерфейс RS-485, що виводить показники на панель оператора Weintec. Дані потрапляють у SCADA EasyBuilder для подальшого аналізу, візуалізації та логіки керування.

Фізичні характеристики [11]:

- Пластиковий корпус із захистом від вологи
- Габарити: 59 x 27 x 13.5 мм
- Ступінь захисту: IP33
- Довжина кабелю може сягати до 20 м

Електротехнічні параметри [11]:

- Живлення: 3.3–6 В
- Тип виходу: цифровий сигнал (single-bus)
- Максимальний струм споживання: до 2.5 мА

Монтаж та використання - Пристрій має отвори для кріплення на стіні або в розподільчій коробці. Підходить для використання в складських приміщеннях, де потрібно стабільне вимірювання мікроклімату.

Калібрування та похибки [11]:

- Точність температури:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Точність вологості:  $\pm 2\text{--}5\% \text{ RH}$
- Калібрування виконується на виробництві і не потребує повторної налаштування при стандартному використанні.

Документація та сертифікація:

- Технічна документація доступна від виробника
- Відповідає сертифікатам RoHS
- Можливе застосування в сертифікованих промислових системах

На рисунку 2.3 зображено зовнішній вигляд сенсора DHT-AM2302, включно з розташуванням виводів для підключення та вентиляційними отворами корпусу, які забезпечують швидкий тепловий обмін з навколишнім середовищем.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика DHT-AM2302 [11]

## 2.3 Панель оператора та середовище програмування

### 2.3.1 Панель оператора Weintec HMI

Функціональне призначення - Панель оператора Weintec HMI призначена для забезпечення інтерфейсу взаємодії між користувачем і автоматизованою системою моніторингу та керування. Через сенсорний екран оператор може переглядати актуальні значення температури та вологості, керувати режимами роботи, отримувати сигнали тривоги, а також переглядати історичні дані з можливістю аналізу та формування рішень у реальному часі [5], [6].

Принцип роботи - Панель HMI збирає інформацію з вимірювальних модулів (наприклад, MAS-100) за допомогою інтерфейсу RS-485. Обробка та відображення даних здійснюється у середовищі EasyBuilder Pro, яке дає змогу налаштовувати графіки, таблиці, діаграми та інші елементи інтерфейсу. Крім локального керування, підтримується віддалений доступ через EasyWeb, EasyAccess 2.0 або CMT Viewer, що суттєво підвищує гнучкість системи [5], [7].

Технічні характеристики [5]:

- Діагональ екрана: 7" або 10" (залежно від моделі)
- Роздільна здатність: 800×480 або 1024×600
- Тип екрана: РК-дисплей із сенсорним керуванням
- Процесор: ARM Cortex-A8 / A9
- Пам'ять: 256–512 МБ RAM, 256–512 МБ Flash
- Інтерфейси: RS-485, RS-232, Ethernet, USB
- Підтримка протоколів: Modbus RTU, Modbus TCP, MQTT
- Живлення: 24 В постійного струму
- Ступінь захисту: IP65 (передня панель)

Програмне забезпечення:

- EasyBuilder Pro: платформа для створення користувацьких інтерфейсів, логіки взаємодії та візуалізації параметрів [5];
- EasyAccess: для віддаленого доступу через інтернет
- CMT Viewer: для мобільного моніторингу через смартфон або ПК

Інтеграція в систему - панель HMI підключається до модуля MAS-100 або до локальної мережі через Ethernet. Через EasyBuilder Pro створюються графічні інтерфейси, які дозволяють відображати поточні значення температури, вологості, статус давачів, а також сигнали тривоги

Переваги використання:

- Високий рівень візуалізації технологічних параметрів;
- Простота налаштування та масштабування;
- Надійна робота у промислових умовах;
- Підтримка інтеграції з іншими пристроями за Modbus-протоколом [4], [5].

Архівування даних (див Рис 2.4) - Панель Weintec HMI підтримує функцію автоматичного архівування змінних у вбудовану пам'ять або на зовнішні носії (USB), а також можливе збереження на FTP-сервер через мережу Ethernet. Цей функціонал реалізовано безпосередньо через EasyBuilder Pro і дає змогу фіксувати історію температурних і вологісних показників, що є корисним для контролю якості, ретроспективного аналізу та формування звітності [5].

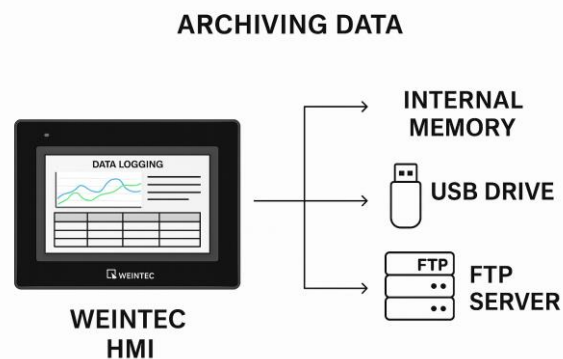


Рисунок 2.4 – схема архівування даних

## 2.4 Програмне забезпечення

### 2.4.1 SCADA EasyBuilder Pro

EasyBuilder Pro — це універсальне програмне середовище для розробки і конфігурації інтерфейсів людина-машина (HMI) на панелях оператора Weintec. Програма підтримує широкий спектр пристроїв автоматизації і дозволяє швидко та



ефективно створювати системи моніторингу і керування технологічними процесами [5] .

Основні функціональні можливості EasyBuilder Pro [5]:

- Графічна візуалізація: Створення графіків, мнемосхем, гістограм, індикаторів, трендів даних, панелей керування.
- Робота з протоколами обміну: Підтримка численних промислових протоколів (Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Free Protocol та інші) для обміну даними з контролерами, давачами та іншими пристроями.
- Логіка та автоматизація: Реалізація базової логіки керування завдяки використанню вбудованих макросів, скриптів та умовних операторів без необхідності програмування на сторонніх мовах.
- Історія подій і тривог: Налаштування журналу тривог, історичних даних змін параметрів та їх архівування у вбудовану пам'ять панелі або на зовнішні носії (USB, SD-карта).
- Віддалений доступ і моніторинг: Інтеграція з EasyAccess 2.0 для безпечного віддаленого доступу до НМІ через Інтернет. Наявність вебсерверу EasyWeb 2.0 для перегляду інтерфейсу через браузер.
- Мобільний доступ: Підтримка перегляду і керування через мобільні додатки (сMT Viewer).

Переваги використання EasyBuilder Pro:

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє розробляти проекти навіть без глибоких знань програмування.
- Багато готових шаблонів, об'єктів і прикладів для прискорення процесу розробки.
- Висока гнучкість у побудові індивідуальних візуальних рішень для різних виробничих процесів.
- Забезпечення безперервного моніторингу і збереження даних для подальшого аналізу.
- Можливість створення складних систем з багаторівневою структурою доступу користувачів.

Роль у проєкті:

У рамках даної інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості, EasyBuilder Pro використовується для:

- Налаштування збору та виведення даних про вологість і температуру з приладів БПВТ-423 та модуля MAS-100.
- Розробки зручного інтерфейсу оператора для спостереження за процесом.
- Архівування історичних даних та побудови трендів зміни вологості у часі.
- Організації тривожних повідомлень у разі виходу параметрів за допустимі межі.
- Створення можливості віддаленого моніторингу системи через Інтернет

Функціональні можливості EasyBuilder Pro детально систематизовані в таблиці 2.1, яка містить перелік основних характеристик програмного забезпечення, зокрема підтримувані протоколи, засоби візуалізації, можливості віддаленого доступу та архівування даних..

Таблиця 2.1 - характеристики та функціонал пз

| Параметр                 | Характеристика                                |
|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Основне призначення      | Розробка HMI-проєктів для панелей Weintec     |
| Підтримувані протоколи   | Modbus RTU, Modbus TCP, Free Protocol та інші |
| Можливості візуалізації  | Графіки, тренди, гістограми, мнемосхеми       |
| Наявність історії подій  | Запис і архівування тривог та змін параметрів |
| Інтеграція вебінтерфейсу | Підтримка EasyWeb 2.0                         |
| Віддалений доступ        | EasyAccess 2.0, cMT Viewer                    |
| Програмування логіки     | Вбудовані макроси, скрипти, умовні оператори  |
| Параметр                 | Характеристика                                |

|                               |                                                    |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| Підтримка мобільних пристроїв | Так (Android, iOS через додаток)                   |
| Архівування даних             | На вбудовану пам'ять або зовнішній носій (USB, SD) |
| Мова інтерфейсу               | Українська, англійська, інші                       |
| Сумісність                    | Панелі Weintec серій MT, cMT, iP, та інші          |

На рисунку 2.5 наведено приклад використання середовища EasyBuilder Pro у складі системи вимірювання вологості, де показано послідовність обміну даними між давачем DHT-AM2302, перетворювачем БПВТ-423, модулем MAS-100 та HMI-панеллю.

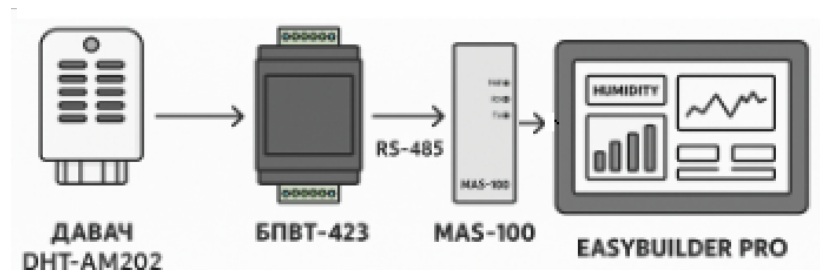


Рисунок 2.5 – приклад використання середовища EasyBuilder Pro

#### 2.4.2 Середовище програмування логіки Codesys

CODESYS (Controller Development System) — це сучасне інтегроване середовище розробки (IDE), яке використовується для програмування автоматизованих систем керування відповідно до міжнародного стандарту IEC 61131-3. Його головна перевага — підтримка кількох мов програмування, серед яких LD (релейно-контактна схема), FBD (блок-функціональні діаграми), ST (структурований текст), SFC (послідовна функціональна схема) та IL (мову інструкцій). Такий підхід дозволяє інженерам обирати найбільш зручний інструмент для вирішення конкретних технічних завдань [6].

У межах розробки системи контролю рівноважної вологості середовища, CODESYS виконує низку ключових функцій::

- Забезпечує програмування логіки збору даних з модулів MAS-100 та первинних вимірювальних приладів типу БПВТ-423, використовуючи як графічні, так і текстові мови програмування.
- Реалізує обмін даними з пристроями через протокол Modbus RTU, що працює по інтерфейсу RS-485 — такий спосіб гарантує стабільне отримання показників температури й вологості.
- Дає змогу реалізувати обробку даних безпосередньо на контролері, зокрема виконання середньостатистичних обчислень, побудову умовних переходів та застосування гістерезису, а також передачу оброблених даних для відображення на операторській панелі.
- Дозволяє перевірити правильність роботи програмної логіки як через вбудований емулятор, так і безпосередньо на апаратному забезпеченні з підтримкою CODESYS Runtime.
- Підтримує масштабування проєкту — розроблені рішення можна без значних змін адаптувати до розширених або модернізованих конфігурацій системи.
- Забезпечує безпеку та надійність роботи системи завдяки наявності вбудованих механізмів перевірки коду та захисту від помилок.
- Підтримує інтеграцію з іншими системами через сучасні протоколи обміну даними, як-от OPC UA, MQTT тощо, що відкриває широкі можливості для візуалізації й аналітики через SCADA або веб-інтерфейси.

У нашому проєкті використання CODESYS стало ключовим фактором для реалізації точних і гнучких алгоритмів обчислення рівноважної вологості, а також забезпечення зручного обслуговування без зупинки всього технологічного процесу. Завдяки відкритій архітектурі та підтримці галузевих стандартів, ця система є оптимальним вибором для сучасної автоматизації промислових процесів

Таким чином, застосування CODESYS дозволяє забезпечити високий рівень адаптивності, надійності та функціональності інформаційно-вимірювальної системи, що повністю відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації.

## 2.5 Середовище візуалізації та архівації

Важливим компонентом запропонованої інформаційно-виміральної системи є її можливості з візуалізації, дистанційного доступу та архівування даних. Це забезпечується за рахунок інтеграції функціоналу SCADA-системи EasyBuilder Pro з додатковими інструментами — EasyWeb, cMT Viewer, а також вбудованим модулем архівації даних у панелях оператора Weintec [5].

EasyWeb - Панелі Weintec підтримують технологію EasyWeb, яка дозволяє отримувати доступ до інтерфейсу SCADA-системи безпосередньо через веб-браузер. Це дає змогу оператору або інженеру здійснювати моніторинг і керування процесами без фізичного доступу до HMI.

- Віддалене відображення інтерфейсу в реальному часі;
- Захист доступу за допомогою пароля;
- Підключення через локальну мережу або Інтернет;
- Доступ через IP-адресу пристрою [5].

cMT Viewer (мобільний моніторинг) - для підвищення мобільності використовується додаток cMT Viewer, що дозволяє підключатися до панелі оператора зі смартфонів або планшетів на базі iOS чи Android. Це забезпечує зручний і багатофункціональний доступ до системи з будь-якого місця [5].

Архівування даних - Панель оператора підтримує збереження даних у вигляді лог-файлів, що дозволяє накопичувати історію параметрів та подій:

- Формати архівів: CSV, Excel.
- Періодичність запису: задається вручну або подією (наприклад, зміна параметра).
- Носії: внутрішня пам'ять, USB-накопичувач або SD-карта.

Архівовані дані можуть бути експортовані для подальшого аналізу або інтеграції в ERP/SCADA-системи підприємства. Це забезпечує повну трасованість технологічного процесу, моніторинг середовища зберігання сировини та формування звітності [5], [6].

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1 Загальна структура програми

Програмне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості побудоване за модульним принципом, що забезпечує високу надійність, гнучкість масштабування, а також спрощене технічне обслуговування. Усі компоненти функціонально пов'язані між собою і формують єдину автоматизовану систему моніторингу технологічного середовища [1].

Основні блоки структури:

1. Датчики температури та вологості (DHT-AM2302) – призначені для безперервного зчитування параметрів навколишнього середовища безпосередньо у контрольованих зонах.
2. Первинні перетворювачі БПВТ-423 – виконують функцію збору аналогових сигналів з датчиків і перетворення їх у цифрову форму для подальшої передачі.
3. Модуль MAS-100 – здійснює опитування приладів збору даних та передає отриману інформацію на панель оператора по цифровому інтерфейсу RS-485 за протоколом Modbus RTU.
4. Панель оператора Weintec (серія cMT) – виконує роль основного інтерфейсу взаємодії користувача з системою. На ній функціонує програмне середовище EasyBuilder Pro [7], яке:
  - a. - приймає дані з MAS-100;
  - b. - відображає їх у вигляді графіків, таблиць та індикаторів;
  - c. - виконує обчислення рівноважної вологості за формулами;
  - d. - зберігає дані у вигляді архівів;
  - e. - забезпечує інтерфейс для взаємодії оператора з системою.

### 3.2 Архітектура програмного забезпечення

Архітектура програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості розроблена з урахуванням вимог до надійності, гнучкості та зручності обслуговування. В основі архітектури — багаторівнева структура, яка охоплює взаємодію з фізичними пристроями, обробку даних, візуалізацію, архівацію та інтерфейс користувача [8].

Основні рівні архітектури:

1. Рівень збору даних (фізичний):
  - Давачі температури та вологості (DHT-AM2302)
  - Інтерфейс підключення до контролера БПВТ-423
2. Рівень передавання даних:
  - Контролер БПВТ-423 з інтерфейсом RS-485
  - Модуль MAS-100 для організації зв'язку Modbus RTU
3. Рівень обробки та керування:
  - Панель оператора Weintec з вбудованим SCADA-середовищем EasyBuilder Pro
  - Внутрішні обчислювальні алгоритми: обробка температури та вологості, розрахунок рівноважної вологості
  - Реалізація логіки на базі програмних тригерів, таймерів, змінних
4. Рівень візуалізації:
  - Графіки, індикатори, таблиці, сигнальні повідомлення
  - Історичні графіки та таблиці (архівування)
5. Рівень віддаленого доступу:
  - Веб-інтерфейс EasyWeb
  - Клієнтська програма cMT Viewer

Логічна структура програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи рівноважної вологості представлена на рисунку 3.1.

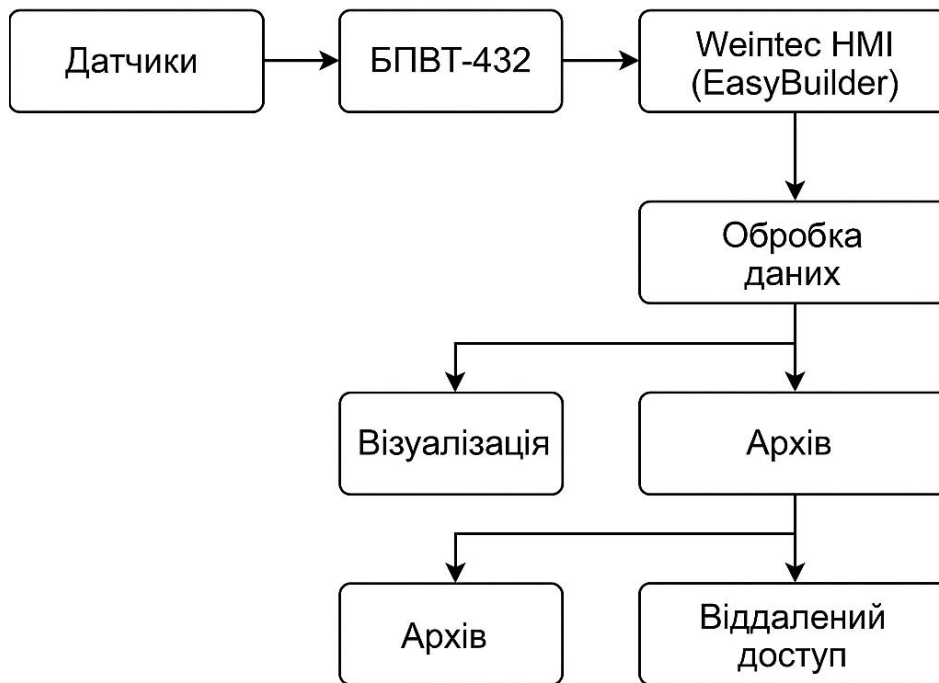


Рисунок 3.1 - Структура програмного забезпечення запропонованої програми

### 3.2 Розробка логіки збору та обробки даних на основі Codesys

Процес збору та обробки даних у системі реалізується на базі комунікації між модулями збору інформації (MAS-100), датчиками вологості та температури (DHT-AM2302) і панеллю оператора Weintec. Уся логіка взаємодії налаштовується за допомогою SCADA середовища EasyBuilder Pro, а також програмного середовища CODESYS [7].

Сигнали з приладів БПВТ-423 передаються через інтерфейс RS-485 у форматі Modbus RTU. На рівні SCADA-системи ці сигнали розпізнаються та перетворюються у відображувані значення на екрані панелі HMI [3].



### 3.2.1 Оголошення змінних та базова обробка вхідних даних

На початковому етапі створюється головний програмний модуль PLC\_PRG, в якому оголошуються змінні типу REAL для температур (T\_1 – T\_9) та відносної вологості (RH\_1 – RH\_9). Ці змінні використовуються для зберігання значень, отриманих із відповідних датчиків. Додатково оголошено змінні типу LREAL (H\_1 – H\_4), в які заносяться нормалізовані значення вологості, поділені на 100 (Рисунок 3.2):

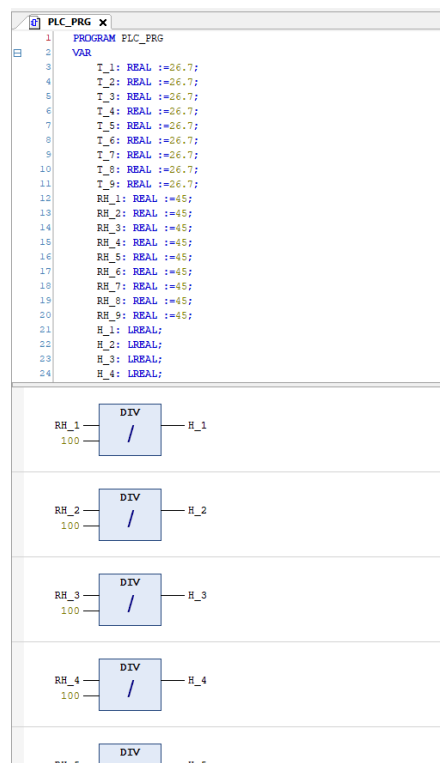


Рисунок 3.2 – програмування логіки Codesys

У нижній частині рисунку відображені блоки ділення (DIV), в яких відносна вологість (RH) ділиться на 100 для приведення до частки (від 0 до 1), що використовується у розрахунках рівноважної вологості.

### 3.2.2 Перетворення температури з Цельсія у Фаренгейти

На другому етапі реалізується перетворення температури, що надходить у градусах Цельсія, до шкали Фаренгейта. Це виконується за допомогою стандартної

функції C\_TO\_F з бібліотеки OSCAT\_BASIC, яка реалізує формулу зображену на (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – програмування логіки Codesys

На рисунку видно, що для кожної температурної змінної T\_1 до T\_9 створено окремий блок функції C\_TO\_F, а результат зберігається у відповідній змінній F\_1 до F\_9.

### 3.2.3 Реалізація алгоритму розрахунку рівноважної вологості

Третій рисунок демонструє найбільш складну частину програми — реалізацію математичної моделі розрахунку рівноважної вологості (Equilibrium Moisture Content, EMC) на основі температури та відносної вологості повітря.

Логіка реалізована у вигляді послідовних математичних блоків у середовищі CODESYS у форматі Function Block Diagram (FBD) (Рисунок 3.4):

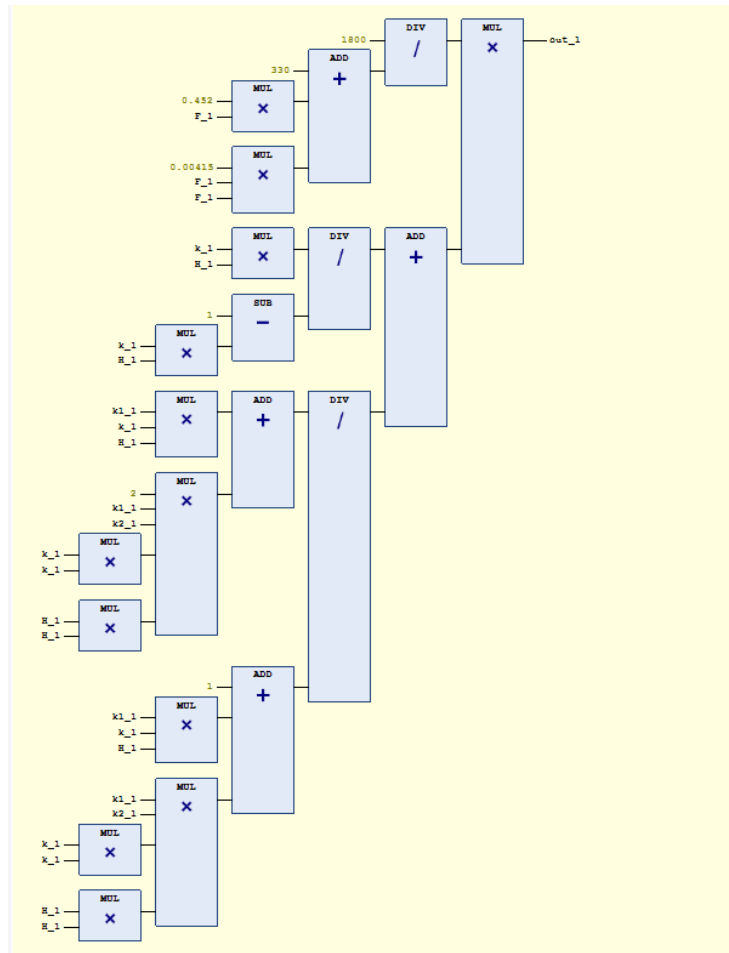


Рисунок 3.4 – програмування логіки Codesys

Структура обчислень:

- У верхній частині бачимо реалізацію формули, що передбачає кілька арифметичних операцій: множення (MUL), додавання (ADD), ділення (DIV), віднімання (SUB).
- Формула розрахунку базується на числових коефіцієнтах (наприклад, 0.452, 0.00415, 330), які типові для емпіричних моделей визначення рівноважної вологості
- Вхідні параметри:
  - F\_1 — температура у Фаренгейтах
  - H\_1 — відносна вологість, нормована (поділена на 100)
  - x1\_1, k1\_1 тощо — константи або коефіцієнти моделі

Приклад фрагменту логіки:

- $F\_1 \times 0.452 + F\_1 \times F\_1 \times 0.00415 + 330$  — частина формули, що описує вплив температури
- $((k1\_1 \times H\_1) / ((1 - H\_1) + \dots))$  — частина логіки, що враховує вплив вологості

Результат усього розрахунку подається на вихід Out\_1, який є обчисленим значенням рівноважної вологості для відповідного датчика.

Призначення - ця реалізація дозволяє в режимі реального часу отримувати значення рівноважної вологості для кожної з точок вимірювання, базуючись на значеннях температури й вологості з попередніх блоків. Отримані значення можуть використовуватись як для візуалізації на HMI, так і для подальшої архівації чи передавання у SCADA.

### 3.2.4 Налаштування пристрою та створення з'єднання з пристроєм

Після створення логіки було здійснено налаштування проєкту в CODESYS. На скріншоті 4 (Рисунок .3.4) показано початкову структуру проєкту, де видно підключення до вбудованого пристрою Weintek.

Проєкт включає:

- Application, де зберігається програмна логіка (PLC\_PRG);
- Task Configuration, в якому налаштовано основне циклічне завдання;
- Symbol Configuration, що визначає, які змінні будуть доступні SCADA/панелі оператора.

На рисунку 3.5 зображено інтерфейс CODESYS під час налаштування з'єднання з контролером через локальний шлюз. Як видно, користувач має змогу обрати активний шлюз зі списку доступних, а також налаштувати порт та тип з'єднання, що є критично важливим для коректної взаємодії з апаратним забезпеченням.

Такий підхід дозволяє гнучко тестувати та налагоджувати програму як у симульованому середовищі, так і безпосередньо на фізичному обладнанні, що значно спрощує процес розробки та верифікації функціональності системи.

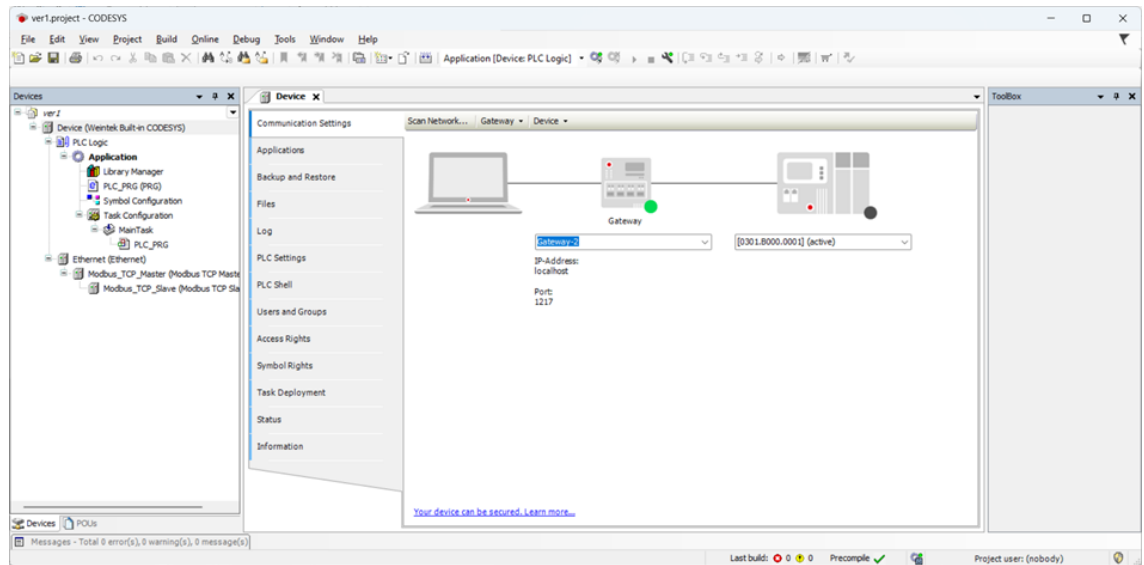


Рисунок 3.5 – створення з'єднання через локальний шлюз

На скріншоті відображено створення з'єднання через локальний шлюз Gateway2. Він дозволяє налагоджувати програму, завантажувати її на пристрій та перевіряти правильність виконання.

На завершальному етапі зображено активне з'єднання з пристроєм. Зелена індикація біля шлюзу свідчить про успішне встановлення зв'язку, а контролер Weintek визначений у мережі та готовий до програмування або тестування.

### 3.3 Візуалізація даних у SCADA EasyBuilder

Після розробки програмної логіки збору та обробки даних у середовищі CODESYS необхідним етапом є візуалізація результатів на панелі оператора. Для цього використовується SCADA-середовище EasyBuilder Pro, яке забезпечує розробку графічного інтерфейсу користувача для HMI-панелей Weintek.

EasyBuilder Pro дозволяє організувати ефективну взаємодію між користувачем і контролером, а також наочно представити динамічні зміни параметрів у вигляді цифрових індикаторів, гістограм, графіків, таблиць тощо.

Візуалізація забезпечує:

- Моніторинг реальних значень температури та вологості з датчиків;
- Обчислення й відображення рівноважної вологості;
- Індикацію аварійних або граничних станів;

Налаштування параметрів і ручне керування у випадку потреби.

В програмі розроблено 3 основні екрани а саме:

- Екран графіка

На рисунку 3.6 зображено головний графічний інтерфейс системи візуалізації, що реалізований у середовищі SCADA EasyBuilder. Центральним елементом є графік зміни вологості у часі, на якому відображаються дані з дев'яти приміщень. Кожна лінія на графіку відповідає певному каналу вологості (RH1–RH9), дані для яких надходять від відповідних датчиків.

Зліва направо по осі X відкладається час у форматі HH:MM, що дозволяє відстежити динаміку зміни вологості впродовж доби або певного інтервалу. По вертикальній осі графіка (Y) відкладаються значення вологості у відсотках. Для кожного каналу передбачено окремий кольоровий індикатор та підпис у правій частині екрана (RH1–RH9), що забезпечує зручну ідентифікацію.

У верхній частині вікна розміщені кнопки для перемикання між приміщеннями (Приміщення 1–9), а також кнопка «Загальний», яка активує зведене подання всіх каналів одночасно. У нижній частині реалізована панель навігації між екранами, зокрема кнопки «Архів», «Таблиця» та активна кнопка «Графік», що відповідає поточному виду.

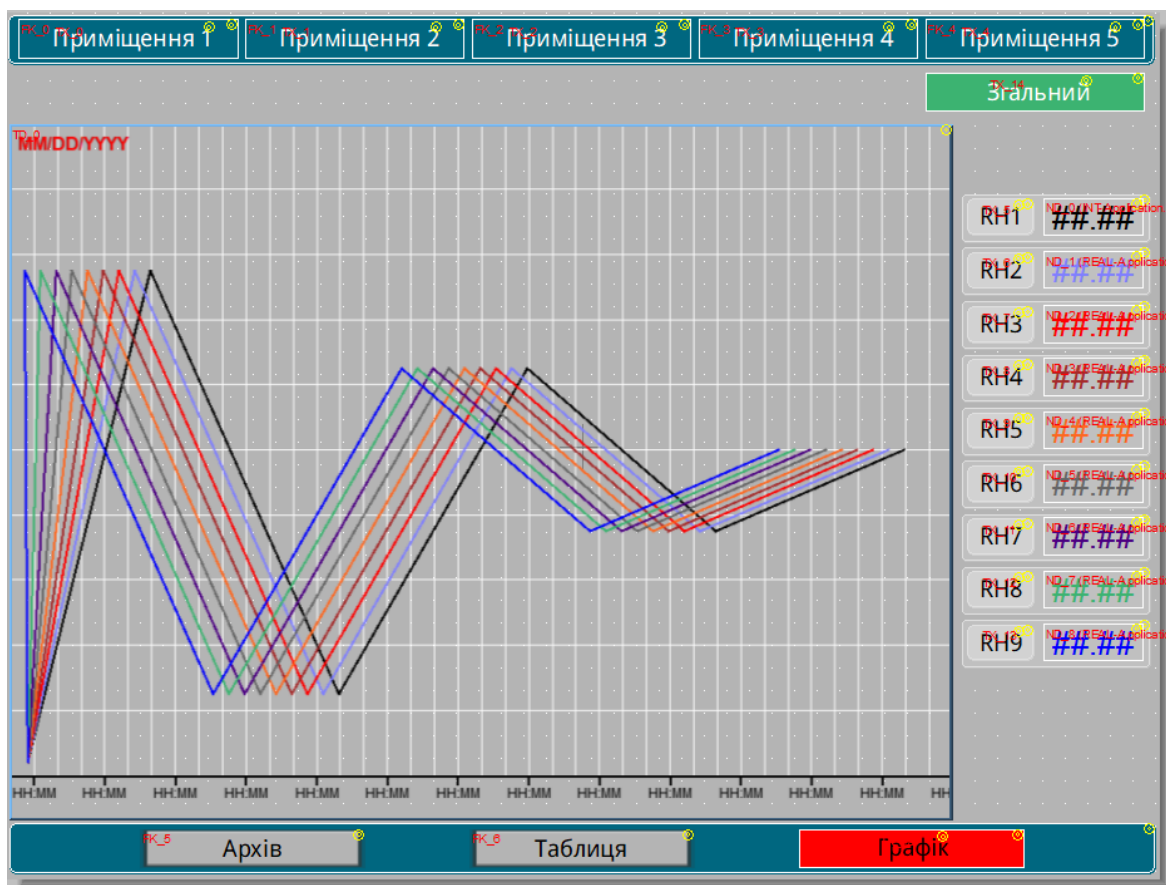


Рисунок 3.6 – початковий екран програми

- Екран архіву

На рисунку 3.7 представлено архівний режим графічного інтерфейсу. Він майже ідентичний до основного графіка, однак доповнений важливими функціями:

1. У правій частині екрана присутній текстовий напис «Зрівноважена вологість», який вказує на те, що дані вже пройшли обробку та є готовими до аналізу.
2. У нижньому правому куті розташована кнопка «Експорт в .csv», яка дозволяє зберегти графічні або табличні дані в форматі CSV для подальшого аналізу в середовищах, таких як Microsoft Excel.

Користувач має змогу порівнювати тенденції зміни вологості у зручній формі, а також зберігати дані для звітності або подальшої обробки.

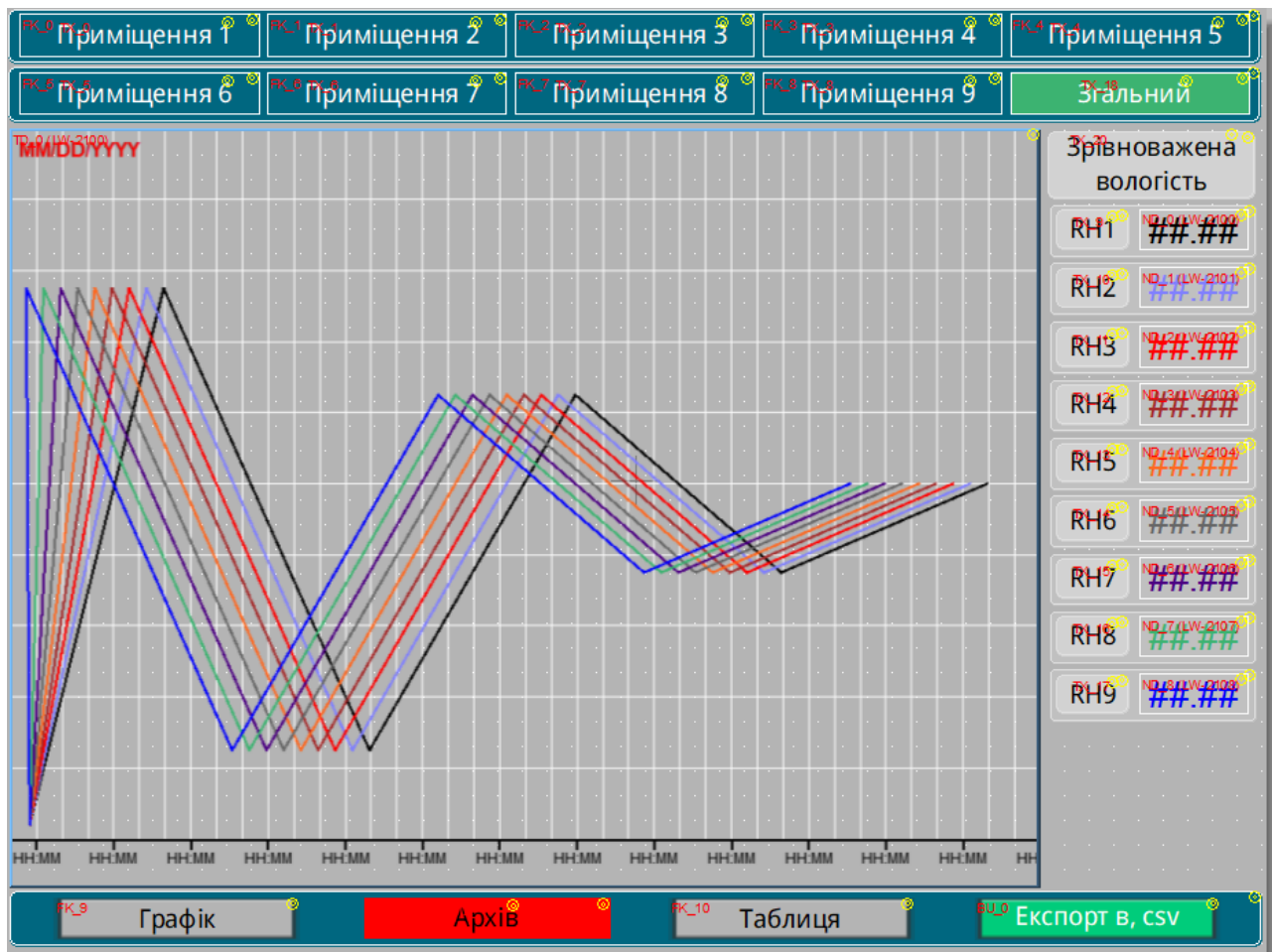


Рисунок 3.7 – екран архіву

#### - Табличний екран

На рисунку 3.8 показано табличне подання даних. Цей режим дозволяє переглядати виміряні значення у вигляді таблиці, де для кожного запису зазначено:

- Дата та час фіксації;
- Значення вологості по кожному з дев'яти приміщень (Приміщення 1–9).

Інтерфейс містить ті самі елементи навігації вгорі (перемикання між приміщеннями) та знизу (перемикання між режимами — Архів, Графік, Таблиця). Також активна кнопка експорту до CSV, що дозволяє зберігати таблиці в зовнішні файли.



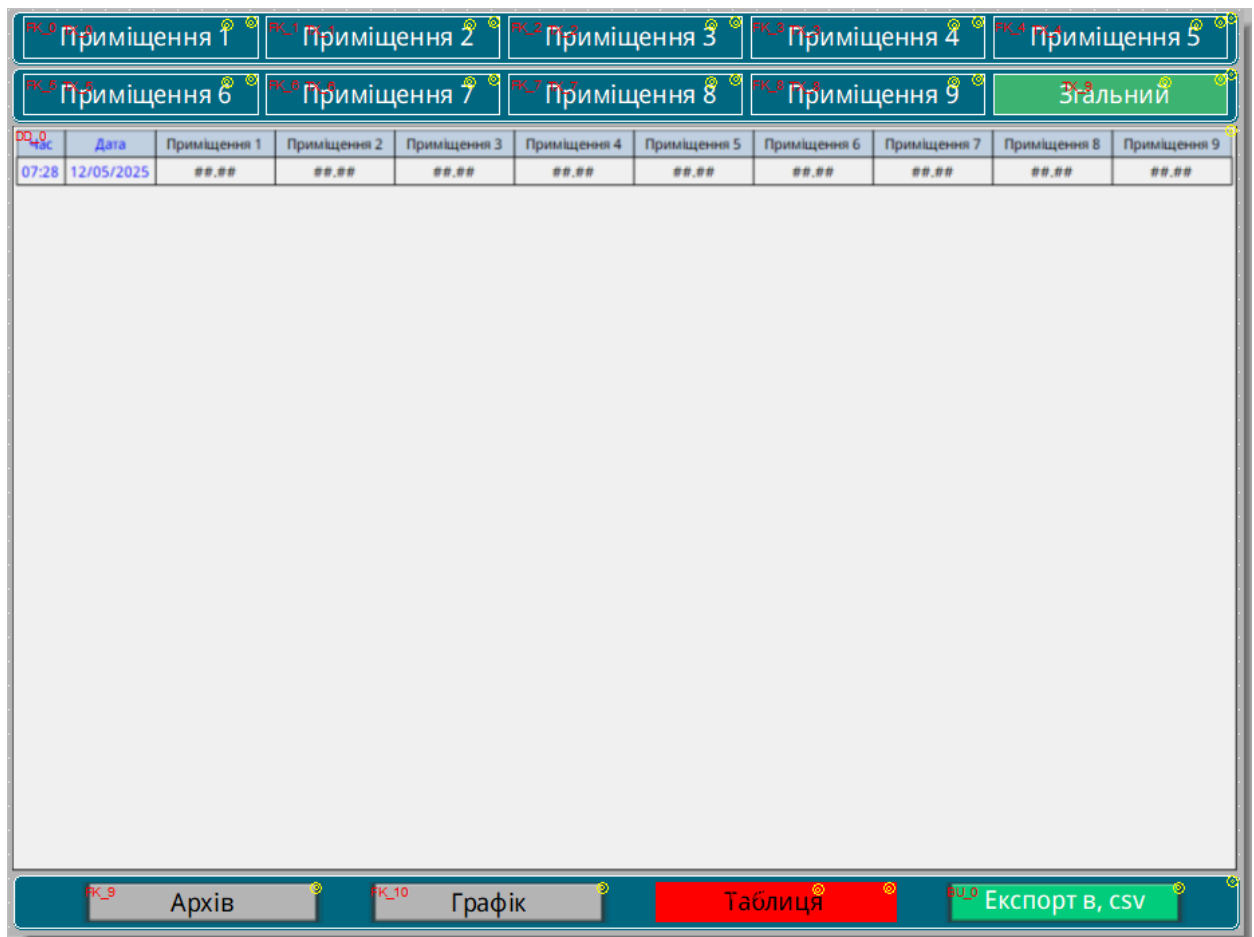


Рисунок 3.8 – екран тиблиці

### 3.3.1 Інтерфейс SCADA-системи: приклади реалізації кнопок та графіків

У SCADA-системі, розробленій на базі EasyBuilder Pro, оператору надається зручний графічний інтерфейс для моніторингу й керування параметрами рівноважної вологості. У даному підрозділі наведено приклади налаштування інтерактивних кнопок та відображення трендів даних.

Налаштування кнопок перемикавання вікон - на рисунку 3.8 показано приклад конфігурації кнопки «Таблиця», яка дозволяє оператору переходити між різними формами подання даних. Нижня частина екрана містить три кнопки: «Архів», «Таблиця», «Графік», кожна з яких відкриває відповідне вікно.

Для кнопки «Таблиця» у властивостях встановлено:

- Type: Window — кнопка виконує дію зміни вікна.

- Function: Change full-screen window — при натисканні відкривається інше вікно.
- Window no.: 12. Загальний (таблиця) — номер вікна, яке буде відображено.

Це забезпечує просту та швидку навігацію між основними формами відображення даних (таблична, графічна та архівна).

Налаштування графічного елемента Trend Display - на Рисунку 3.2 подано приклад налаштування графічного елемента Trend Display, що призначений для відображення змін рівноважної вологості в реальному часі.

У вкладці Display параметри задано наступним чином:

- Data Sampling Index: 1. Загальний — вказує, звідки беруться дані.
- X axis time range: Time — графік прив'язано до часової шкали.
- Distance: 10800 секунд — графік відображає інтервал у 3 години.
- Додаткові параметри, такі як Dynamic X axis time range, Watch line, Time stamp output, History control — вимкнені, що мінімізує візуальне перевантаження.

На вкладках Channel та Y Scale визначено, які канали відображаються на графіку та як масштабуються їхні значення:

- Усі 8 каналів активовано (RH1–RH8), для кожного задано формат 16-bit Signed.
- Масштаб по осі Y відображається лише при наявності даних (опція "Hide channel Y scale when channel data is invisible").

На рисунку 3.9 представлено інтерфейс налаштування параметрів трендів: тип вікна, масштабування, формат відображення тощо. Ці параметри визначають зовнішній вигляд та поведінку графічного елемента на екрані оператора.

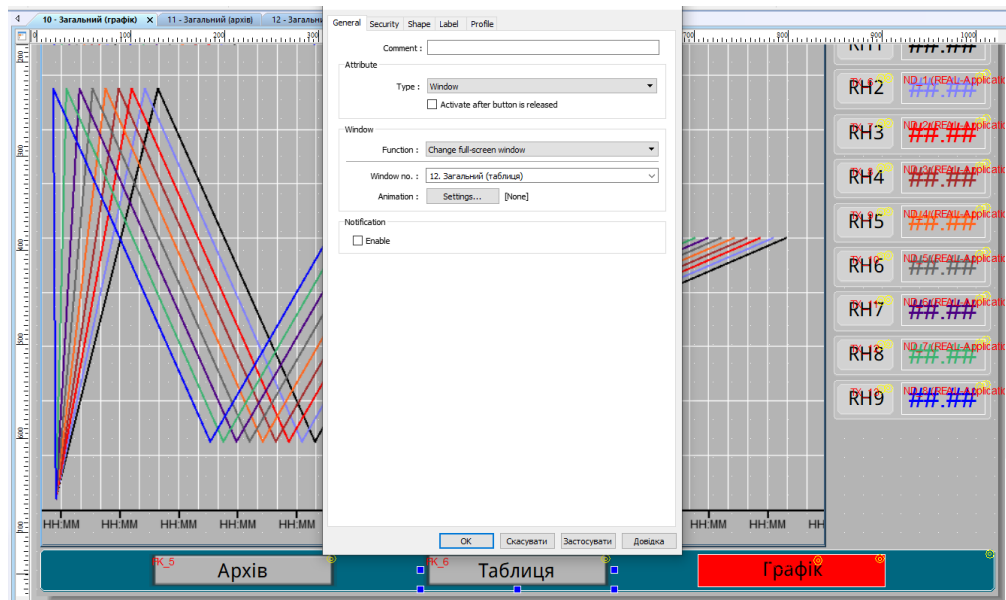


Рисунок 3.9 – налаштування трендів

Рисунок 3.10 ілюструє процес прив'язки джерел даних до графіка. У відповідному вікні конфігурації задаються адреси тегів, інтервали опитування та часові діапазони. Така прив'язка забезпечує автоматичне оновлення трендів у режимі реального часу, що дозволяє оператору оперативного реагувати на зміну параметрів середовища.

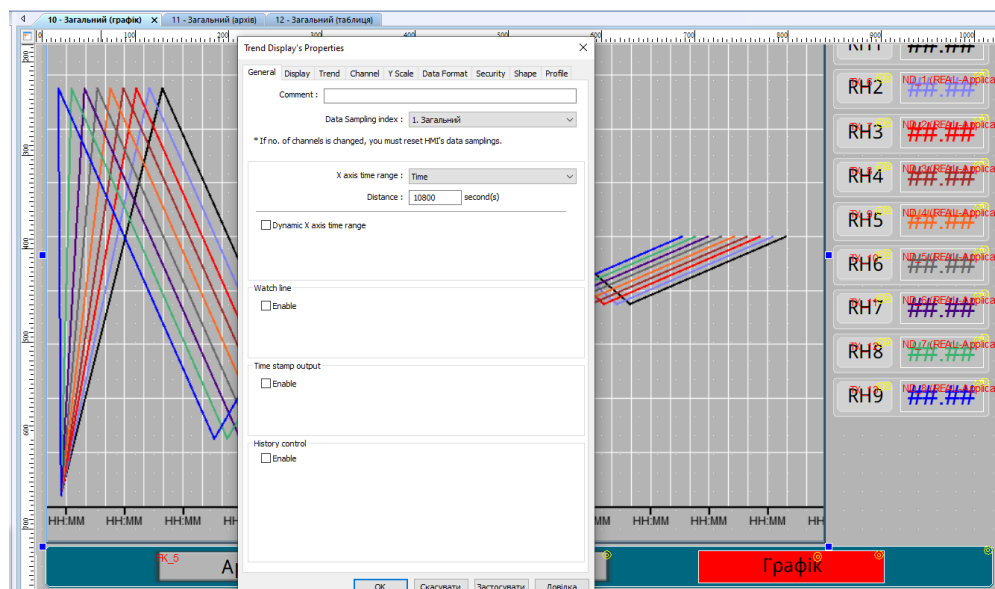


Рисунок 3.10 – прив'язка даних

Користувач може здійснювати швидкісний перехід між формами подання даних завдяки інтуїтивно зрозумілим кнопкам. Це підвищує зручність експлуатації системи та мінімізує час реакції оператора.

### 3.4 Логіка збереження та архівування даних

У розробленій системі моніторингу рівноважної вологості важливим аспектом є не лише візуалізація поточних параметрів, а й збереження історичних даних для подальшого аналізу. Для цього реалізовано механізм збереження та архівації даних, який дозволяє вести журнал змін параметрів, формувати графіки, а також здійснювати експорт даних у зовнішні формати (наприклад, Excel або CSV) [5].

Створення тега логування - на першому етапі задаються змінні, які необхідно логувати. У SCADA EasyBuilder Pro це реалізується шляхом позначення тегів, що беруть участь у архівації, у спеціальному редакторі логів (Рисунок 3.11).

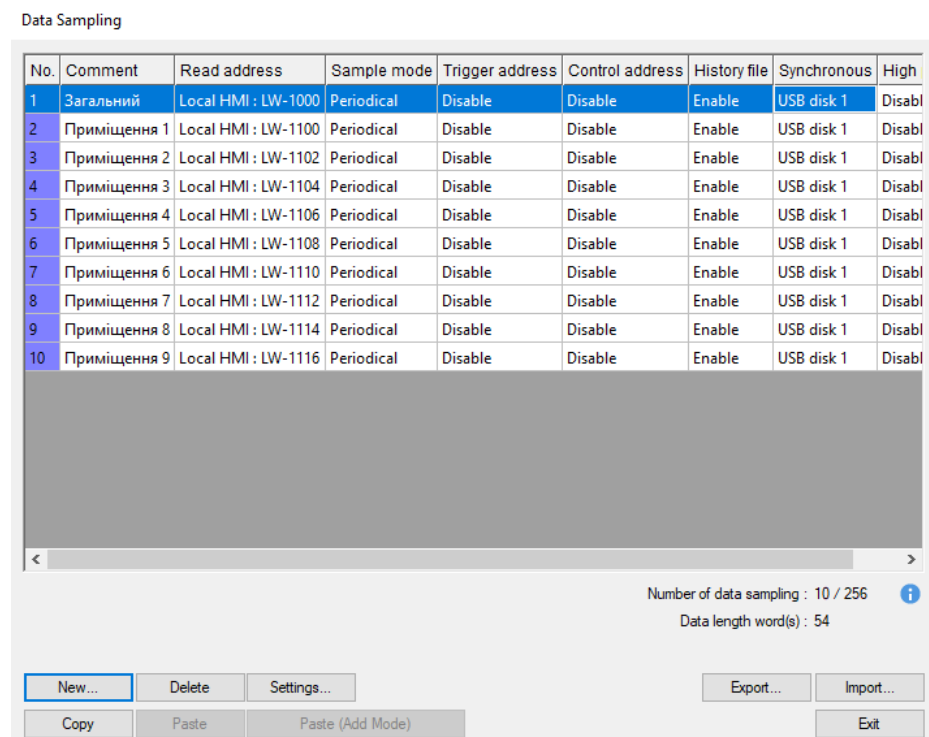


Рисунок 3.11 – налаштування логів програми

Наступним кроком є створення лог-файлу (Data Sampling Object), у якому вказується, які саме змінні зберігатимуться, з якою частотою (інтервал часу), та в якому форматі буде здійснюватись збереження (наприклад, CSV). Також можна задати обмеження на обсяг файлу, кількість записів, або спосіб оновлення (Рисок 3.12).

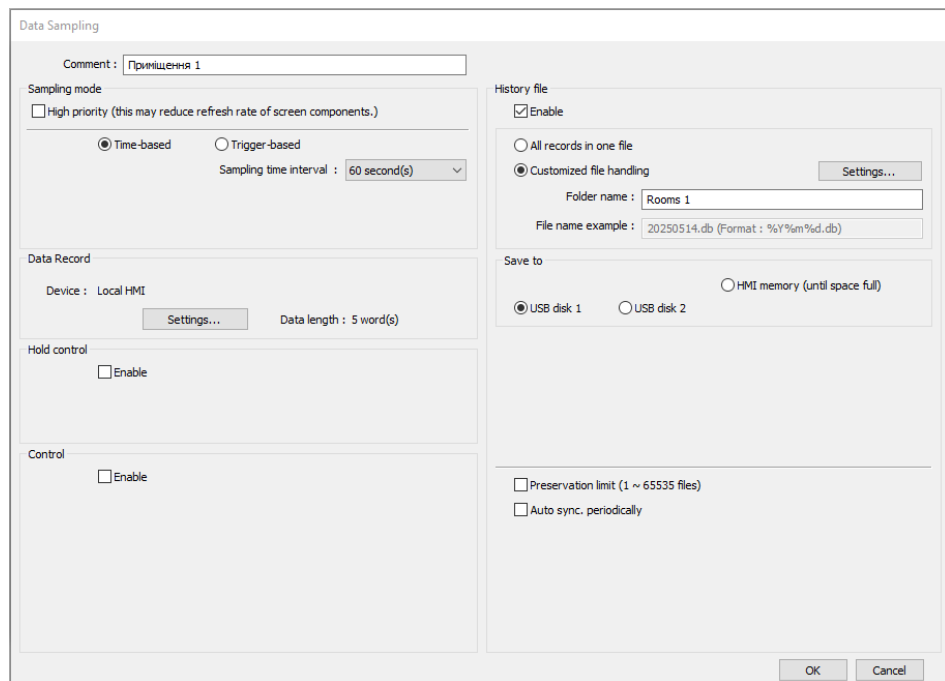


Рисунок 3.12 – збереження даних в програмі

Збереження даних на USB/SD-карту або вбудовану пам'ять (Рисунок 3.13) - панель оператора Weintec дозволяє зберігати дані як у внутрішню пам'ять пристрою, так і на зовнішні носії. У проекті реалізовано запис лог-файлів на USB-накопичувач, що підключений до HMI. Це забезпечує зручний доступ до даних безпосередньо з комп'ютера.

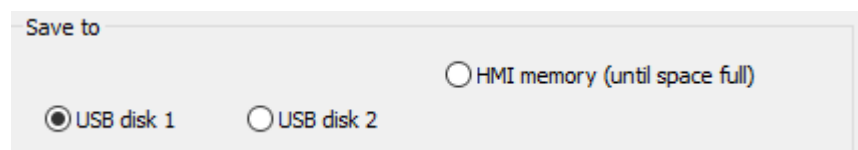


Рисунок 3.13 – вибір носія для збереження даних

Вивід архівованих даних на графік (Рисунок 3.14) - для перегляду збережених даних реалізовано вивід на графіки безпосередньо на HMI. Це дозволяє переглядати динаміку зміни температури та вологості в кожному з приміщень.

|       |            | Приміщення 1 | Приміщення 2 | Приміщення 3 | Приміщення 4 | Приміщення 5 | Приміщення 6 | Приміщення 7 | Приміщення 8 | Приміщення 9 | Згальний |
|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| Час   | Дата       | Приміщення 1 | Приміщення 2 | Приміщення 3 | Приміщення 4 | Приміщення 5 | Приміщення 6 | Приміщення 7 | Приміщення 8 | Приміщення 9 |          |
| 22:44 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:43 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:42 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:41 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:40 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:39 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:38 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:37 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:36 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:35 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:34 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:33 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:32 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:31 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:30 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:29 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:28 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:27 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:26 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:25 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:24 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:23 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:22 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:21 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:20 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |
| 22:19 | 17/11/2024 | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00     |

Рисунок 3.14 – відображення даних в таблиці

### 3.5 Реалізація дистанційного доступу

Для забезпечення зручного та оперативного моніторингу й керування інформаційно-вимірювальною системою було реалізовано функціонал дистанційного доступу. Такий доступ дає змогу оператору або технічному персоналу переглядати показники в реальному часі та виконувати базове керування без необхідності фізичної присутності біля панелі оператора .

Використані технології - у даній системі було застосовано два основні способи дистанційного доступу:

1. EasyWeb 2.0 – вбудований веб-сервер у панелі НМІ компанії Weintek, який дозволяє отримати доступ до графічного інтерфейсу користувача через браузер.
2. cMT Viewer – фірмове програмне забезпечення від Weintek, яке забезпечує повноцінний інтерфейс користувача на ПК, планшеті чи смартфоні.

EasyWeb 2.0 - Цей інструмент дозволяє оператору віддалено підключатись до панелі НМІ через веб-браузер. Доступ до панелі реалізується за IP-адресою пристрою, яку можна отримати або через DHCP, або задати вручну. Основні можливості EasyWeb 2.0 [6] :

- Перегляд активного вікна панелі НМІ;
- Перегляд логів та архівів;
- Завантаження та оновлення проекту;
- Зміна значень тегів (за необхідності).

Після налаштування мережевого інтерфейсу оператор може підключитися до системи через браузер, ввівши IP-адресу НМІ. Початковий екран EasyWeb надає доступ до основних функцій SCADA-системи, зокрема до перегляду графіків, таблиць, трендів та повідомлень тривог (Рисунок. 3.15).

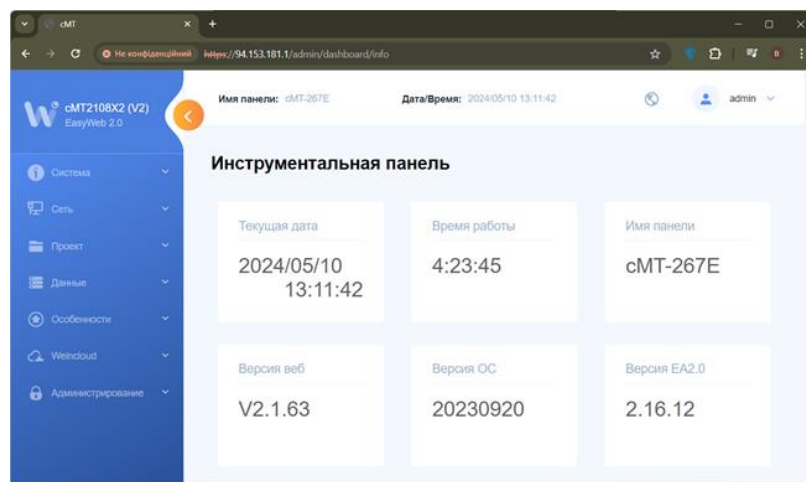


Рисунок 3.15 – початковий екран Easy Web

сMT Viewer - ця програма дозволяє відображати проєкт панелі НМІ на віддаленому пристрої з максимальною відповідністю графічному інтерфейсу. Основні переваги:

- Підтримка повного графічного інтерфейсу, включаючи анімації, графіки та динамічні об'єкти;
- Робота на різних платформах (Windows, Android, iOS);
- Можливість підключення кількох клієнтів одночасно;
- Гнучке перемикавання між кількома НМІ.

Після встановлення зв'язку з панеллю Weintec, користувач отримує доступ до інтерфейсу, аналогічного стаціонарному HMI. Початковий екран додатка (Рисунок 3.16) дає змогу обрати активне з'єднання з панеллю, а також відображає список доступних проєктів

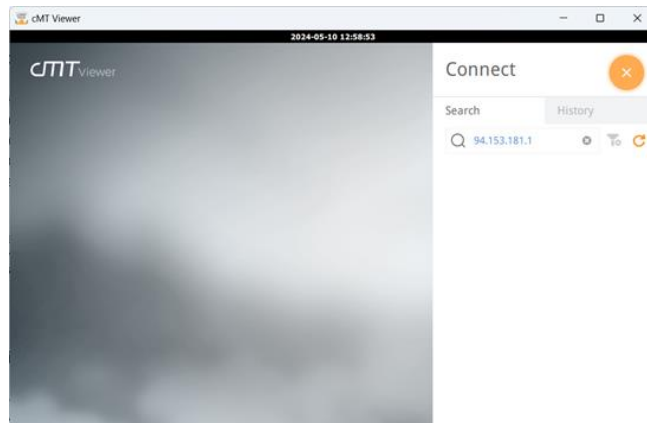


Рисунок 3.16 – початковий екран Cmt viewer

Є суттєва відмінність між підключенням через Web інтерфейс та програму cMT-Viewer. При підключенні через програму cMT-Viewer, підключення можливе до 10 одночасних підключень і при цьому незалежно одних від одного і без авторизації панелі по місцю. При підключенні Web інтерфейс також можливе одночасне підключення декількох клієнтів, але при цьому йде конфлікт керування (всі бачать що хто робить і можуть мішати один одному), (Рисунок 3.17) а також відбувається авторизація панелі по місцю [6].

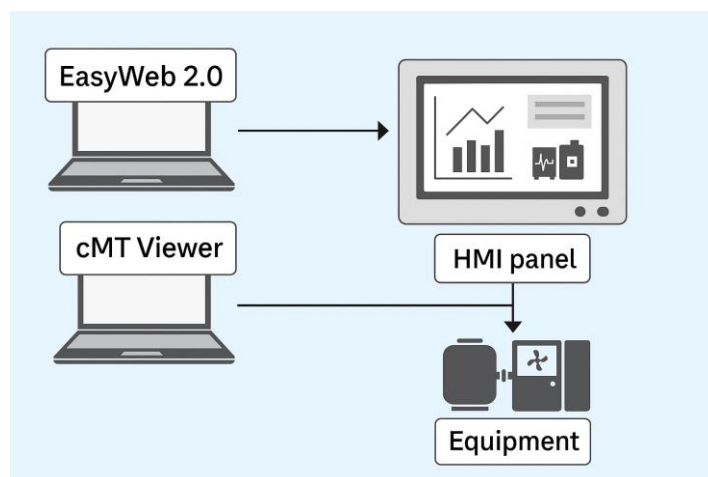


Рисунок 3.17 – представлення дистанційного доступу



### 3.6 Структура щитів

#### 3.6.1 Структура локального щита приміщення

Розроблено типовий локальний щит, що встановлюється у кожному приміщенні складу для збору та первинної обробки технологічних даних (температури / вологості) [8]. Список обладнання щита на Таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - обладнання щита

| Позначення | Пристрій                                                  | Функціональне призначення                                                                                                                    |
|------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C1         | Автоматичний вимикач Hager MBN206 (2 P, 6 A)              | Захист живильної лінії 230 V AC та ручне відключення щита.                                                                                   |
| C2         | Імпульсний БЖ Mean Well HDR-30-24 (24 V DC, 1,25 A)       | Формує стабілізоване живлення 24 V DC для MAS-100 і датчиків.                                                                                |
| C3         | Реле розділення/захисту (SSR)                             | Гальванічна розв'язка ланцюгів вводу-виводу, запобігання перенапругам на шині RS-485.                                                        |
| C4         | Модуль збору даних Microl MAS-100 (3× RS-485, 8 DI, 8 AI) | Приймає цифрові сигнали від датчиків DHT-AM2302, виконує оцифрування та передає виміряні значення на панель оператора Weintec по Modbus RTU. |
| C5         | Клемники N/PE та сигнальні (Phoenix PT-1,5)               | Розподіл живлення 24 V DC та з'єднання інформаційних ланцюгів (A/B, GND) датчиків.                                                           |
| C6         | Прохідний гермоввід PG-16                                 | Введення комбінованого кабелю датчиків (4×0,34 мм²) всередину щита.                                                                          |
| D1         | Первинний перетворювач БПВТ-423 (кріпиться під щитом)     | Локальна індикація RH/T, забезпечує калібрування та діагностику датчиків; передає дані в MAS-100 по RS-485.                                  |

### Конструктивні особливості:

- Корпус — пластиковий бокс IP65 (200 × 150 × 100 мм) з кріпленням на стіну.
- Всі пристрої змонтовані на DIN-рейці 35 мм; запас місця 30 % залишено для можливого розширення.
- Кабелі живлення 230 V та сигнальні 24 V розведені різними жгутами праворуч та ліворуч, що мінімізує перехресні наводки.
- Для уніфікації маркування застосовано маркери WAGO TOPJOB® (жовті «N/##» видно на фото).
- Диференціальне з'єднання A+/B- та «земля» виведені на окремі екрані-клеми, що забезпечує стабільність зв'язку на довжинах до 120 м.

### Алгоритм роботи локального щита (усічена послідовність) :

1. Живлення: через автомат C1 на БЖ C2, далі — 24 V DC до MAS-100 та датчиків.
2. Збір: MAS-100 циклічно читає дані від БПВТ-423/DHT-AM2302 (9600 Bd, 8 N 1).
3. Попередня обробка: усереднення 10-ти зразків, фільтрація сплесків (границя  $\pm 1$  % RH).
4. Передача: пакет Modbus holding registers (0×0100...0×010F) надсилається по RS-485 магістралі до панелі Weintec.
5. Діагностика: світлодіод PWR (зелений) та COM (червоний) на MAS-100 сигналізують стан живлення та обміну.

Внутрішній вигляд щита, де видно розміщення обладнання та кабельну організацію, наведено на (Рисунках 3.18 та 3.19). Це дозволяє візуально оцінити логіку монтажу та зручність технічного обслуговування системи.



Рисунок 3.18 – внутрішній вигляд щита в приміщеннях



Рисунок 3.19 – внутрішній вигляд щита в приміщеннях

### 3.6.2 Структура центрального щита з панеллю оператора

Структура головного щита, розміщеного у технологічному коридорі складу. У цьому щиті інтегруються:

- джерело живлення та силовий захист мережі 230 V AC;
- панель оператора Weintec cMT3072X (функції HMI + вбудований PLC CODESYS);
- внутрішня плата введення/виведення та клемні блоки для зовнішніх зв'язків;
- резервне живлення та грозозахисні елементи.

До складу головного щита входить низка пристроїв, що забезпечують функціонування інформаційно-вимірювальної системи та її взаємодію з іншими елементами обладнання. У Таблиці 3.2 наведено перелік основних компонентів, їхні позначення, а також технічні характеристики та функціональне призначення.

Таблиця 3.2 обладнання головного щита

| Позначення | Пристрій                           | Характеристика / функція                                                                           |
|------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1         | Weintec cMT-3072X (7", 1024 × 600) | Візуалізація, історія та архів, веб-сервер EasyWeb 2.0, Modbus-TCP master.                         |
| B1         | Автоматичний вимикач 2 P, 6 A      | Захист внутрішньої силової шини 230 V AC.                                                          |
| B2         | Блок живлення Microl БП 30H-24     | Живить HMI та периферійні лінії RS-485.                                                            |
| B3         | Реле резервного живлення (опція)   | Автоматичне перемикавання на UPS 24 V при зникненні мережі.                                        |
| TB         | Клемні блоки WAGO TOPJOB®          | a) живлення 230 V AC, 24 V DC; b) Modbus-RTU шина до локальних щитів; c) Ethernet 10/100 на мережу |
| GND/PE     | Шина заземлення                    | Єдине точкове заземлення корпусу та екранів кабелів.                                               |

#### Розміщення та монтаж:

- Корпус — металевий бокс IP54 (400 × 300 × 200 мм) з перфорованою монтажною панеллю та вентиляційною решіткою.
- Панель сМТ встановлена у дверцятах через ущільнювач, що забезпечує герметичність.
- Жили живлення та сигнальні траси розділені гофрованим рукавом Ø 16 мм (чорний), що видно у верхньому лівому куті.
- Для уникнення петлі заземлення екрани RS-485 підключено лише з боку НМІ.

#### Логічна роль центрального щита:

1. Комунікаційний вузол – збирає дані з 10 локальних щитів (Modbus-RTU) та агрегує у внутрішню БД НМІ.
2. Візуалізація – відображення графіків і таблиць у режимі реального часу (розділ 3.3).
3. Архівація – періодичний лог на USB-Flash (32 GB) та синхронізація CSV архіву по FTP.
4. Дистанційний доступ – веб-інтерфейс EasyWeb 2.0 та мобільний клієнт сМТ Viewer (див. розділ 3.5).
5. Діагностика – світлодіод DC-ОК на БП та індикатор Alive на НМІ дозволяють швидко визначити несправність.

На рисунку 3.20 зображено внутрішню структуру головного щита з встановленою панеллю оператора. Візуально представлено розташування основних компонентів, перелік яких наведено в таблиці 3.2.



Рисунок 3.20 – внутрішня структура щита з панеллю оператора

### 3.7 Оцінка вартості реалізованої системи

Для повного функціонування автоматизованої системи контролю рівноважної вологості було змонтовано такі типи електрощитів:

1. Щит приміщення (локальний) — встановлюється в кожному контрольованому приміщенні, включає:
  - Модуль MAS-100 — 1 шт
  - Автоматичний вимикач Hager — 1–2 шт
  - Клеми WAGO — 6 шт
  - Корпус пластмасовий — 1 шт
  - Датчик БПВТ-423 — 1 шт
  - З'єднувальні дроти, наконечники
  - *Орієнтовна вартість:* 5 800–6 200 грн

2. Центральний щит з панеллю НМІ — відповідає за збір, візуалізацію та архівацію даних:

- Панель оператора Weintec MT8103iE — 1 шт
- Блок живлення МІКРОЛ БП 36Н-1К — 1 шт
- Автомати, реле, клемники, захист
- Комунікаційні модулі: Ethernet/RS-485
- Промисловий корпус IP54
- *Орієнтовна вартість:* 17 000–19 000 грн

3. Комунікаційні кабелі (RS-485, живлення)

- Кабель інтерфейсу RS-485:
- Тип: симетричний екранований кабель звитої пари
- Марка: KBK-П-2х2х0.75 або J-Y(St)Y 2х2х0.8
- *Вартість за об'єкт:* 1 200–1 500 грн

Вартісна оцінка запропонованої інформаційно-вимірювальної системи наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 оцінка вартості запропонованої системи

| Компонент                  | Кількість | Вартість (грн) | Сума (грн) |
|----------------------------|-----------|----------------|------------|
| Щити приміщень             | 4         | ~6 000         | ~24 000    |
| Центральний щит з НМІ      | 1         | ~18 000        | ~18 000    |
| Кабелі, витратні матеріали | -         | -              | ~1 500     |
| Разом:                     |           |                | ~43 500    |

Примітка: Усі ціни наведено на основі ринкових пропозицій станом на квітень 2025 року, без врахування ПДВ та витрат на монтаж.

### 3.8 Висновки до розділу

У третьому розділі було детально описано реалізацію програмного забезпечення для автоматизованої системи збору, обробки, візуалізації та архівації параметрів навколишнього середовища. Проєкт базується на сучасних промислових рішеннях, які забезпечують надійну інтеграцію апаратної та програмної частин системи. Розроблена система дозволяє здійснювати ефективний контроль температури та вологості у виробничих приміщеннях.

Початковим етапом стало створення програми в середовищі CODESYS, що відповідає за зчитування інформації з цифрових сенсорів, підключених до модулів MAS-100 через інтерфейс RS-485. Програмна логіка була побудована з урахуванням особливостей протоколу обміну, обробки отриманих значень та подальшої передачі даних на HMI-панель. У розділі наведено графічні схеми програми та скріншоти ключових етапів її реалізації.

Наступним етапом стало створення людино-машинного інтерфейсу за допомогою SCADA-середовища EasyBuilder Pro. Було реалізовано головне вікно та окремі екрани для кожного контролюваного приміщення. Інтерфейс передбачає відображення показників температури та вологості, використання кнопок керування, графіків і індикаторів. Особлива увага приділена зручності користування та наочності подання інформації.

Третій етап передбачав впровадження архівації даних. Була використана функція логування тегів для збереження значень параметрів у базі даних, що розміщується у внутрішній пам'яті пристрою або на зовнішньому USB-носії. У розділі представлено структуру процесу логування та приклади відповідних налаштувань.

Окремо розглянуто питання дистанційного доступу. За допомогою інструментів EasyWeb 2.0 та cMT Viewer передбачено можливість моніторингу та керування системою як локально, так і віддалено. Це є суттєвою перевагою в умовах обмеженого фізичного доступу до об'єкта.

У контексті апаратної реалізації було розглянуто структуру електроцитів із



демонстрацією як внутрішнього компонування елементів, так і зовнішнього вигляду зі встановленою панеллю HMI. Це дозволяє краще зрозуміти принципи монтажу та подальшого обслуговування системи.

На завершення подано приблизну оцінку вартості компонентів (див. табл. 3.3), що підтверджує економічну доцільність запропонованого рішення. Застосування доступних технічних засобів дозволило забезпечити баланс між вартістю та функціональністю без втрати надійності.

У третьому розділі продемонстровано розробку прикладного програмного забезпечення для системи моніторингу — від побудови логіки збору даних і створення інтерфейсу користувача, до налаштування архівації та організації віддаленого доступу.

## ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено сучасну інформаційно-вимірювальну систему, призначену для контролю рівноважної вологості в навколишньому середовищі. Створене рішення забезпечує автоматизований процес збору, первинної обробки, архівації та візуалізації параметрів мікроклімату — зокрема температури та вологості — з використанням доступних і надійних технічних засобів.

Проведений аналіз існуючих технічних рішень дозволив обґрунтувати доцільність створення системи на базі сенсорів температури та вологості, модулів збору даних MAS-100 та панелі оператора Weintec. Було визначено основні функціональні вимоги до системи та підібрано апаратні й програмні засоби, що забезпечують реалізацію поставлених завдань.

У процесі реалізації було розроблено програмне забезпечення в середовищі Codesys, яке виконує обробку вхідних даних та передає їх на HMI. Для взаємодії з користувачем створено інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс у SCADA EasyBuilder Pro, який надає повну візуалізацію поточних параметрів та історичних даних.

Особливу увагу приділено впровадженню функцій архівації та віддаленого доступу. Завдяки використанню інструментів EasyWeb 2.0 та cMT Viewer, користувачі мають змогу контролювати стан об'єкта в режимі реального часу через локальну або глобальну мережу. Проведене тестування підтвердило стабільність роботи системи та відповідність заявленим функціональним можливостям.

Економічна оцінка реалізації (див. табл. 3.3) показала, що запропонована конфігурація є прийнятною для впровадження на середніх підприємствах. Вартість впровадження дозволяє забезпечити автоматизацію контролю без суттєвого збільшення витрат, що позитивно впливає на ефективність зберігання продукції та зменшує залежність від ручного моніторингу.

Запропонована система є гнучкою, масштабованою та перспективною щодо подальшого розвитку. Надалі її можливо розширити шляхом інтеграції з хмарними

платформами, додавання функцій прогнозування на основі аналітики або штучного інтелекту, а також автоматичного регулювання кліматичних параметрів відповідно до заданих умов.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 31348:2009. Автоматизація технологічних процесів. Терміни та визначення понять. К. : Держспоживстандарт України, 2009. 18 с.
2. Прокди В. С., Бутенко А. І. Системи автоматизованого управління технологічними процесами : навч. посіб. К. : Вища школа, 2017. 304 с.
3. Власюк М. І. Мікроконтролери та сенсори у промислових системах. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2020. 192 с.
4. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers. Part 3: Programming languages. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2013. 245 p.
5. Weintek Labs, Inc. EasyBuilder Pro User Manual. 2023. 448 с. Режим доступу: [https://www.weintek.com/download/EBProManual\\_EN.pdf](https://www.weintek.com/download/EBProManual_EN.pdf) (дата звернення: 10.05.2025).
6. CODESYS – The leading IEC 61131-3 automation software. Режим доступу: <https://www.codesys.com> (дата звернення: 10.05.2025).
7. Офіційний сайт компанії Weintek. Режим доступу: <https://www.weintek.com> (дата звернення: 10.05.2025).
8. Архітектура SCADA-систем та їх застосування в промисловості // Автоматизація в промисловості. 2021. № 3. С. 23–29. Режим доступу: <https://avtp.com.ua/scada-architecture> .
9. Технічна документація на прилад БПВТ-423 / ТОВ «Мікрол». Режим доступу: <https://microl.ua/bpvt-423> .
10. Технічна документація на модуль MAS-100 / ТОВ «Мікрол». Режим доступу: <https://microl.ua/mas-100> .
11. DHT22 (AM2302) Temperature and Humidity Sensor. Adafruit Learning System. Режим доступу: <https://learn.adafruit.com/dht> .