

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Комп'ютерно-інтегрованих технологій  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розробка автоматизованої системи керування процесом  
спалювання біомаси**

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КТ-41  
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Яцишин Р.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Стухляк Д.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Чихіра І.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Медвідь В.Р.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023





## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи становить \_\_ слайдів. Об'єм пояснювальної записки складає \_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_ друкованих сторінок формату А4.

У роботі описано структуру побудови маломасштабної системи автоматизації IoT, прикладом якого є гібридний енергетичний модуль. На основі наданої тут інформації інші дослідницькі проекти або малі підприємства можуть вивчати та застосовувати знання для своїх випадків.

Рішення описувало систему автоматизації на трьох рівнях, включаючи польовий рівень, рівень управління та рівень нагляду. На польовому рівні встановлено нові датчики температури та витрати, насоси, перемикачі EnOcean та термінальні карти.

На рівні управління до існуючих проектів додано нові програми, що керують процесом горіння, циркуляцією води, системою освітлення.

Структуру проекту також було змінено, щоб покращити продуктивність системи, а також досвід програмування. Змінні процесу були доступні через сервер OPC UA, що працює під керуванням TwinCAT.

З OPC UA нові програми з різних платформ можуть легко отримати доступ для моніторингу та контролю процесів у майбутньому. Контрольний рівень складався з програми-шлюзу, бази даних, візуалізації показників і веб-програми.

Ключові слова: БІОМАСА, КОНТРОЛЕР, СКАДА, КОНТРОЛЬ, ПАРНИКОВІ ГАЗИ.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>7</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>8</b>
1.1. Постановка задач розробки автоматизованої системи .....	8
1.2. Система автоматизації.....	10
1.3 Промисловий Інтернет речей (IIoT). .....	12
<b>2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>16</b>
2.1. Спалювання біомаси з низьким вмістом вуглецю.....	16
2.2 Сонячні колектори тепла .....	18
2.3 Фотовольтаніки. ....	19
2.4 Комбіноване тепло та електроенергія .....	21
2.5. Інфраструктура системи. ....	23
2.6. Польовий рівень. ....	25
2.7. Давачі. ....	26
2.8. Приводи.....	31
<b>3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>35</b>
3.1 Рівень керування програмовані логічні контролери .....	35
3.2. Структура змінних.....	37
3.3. Мови програмування ПЛК.....	38
3.4. Промислові протоколи та зв'язок .....	40
3.5. Рівень СКАДА.....	50
Веб-додаток: React.....	55
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ .....</b>	<b>58</b>
4.1. Загальна характеристика приміщення і робочого місця.....	58
4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці.....	59
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	66
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>69</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>70</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СИМВОЛІВ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ПГ - Парникові гази

ПНЕЗТМВТ - Проект низьковуглецевої енергоефективності з  
технологією мікрокомбінованого виробництва тепла та електроенергії

ТОЕ – Проект енергоефективності з точним контролем

ОЦР – Органічний цикл Ренкіна

ІоТ – Інтернет речей

ПЛК – програмований логічний контролер

SCADA - система диспетчерського керування та збору даних

## ВСТУП

Екологічна парадигма вимагає різних підходів до використання ресурсів і зменшення викидів парникових газів (ПГ) для задоволення людських потреб і потреб, які утворюють шкідливі відходи та скорочуючи кількість осмиду вуглецю. Маючи значний вплив на навколишнє середовище, енергетична галузь повинна вжити заходів, щоб кваліфікувати себе як члена ресурсоефективної та вуглецево-нейтральної циклічної економіки.

Глобальна стратегія цієї революції передбачає використання переваг відновлюваних джерел енергії, вдосконалення процесів виробництва енергії, зниження транспортних витрат і вдосконалення методів зберігання енергії. У контексті економіки Фінляндії уряд підкреслив важливість заміни звичайних електростанцій, що виснажують навколишнє середовище, децентралізованими установками з відновлюваної енергії. На додаток до цього, енергетичні процеси повинні бути оптимізовані та точно контрольовані, щоб досягти максимально ефективною енергії.

Двосторонній енергетичний ринок також заохочується до збалансування попиту та пропозиції в години пік. Використовуючи ці процедури, малі енергетичні системи можуть використовувати найбільш оптимальні локальні ресурси, легко контролювати процес відповідно до погодних умов та інших ситуацій, при низьких транспортних витратах і втратах тепла. Крім того, місцеве виробництво тепла та електроенергії допомагає малонаселеним районам бути енергетично самодостатніми та мінімізувати залежність від громадського постачання.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Постановка задач розробки автоматизованої системи

Проект низьковуглецевої енергоефективності з технологією мікрокомбінованого виробництва тепла та електроенергії (ПНЕзТМВТ) був проведений Університетом прикладних наук Хяме і дослідницьким підрозділом НАМК Tech. Це було продовження проекту «Енергоефективність з точним контролем» (ТОЕ). Ці проекти, дотримуючись вищезазначених стратегій, були спрямовані на розробку структури виробництва енергії для односімейних будинків, невеликих ферм або житлових будинків. Наприкінці 2018 року проект ТОЕ призвів до створення гібридного модуля, який використовує процес горіння на основі біотехнологій, сонячну енергію та низькотемпературні фазоперехідні матеріали. На цій основі проект ПНЕзТМВТ зосередився на доопрацюванні існуючого модуля з впровадженням органічного циклу Ренкіна (ОЦР) і технології СНР, а також системи автоматизації промислового Інтернету речей (ІоТ).

Проект, що складається з чотирьох етапів або робочих пакетів, спочатку оптимізує систему автоматизації для здійснення автоматичного керування процесом спалювання, потоками енергії та системами генерації електроенергії. На другому етапі розглядаються всі варіанти органічного циклу Ренкіна (ОЦР), їх принципи роботи, впровадження та встановлення, щоб знайти найбільш оптимальний і економічний для інтеграції з існуючою системою.

Третій робочий пакет включає перевірку методів зберігання енергії. Вибрані методики вивчатимуть протягом року, після чого будуть визначені можливості їх зберігання. Результати, а також дослідження, проведені під час проекту, будуть опубліковані на міжнародних та національних форумах.



За допомогою цих методів пояснюються переваги та можливості розробки та інтеграції такого енергетичного гібридного модуля, що заохочує компанії використовувати ці ідеї у своїх проектах і бізнесі.

Ця робота була розроблена для проектування системної інфраструктури та розробки системи автоматизації для реалізації проекту ПНЕзТМВТ. Робота охоплює всі технічні аспекти в системі автоматизації, від встановлення та підключення польових приладів, розробки логіки керування для програмованого логічного контролера (ПЛК), до стандартизації схеми даних, обробки потоків даних і створення програми візуалізації вимірювань.

Робота відповідає першим трьом рівням ієрархії системи автоматизації: польовий рівень, рівень контролю та рівень нагляду, як показано на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 - Ієрархія системи автоматизації.

На першому рівні польові пристрої та виконавчі механізми, включаючи насоси, давачі температури та потоку, термінальні карти, які будуть встановлені до існуючої системи та електричних шаф.

Доповнення було пояснено отриманням додаткової інформації та контролю над системою автоматизації, щоб можна було досягти оптимізації процесу запису.

На другому рівні в роботі розробляються нові програми ПЛК, основою яких була система з проекту ТОЕ. У деталях етап включає реорганізацію проекту та структури даних, розробку точного контролю над усім модулем і створення сервера з уніфікованою архітектурою зв'язку відкритої платформи (OPC UA), який буде використовуватися на третьому рівні.

На наглядovому рівні виміряні та контрольовані дані будуть оброблені перед передачею в базу даних для зберігання та моніторингу. Це означає, що вимірювання та експерименти в процесі можна буде переглядати, редагувати, вивчати та зберігати в більш інформативних і зручних для користувача формах.

Інновація введена в експлуатацію системи автоматизації полягає в тому, що вона використовуватиме переваги OPC UA та технології IoT, наближаючи традиційні промислові процеси до найсучасніших додатків, фреймворків і технологій.

Таким чином, дані з системи можна легко отримати, відстежувати або отримувати для будь-якого подальшого розвитку. Більшість роботи в відноситься до першого пакету робіт; однак ці результати будуть скелетом, який визначає системну інфраструктуру проекту ПНЕзТМВТ.

## **1.2. Система автоматизації**

У сфері техніки та промисловості «автоматизацію можна загалом визначити як процес виконання заздалегідь визначеної послідовності операцій з невеликим залученням людської праці або взагалі без нього, з використанням спеціалізованого обладнання та пристроїв, які виконують і контролюють виробничі процеси. Автоматизація, у повному розумінні, досягається за допомогою різноманітних пристроїв, датчиків, приводів,

методів і обладнання, які здатні спостерігати за виробничим процесом, приймати рішення щодо змін, які необхідно внести в роботу, і контролювати усі його аспекти».

Хоча автоматизація була запроваджена в середині 1940-х років, лише в середині 20-го століття вона поширилася та виявилася практичною в галузі. Це сталося завдяки інтеграції з комп'ютерною та програмною інженерією. Завдяки цьому прогресу давачі, виконавчі механізми та обладнання можна контролювати та спостерігати за ними, використовуючи заздалегідь визначені умови за допомогою комп'ютерних програм. Це також усунуло потенційні людські помилки та забезпечило використання складних електричних конструкцій та методів електричних схем.

Переваги, які технології автоматизації приносять виробничим галузям або енергетичним процесам, безсумнівні. По-перше, і найголовніше, операторам процесів більше не доведеться працювати в небезпечних зонах і навколишньому середовищі, що зменшує смертельні ризики на підприємствах. Безпека та здоров'я людини завжди є пріоритетом не лише в галузі, а й у будь-якому іншому аспекті життя.

Ще одна велика перевага застосування автоматизації у виробничих процесах полягає в тому, що вона покращує кількість і якість продукції. Роботи, конвеєри чи зварювальні машини можуть працювати безперебійно, отже, забезпечуючи значно вищу продуктивність, ніж робітники, одночасно зменшуючи перевтому та втому. Хоча вироби ручної роботи, як правило, вважаються зробленими з високою майстерністю та ретельністю, низька точність серед них неминуча.

У професійних великих виробників така точність і невизначеність небажані. Крім того, змінюючи управління процесами відповідно до різних умов, можна досягти енергетичної та матеріальної ефективності за допомогою автоматичних програм.

Переваг від використання технології можна назвати більше; однак ці фактори вже достатньо переконливі, щоб стверджувати, що автоматизація є обов'язковою для сучасних галузей промисловості.

Система автоматизації зазвичай складається з польових пристроїв, ПЛК, систем диспетчерського керування та збору даних (SCADA), а також потенційно системи управління виробництвом (MES) і програми планування ресурсів підприємства (ERP). Кожна з них включає менші компоненти.

Польові пристрої можуть стосуватися будь-яких фізичних елементів на поверххах, таких як датчики, двигуни, труби, насоси, клапани тощо. Ці прилади надсилають сигнали до ПЛК і отримують сигнали від них. У шафах ПЛК підключаються до плат вводу та виводу (I/O), терміналів та інших електричних пристроїв. Шафи зазвичай встановлюють на стінах заводських майданчиків.

У більш значущих проектах, де використовується кілька ПЛК, потрібна система SCADA для контролю та отримання даних з них. У середніх і великих компаніях MES і ERP потрібні для моніторингу виробничої статистики, а також інших аспектів бізнесу та людських ресурсів.

Оскільки у роботі розглядається технічна перспектива системи автоматизації, впровадження MES та ERP для системи автоматизації проводитися не буде.

### **1.3 Промисловий Інтернет речей (ІоТ).**

Промисловий Інтернет речей, підмножина Інтернету речей, що відноситься до промислових польових пристроїв і ПЛК, які мають, бажано індивідуальне, підключення до програм і додатків автоматизації. Завдяки цьому підключенню машини можуть обмінюватися, обробляти, контролювати, аналізувати вимірювання в реальному часі та контролю за допомогою програм нагляду, таким чином підвищуючи ефективність системи з технічної та економічної точки зору.

Це можливо завдяки стрімкому розвитку апаратного та програмного забезпечення у наш час. Розробка напівпровідникових пристроїв прогресує з точки зору щільності, обчислювальних можливостей та енергоефективності. Таким чином, виробники можуть інтегрувати їх у менші пристрої, таким чином надаючи їм більше можливостей. Разом із розвитком Інтернету в усьому світі інформаційні технології та розробки програмного забезпечення стали більш доступними та розвиваються швидшими темпами ніж будь-коли. Фреймворки та технології з відкритим вихідним кодом дозволяють кожному приєднатися та зробити внесок у спільний розвиток комунікації даних, серце IoT.

У рішенні IoT пристроями можуть бути давачі, приводи, ПЛК, телефони, годинники, освітлювальні прилади або будь-які пристрої, які генерують дані. Хоча пристрої Інтернету речей, здається, виробляють дискретну та безглузду інформацію, з ними не було б розумних будинків, штучного інтелекту, автономних фабрик або Індустрії 4.0.

Це перший вузол мережі, де виконуються дії та збираються дані для інших програм і технологій. Інші технології Industry 4.0 включають хмарні обчислення, периферійні обчислення, машинне навчання, великі дані тощо. На малюнку 2 показано роль пристроїв IoT у рішенні IoT. Дані з пристроїв будуть передаватися через хмарний шлюз або безпосередньо на сервер за допомогою стандартизованих протоколів. Загальні протоколи та стандарти IoT включають телеметричний транспорт із чергою повідомлень (MQTT), розширений протокол черги повідомлень (AMQP), Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, протокол обмежених програм (CoAP), радіочастотну ідентифікацію (RFID), EnOcean.

Брокер IoT використовуватиме дані як вхідні дані для інших програм, залежно від вимог кожного рішення. І навпаки, дані можуть надходити з додатків у хмарі та контролювати пристрої IoT для виконання відповідних дій.

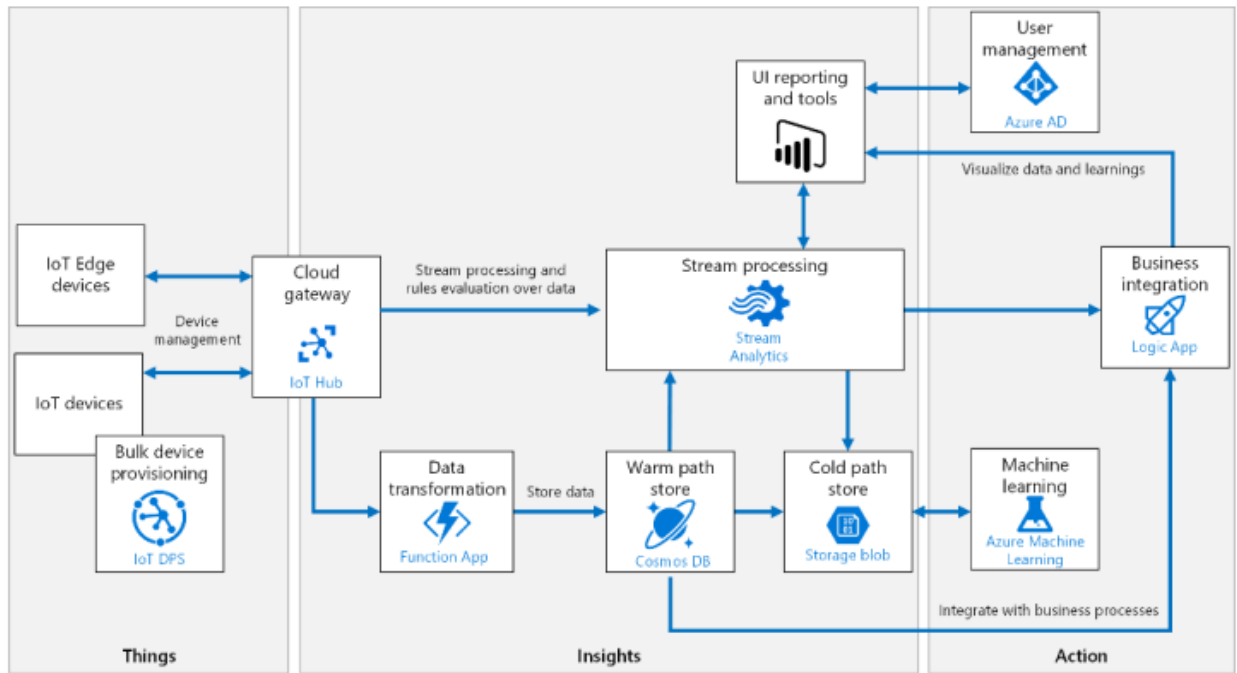


Рисунок 1.2 – Архітектура рішень IoT (еталонна архітектура Azure IoT).

У контексті індустрії автоматизації обмін даними зазвичай відбувається між польовими пристроями IoT, ПЛК і хмарними службами або додатками. Оскільки все більше і більше польових пристроїв підтримують IoT, більшість з них вважають, що ПЛК і їхні старі пристрої з керуванням вважаються пристроями або кінцевими точками IoT. Іншими словами, ПЛК можна розглядати як складний і багатозадачний пристрій IoT.

Після того, як дані ПЛК стануть доступними на брокері, будь-які інші додатки зможуть отримати до них доступ і контролювати їх без необхідності вносити будь-які фізичні чи логічні зміни на рівні поверху та в програмах ПЛК.

Це також була орієнтація комісії для проекту ПНЕЗТМВТ, яка полягає в тому, щоб зробити змінні процесу в гібридному модулі доступними та контрольованими на сервері, на основі якого можна створити програму для їх моніторингу та контролю. Загалом, впровадження ПоТ, що дає змогу аналізувати всі пристрої, їхні дані та метадані, принесе значні переваги бізнесу чи просто системі автоматизації. Величезні обсяги даних можна аналізувати, щоб спланувати виробництво відповідно до ресурсів і потреб,

скоротити час простою системи або організувати профілактичне технічне обслуговування.

Щодо проекту ПНЕзТМВТ, рішення IoT допоможе сповіщати про заправку спалюваних матеріалів, прогнозувати потреби в енергії в певні години пік і здійснювати реагування на потреби в енергії. Збір даних також важливий у такому дослідницькому проекті або подальших розробках та аналізі гібридного модуля.

## 2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1. Спалювання біомаси з низьким вмістом вуглецю.

Спалювання біомаси – це процес, у якому паливо та кисень ( $O_2$ ) реагують при високих температурах, у результаті чого утворюються вуглекислий газ ( $CO_2$ ), пара та тепло. Окрім теплової енергії, спалювання біомаси також використовується для виробництва електроенергії та виробництва енергоносіїв шляхом впровадження технологій термохімічного та біохімічного перетворення. Це один із найперших методів, який використовувався для створення вогню, який досі використовується в багатьох сферах енергетики завдяки своїй високій ефективності.

Незважаючи на те, що процеси спалювання біомаси, малі та заводські, функціонують у всьому світі, суттєвих змін у скороченні викидів вуглецю не було. Ось чому ці процеси втратили популярність в енергетичній промисловості в порівнянні з іншими відновлюваними ресурсами та технікою генерації енергії, як-от сонячна енергія, теплові насоси, централізоване опалення тощо. Тому для оптимізації потенціалу спалювання біомаси слід застосовувати автоматизацію та інженерні процеси, що зменшують вуглецевий слід.

Як обговорював Ліндгрєн у своєму дослідженні щодо оптимізації автопілота для біокотла в гібридній системі опалення, оптимізацію процесів згоряння можна розглядати з чотирьох різних точок зору, включаючи економічну, екологічну, орієнтовану на викиди та мінімальне обслуговування. Якщо економічні обмеження є вирішальним фактором, робота спрямована на виробництво тепла з можливо найнижчими експлуатаційними витратами.

З іншого боку, екологічно орієнтовані установки використовуватимуть доступне паливо, щоб зберегти вичерпані невідновлювані джерела. Щодо



оптимізації, орієнтованої на викиди, третім варіантом є вдосконалення процесів спалювання таким чином, щоб вони викидали якомога менше парникових газів.

Останній варіант - зосередитися на проектуванні та створенні енергетичної системи, яка служить роками без спеціального обслуговування та змін у програмах автоматизації. Важко задовольнити всі чотири вимоги одночасно. Таким чином, дизайнери повинні піти на компроміс і знайти збалансоване налаштування, причому одне з них є головною метою оптимізації.

З точки зору інженерії автоматизації, занадто багато параметрів у процесах роблять програми системи надмірно складними та неконтрольованими. Оскільки однією з цілей проекту ПНЕЗТМВТ є створення гібридного енергетичного модуля, який виробляє енергію з майже нульовими викидами, оптимізація процесу згоряння буде зосереджена на зниженні викидів вуглецю та побічних продуктів. Регулюючи співвідношення палива та повітря для згоряння, можна досягти чистого згоряння та ефективної теплової енергії. Звичайне спалювання біомаси призводить до утворення небажаних незгорілих газів, таких як азот ( $N_2$ ), вуглекислий газ ( $CO_2$ ), чадний газ (CO), які є шкідливими для навколишнього середовища.

Таким чином, застосовуючи вимірювання в реальному часі та автоматизацію, гази можна спалювати для досягнення цільового показника без викидів. Крім того, лямбда-давачі будуть використовуватися для вимірювання кількості незгорілого газу в димоході, а потім вторинний вентилятор подаватиме відповідну кількість  $O_2$  для другого спалювання, яке не залишає жодних парникових газів.

Оскільки склад і властивості біопалива відрізняються, контрольні значення процесу згоряння повинні регулюватися відповідно до ситуації, щоб підтримувати високий рівень ефективності.

## 2.2 Сонячні колектори тепла

Сонячна енергія, безсумнівно, є найчистішим, найдоступнішим і найпоширенішим ресурсом з усіх. Оскільки в 2010-х роках активізувалися рухи щодо захисту навколишнього середовища та збереження ресурсів викопного палива, сонячна енергія стала використовуватися не лише в промислових масштабах, але й у домашніх умовах. Це також завдяки розвитку сонячних технологій, які покращили продуктивність систем сонячної енергії та зменшили витрати на встановлення.

Ефективність систем сонячної енергії значною мірою залежить від місця розташування та погодних умов у регіонах, тому настійно рекомендується, щоб система сонячної енергії працювала разом з деякими іншими джерелами енергії. Крім простої інтеграції, зменшення викидів CO<sub>2</sub>, безкоштовне заряджання та потенційні фінансові переваги є функціями, які допомагають сонячній енергії переважити інші невідновлювані та відновлювані ресурси.

Для використання сонячного випромінювання двома поширеними формами виробництва енергії є генерація сонячного тепла та фотоелектричні системи. Що стосується сонячного тепла, технологія збирає енергію з сонячного випромінювання та нагріває побутову та опалювальну воду через колектори. Існує два види сонячних колекторів: плоскі та вакуумно-трубні. Кожен з них має свої переваги і недоліки; однак принципи їх роботи схожі.

Плоский колектор, як випливає з назви, має широку плоску поглинаючу поверхню темного кольору. Він поглинає сонячне випромінювання та передає тепло рідині, що циркулює під ним. Він також складається з ізоляційного шару, зазвичай виготовленого з кам'яної вати або пінополіуретану, який допомагає зменшити втрати тепла в навколишнє середовище. Плоскі колектори мають низьку вартість і вартість обслуговування, але також низький рівень ефективності.

З іншого боку, висока ефективність вакуумованих труб дозволяє системам інтегруватися з високотемпературними нагрівальними блоками з меншою площею. Коли сонячне світло потрапляє на поглинаючий матеріал трубок, відбувається кипіння рідини всередині трубок. Пари рідини надходять до колби конденсатора, де теплова енергія відводиться до основного потоку води. Потім пара конденсується і повертається до труб. Рис. 2.1 більш наочно демонструє потік енергії в вакуумованих трубчастих сонячних колекторах.

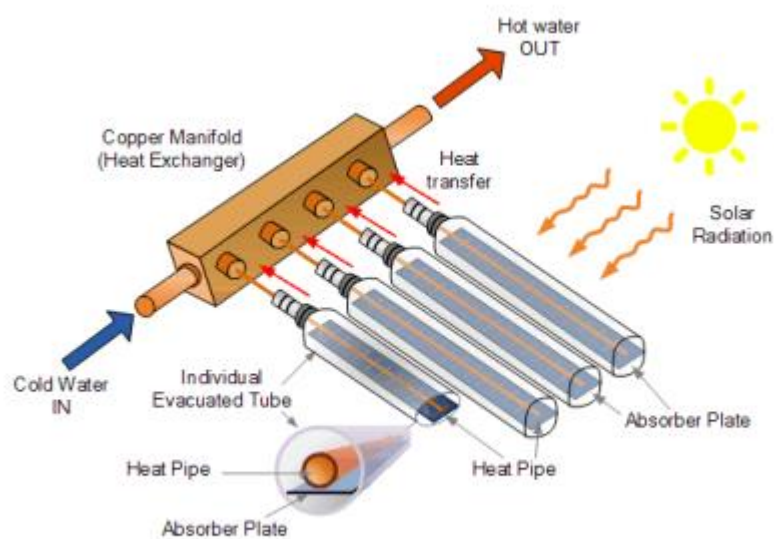


Рисунок 2.1 - Принцип роботи вакуумного трубчастого колектора.

### 2.3 Фотовольтаніки.

Сонячні фотовольтаніки (PV) використовують напівпровідники для перетворення сонячного випромінювання в електроенергію постійного струму (DC). Для виготовлення сонячних панелей, масивів сонячних елементів використовуються різні види напівпровідникових матеріалів. Вибір матеріалу визначає ефективність сонячних панелей, а отже, всієї фотоелектричної системи. Як правило, комерційні фотоелектричні панелі перетворюють близько 18-25% енергії, яку вони отримують від сонця.

Ці показники досягнуті завдяки величезній кількості досліджень щодо вдосконалення фотоелектричної технології за останні десятиліття. Незважаючи на те, що ефективність не така висока, як у інших електростанцій, фотоелектрична технологія здатна забезпечувати достатньо електроенергії для потреб усього світу завдяки багатим і доступним джерелам. Існує три широко відомі типи сонячних елементів: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові. Кожен з них виготовлений з різних напівпровідникових матеріалів, має свої характеристики, переваги та недоліки.

Однак принципи їх роботи зазвичай схожі. Конструкція окремої сонячної батареї включає леговані напівпровідникові області N-типу та P-типу, а також шар, який називається з'єднанням, що лежить посередині, як показано на рис. 2.2. Області N-типу містять переважно вільні електрони, а область P-типу містить переважно вільні отвори.

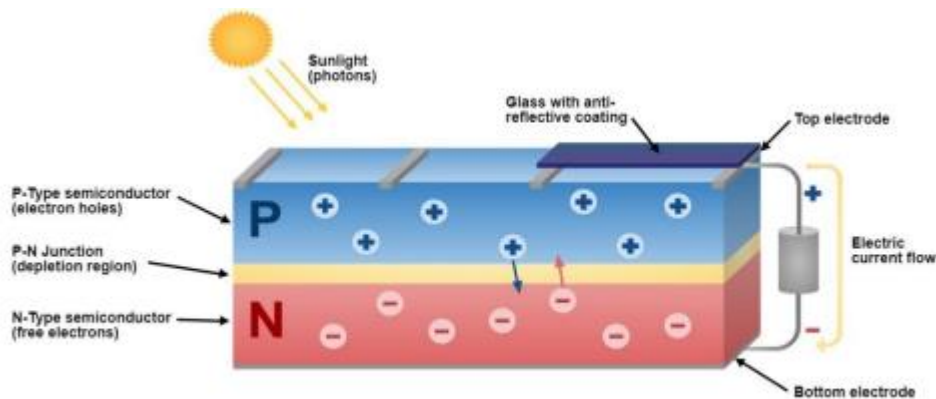


Рисунок 2.2 – Конструкція сонячної батареї.

Різниця створює електричне поле, не даючи частинкам рухатися між шарами. Тоді як сонячне світло - це хвиля частинок, що містять енергію, званих фотонами. Коли сонячне світло потрапляє на сонячні елементи, енергія розриває електричні зв'язки та звільняє електрони. Скориставшись тим, що електрони намагаються дістатися до іншого шару, можна створити зовнішній зв'язок між областями N-типу та P-типу, допомагаючи електронам протікати, що є струмом.

Цей струм дорівнює слабкий, тому, щоб посилити його, сонячні батареї серіалізуються в масиви та модулі, щоб зробити сонячні панелі, потужність яких вища. Зазвичай сонячна панель складається з 60 або 72 елементів.

Використовувана електрика є постійним струмом. Тому, щоб використовувати її для побутових приладів, фотоелектрична система повинна мати інвертори або мікроінвертори для перетворення її в змінний струм (АС). Остання набуває все більшої популярності в фотоелектричних системах завдяки своїй здатності відстежувати та оптимізувати роботу окремих панелей.

У проекті ПНЕзТМВТ, окрім сонячних колекторів, сонячна енергія також використовується для виробництва невеликої кількості електроенергії. Фотоелектрична система була розгорнута швидше для експериментальних цілей, ніж як центральний блок виробництва електроенергії. Чотири сонячні панелі були встановлені на стіні зовні гібридного модуля. Система від Ruukki охоплювала площу приблизно 3,2 м<sup>2</sup> і була спрямована на південний захід.

Панелі були з'єднані за допомогою звичайного струнного конвертера SMA Sunny Boy. Розумний інвертор виконує всі вимірювання в системі, від вхідного постійного струму, альтернативного струму (АС) на трьох лініях до внутрішньої температури та опору ізоляції постійного струму. Дані з інвертора інтегруються в систему автоматизації через промисловий протокол Modbus.

## **2.4 Комбіноване тепло та електроенергія**

Комбіноване тепло та електроенергія (СНР), або когенерація, стосується енергетичних двигунів та енергетичних установок, які одночасно виробляють два види енергії, тепло та електроенергію, з одного джерела палива. Зазвичай ТЕЦ удосконалюють звичайні системи, відновлюючи втрачену інакше енергію для вигідного використання. Система, що використовує ТЕЦ, може досягти енергоефективності до 85%.. Збільшення

кількості корисної виробленої енергії також означає скорочення видобутку та використання викопного палива, отже, збереження викопного палива, захист виснаженого навколишнього середовища та внесок у сталий розвиток.

Директива 2004/8/ЕС визначила мікро-ТЕЦ (mCHP) як когенераційну установку, максимальна потужність якої не перевищує 50 кВт. Його найбільша перевага порівняно з великогабаритними ТЕЦ полягає в тому, що він виключає втрати тепла за рахунок транспортування на великі відстані та передачі тепла в системі централізованого тепlopостачання.

Система mCHP може виробляти електроенергію як основний продукт і використовувати тепло як додаткову форму енергії, або навпаки. У будь-якому випадку загальна ефективність усієї системи підвищується на 30-60 відсотків. Однак, оскільки кількість втрат енергії при транспортуванні тепла є вищою, ніж при розподілі електроенергії, мТЕЦ або ТЕЦ зазвичай будують поблизу місць, де буде використовуватися теплова енергія.

У випадку з мТЕЦ – це невеликі комерційні та житлові будівлі. Оскільки виробництво тепла та електроенергії відбувається одночасно, оператори когенераційних установок повинні враховувати надлишкову енергію побічного продукту, реагуючи на попит первинної форми енергії, і навіть навпаки. Наприклад, якщо «побічний ефект» тепла, виробленого системою mCHP, перевищує потребу, і немає способів його зберігання або утилізації, споживання палива має бути зменшено, що, в той же час, зменшує електроенергію виробництва. Тому ці фактори слід уважно враховувати при проектуванні ТЕЦ. Проблемою для енергетичної галузі Фінляндії є різні потреби протягом року.

Влітку попит низький, тому що температура повітря висока, а дні довші. З іншого боку, екстремальний холод взимку вимагає великої кількості теплової енергії. Водночас довші ночі призводять до більшої потреби в електроенергії для освітлення. Відновлювані ресурси, такі як сонце та вітер, залежать від погодних умов; таким чином, енергетичні установки не можуть гарантувати задоволення потреб.

Таким чином, вони не можуть діяти як основний, але допоміжний енергетичний блок для процесу спалювання біомаси, який є більш незалежним і контрольованим. Гібридний енергетичний модуль VEnеСТ складається з процесу спалювання біомаси, невеликої сонячної фотоелектричної системи, сонячних колекторів і ORC.

Остання технологія буде розгорнута на пізніх стадіях проекту; таким чином, його реалізація не буде обговорюватися в рамках роботи

## **2.5. Інфраструктура системи.**

Як згадувалося раніше, введено в експлуатацію систему автоматизації можна розділити на три рівні: польовий рівень, рівень управління та рівень нагляду. На першому рівні польові пристрої несуть основну відповідальність за передачу даних машин і процесів на рівень керування для моніторингу та аналізу. Польовими пристроями були давачі та виконавчі механізми. Окрім ПЛК як центрального контролера, було також два незалежних пристрої, Resol і PV, які збирали дані для системи. Три основні польові пристрої, PLC, Resol і PV, спілкувалися один з одним через Modbus і телеметричний транспортний протокол черги повідомлень (MQTT).

Дані з польового рівня потім обмінювалися програмами PLC, які належали до другого рівня, через уніфіковану архітектуру комунікацій відкритої платформи (OPC UA). На рівні керування ПЛК міг контролювати вимірювання процесу в режимі реального часу та відповідним чином керувати виконавчими механізмами, щоб максимізувати енергоефективність і мінімізувати рівень викидів ПГ.

Безперервний нагляд був автоматичним, оскільки ПЛК був запрограмований із заздалегідь визначеними алгоритмами. OPC UA також підключився до іншої програми MQTT, яка публікує критичні дані на віддалений центральний сервер. Сервер і всі його додатки потрапили на третій рівень системи автоматизації. Цей рівень включав базу даних,

програму візуалізації показників і веб-програму. База даних зберігає всі дані, що надходять на центральний сервер для подальшого аналізу. Миттєво дані запитувалися з бази даних для візуалізації показників.

Усі запитувані дані були представлені у вигляді графіків, щоб підкреслити їх зміни з часом. Останньою програмою була веб-програма, яка відображала спрощену діаграму процесу з відповідними точками даних. Усі зазначені додатки склали систему автоматизації ПНЕзТМВТ, яка стала запорукою енергоефективності.

На рис. 2.3 проілюстровано архітектуру системи.

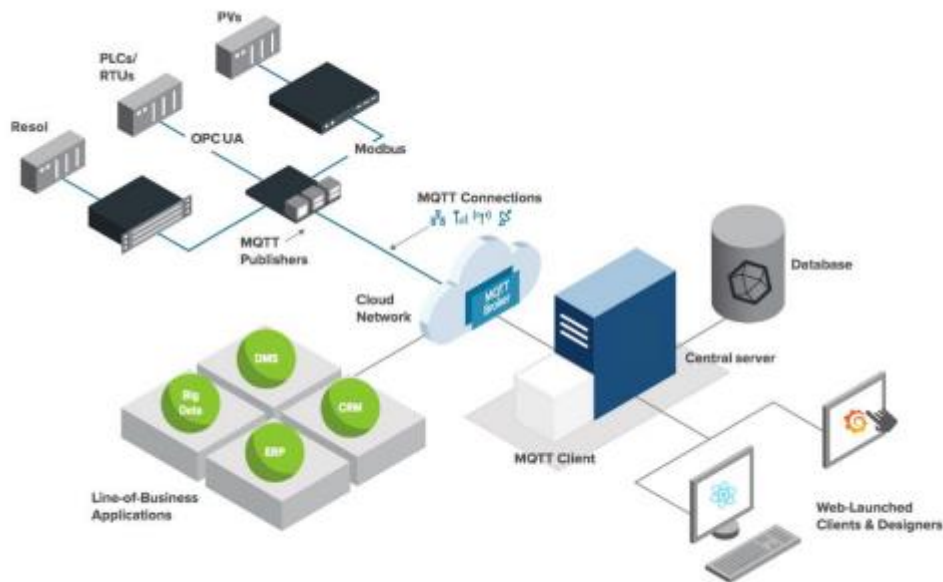


Рисунок 2.3 - Архітектура системи.

Кожен рівень системи автоматизації настільки ж важливий, як і один інший. Відсутність шару зробить всю систему непрацездатною.



## 2.6. Польовий рівень.

Цей рівень є найнижчим рівнем автоматизації в ієрархії автоматизації. На цьому рівні фізичний світ реального часу перетворюється на цифровий світ. Це також найбільш впізнаваний рівень з усіх, оскільки цей рівень включає більшу частину апаратного забезпечення системи. Компонентами польового рівня можуть бути перемикачі, кнопки, конвеєри, насоси, двигуни тощо.

В автоматизації та техніці процесів, виходячи з їх функціональних можливостей у системі, ці компоненти або пристрої зазвичай поділяються на дві групи: давачі та виконавчі механізми. Давачі — це пристрої, які вимірюють фізичні характеристики процесу та надсилають вимірювання у формі електрики до ПЛК. Вимірювання та сигнали від давачів є аргументами для попередньо визначених програм ПЛК, щоб вирішити, які дії слід виконати. Зазначені дії виконуються приводами.

Пристрої, класифіковані як виконавчі механізми, отримують сигнали від ПЛК і перетворюють їх у реальний світ за допомогою таких рухів, як увімкнення світла, прискорене обертання двигунів, зупинка конвеєрів тощо. Зв'язок між давачами, виконавчими механізмами та комп'ютерними контролерами проілюстровано на рис. 2.4.

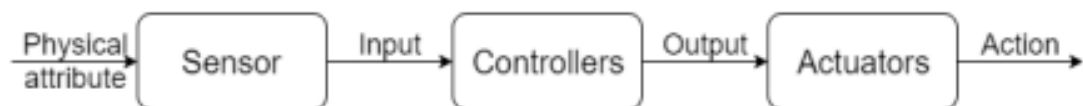


Рисунок 2.4 - Давачі, виконавчі механізми та зв'язок контролера.

Хоча класифікація зрозуміла, пристрій може бути як давачом, так і виконавчим механізмом. Це пояснюється тим, що сучасні пристрої можуть реагувати на сигнали від ПЛК і одночасно вимірювати інші пов'язані

атрибути. Наприклад, насос може проштовхувати рідини через труби та вимірювати тиск потоку, об'ємну швидкість потоку або температуру.

Промислові шини також розглядаються на польовому рівні, оскільки вони забезпечують живлення та середовище зв'язку між давачами та приводами з ПЛК.

## **2.7. Давачі.**

У системі автоматизації давач – це пристрій або модуль, який вимірює фізичні явища та надсилає дані до комп'ютерних контролерів, якими можуть бути ПЛК, віддалений термінальний пристрій (RTU), система розподіленого керування (DCS), диспетчерське керування та збір даних (SCADA). ) тощо. Принципи роботи давачів залежать від атрибутів, які вони контролюють. Наприклад, давач може вимірювати температуру за змінами опору сенсора в мосту Уїтстона або вимірювати наближення за перериванням інфрачервоного променя. Однак, незалежно від типів, усі вони базуються на перевірених фізичних законах і рівняннях.

Якість давача визначається його придатністю, точністю, швидкістю та іншими другорядними факторами. Хороший давач - це не дорогий давач, а інформативний давач. Залежно від різних галузей промисловості та застосувань можна використовувати різні типи давачів із різними принципами функціонування. Наприклад, турбінні витратоміри рекомендуються для вимірювання санітарних і чистих рідин, але не слід використовувати для забруднених рідин, оскільки вони можуть пошкодити давачі. Якщо давач не підходить для явищ і процесів, які він вимірює, це може призвести до неправильної інформації та небажаних аварій. Подібним чином сумісність стосується зв'язку між давачами та термінальними платами введення/виведення, зокрема, та ПЛК.

Підключені карти повинні підтримувати структуру даних, яку створюють давачі, щоб інформація була правильно перекладена та не

створювала жодних електричних збоїв. У деяких інших випадках, коли давачі використовують певні протоколи, ПЛК повинні мати програми або бібліотеки для точної інтерпретації кадрів даних, що надходять від давачів. Окрім придатності та сумісності, ключовими факторами для оцінки давачів є точність, точність, чутливість і швидкість. Точність означає, наскільки близько вимірювання до реального значення атрибута.

Висока точність означає, що вимірювання є правильним, отже допомагаючи ПЛК виконувати відповідні відповідні дії. Точність, або повторюваність, означає здатність давача давати однакові результати за однакових умов вимірювання. Якщо точність низька, це означає, що сама система та давач не є надійними. Чутливість або роздільна здатність давача вказує на найменші зміни у фізичних явищах, які може виявити давач. Давачі з високою чутливістю виробляють більш точну інформацію, враховуючи, що її точність і точність також висока.

Слід зазначити, що чутливість відрізняється від точності і точності. Давач може бути чутливим до змін кількості, але це не означає, що вимірювання точні. Тому точність, точність і чутливість є критично важливими вимогами до систем автоматизації, особливо в програмах, де необхідна ретельність. І останнє, але не менш важливе – це швидкість сприйняття давачів. Його можна розуміти як час від моменту зміни атрибутів до моменту, коли давачі виявляють зміни та надсилають нові дані до ПЛК. Іноді він відомий лише як час, потрібний давачам для надсилання даних до контролерів.

Тим не менш, ця характеристика показує, наскільки швидко дані можуть бути передані та оновлені, таким чином вносячи проактивні дії в процес. Коли справа доходить до класифікації давачів, існує дві ознаки: на основі їх типів вихідних даних і на основі фізичних явищ, які вони вимірюють. За першим способом давач може бути як аналоговим, так і цифровим. За другим методом давач можна класифікувати за температурою, вологістю, потоком, об'ємом, близькістю тощо. Як правило, перший

використовується більш широко, оскільки давачі вибираються залежно від величин, які потрібно виміряти. Однак у цьому дослідженні давачі будуть пояснені відповідно до їх вихідного сигналу, яким будуть охоплені всі типи давачів. Аналоговий давач створює безперервний аналоговий сигнал, який представляє величину, яку він вимірює. Величина аналогових вихідних сигналів зазвичай пропорційна фізичним явищам, як правило, температура, звукова хвиля, тензодавачі тощо. Більшість вихідних сигналів аналогових давачів перетворюються на електричні імпульси різної амплітуди.

Амплітуда має бути в межах доступного діапазону, який визначає максимальне та мінімальне значення, яке може сприймати давач. Аналогові давачі були популярні в галузі автоматизації протягом багатьох років до появи та значного розвитку цифрових давачів. Порівняно з оцифрованими давачами аналогові давачі мають більше недоліків, ніж переваг. Їхні сигнали легко піддаються впливу шуму, що втрачає точність і точність. Крім того, дані, що надходять від аналогових давачів, не мають рамки перевірки помилок, тому неможливо перевірити, чи правильні вимірювання.

Крім того, ці пристрої вимагають більше проводів і споживають більше енергії, ніж їхні конкуренти. З іншого боку, цифрові давачі, які генерують переривчасті сигнали, отримують похвалу за свою здатність забезпечувати точні дані з високою швидкістю передачі та малими профілями. Дані з цих давачів дискретизуються та передаються у двійкових повідомленнях. Незважаючи на те, що дані є дискретними, представлена інформація може бути безперервною або переривчастою завдяки прогресу інформаційних технологій.

Переваги цифрових давачів полягають у тому, що їх можна бездоганно впроваджувати з іншою обчислювальною та цифровою електронікою, використовувати електроенергію малої потужності та забезпечувати перевірку помилок. Незважаючи на те, що давачі чітко класифіковані за категоріями вихідних сигналів та їхніх фізичних явищ, рекомендується дотримуватися конкретної інформації про них у техніці. Принципи

вимірювання, джерела живлення, комунікаційні інтерфейси, рейтинги захисту від проникнення (IP) і багато інших характеристик можуть відрізнятися в продуктах однієї категорії.

Саме вони визначають, які давачі мають високу якість і підходять для конкретних застосувань. В енергетичних секторах переважно всі звичайні давачі навколишнього середовища потрібні в процесах для вимірювання критичних атрибутів, наведених в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

## Загальноприйняті вимірювання та їх одиниці

<b>Types</b>	<b>Units</b>
<b>Temperature</b>	°C or K
<b>Relative humidity</b>	%
<b>Volumetric flow rate</b>	m <sup>3</sup> /s, l/s
<b>Pressure</b>	Pa, bar
<b>Level</b>	m
<b>Mass</b>	kg
<b>Concentration</b>	kg/m <sup>3</sup> , ppm

Система автоматизації ТОЕ була встановлена з важливими давачами температури для моніторингу рівня температури води в резервуарах для зберігання. Окрім них, під час проекту ПНЕзТМВТ було встановлено нові давачі для отримання додаткової інформації для оптимізації процесу спалювання. Інші давачі цього ж виробника розміщувалися в камері горіння, трубах, димоході отримували та контролювали зміни температури під час експериментів з горінням. Давачі були моделі AKS 12 084N0036 від Danfoss.

## Давачі температури

<b>Sensors' IDs</b>	<b>Locations</b>	<b>Variables names</b>
LS_TE001	Loop 2 boiler out	fTE[1]
AK_TE002	Loop 1 solar collector	fTE[2]
LS_TE003	Loop 1 heat exchanger in	fTE[3]
LS_TE004	Loop 1 heat exchanger out	fTE[4]
K_TE005	Loop 3 boiler out	fTE[5]
VV1_TE006	Tank 1 In	fTE[6]
VV2_TE007	Tank 2 In	fTE[7]
VV3_TE008	Tank 3 In	fTE[8]
VV1_TE009	Tank 1 Up Out	fTE[9]
VV1_TE010	Tank 1 Low Out	fTE[10]
VV2_TE011	Tank 2 Up Out	fTE[11]
VV2_TE012	Tank 2 Low Out	fTE[12]
VV3_TE013	Tank 3 Up Out	fTE[13]
VV3_TE014	Tank 3 Low out	fTE[14]
J_TE015	Out to load	fTE[15]
J_TE016	Return from load	fTE[16]
K_TE017	Water inside the boiler	fTE[17]
K_TE018	Loop 2 boiler out	fTE[18]
K_TE019	Exhaust temp from boiler	fTE[19]

Вони були підключені до термінальних плат EL3214 і KL3204, які підтримують 3-провідну і 2-провідну техніку підключення відповідно.

EL3214 був встановлений з EK1914 EtherCAT з'єднувачем, у топології зірка від 2-портового з'єднання EtherCAT EK1122. KL3204, з іншого боку, був підключений до EK1100 EtherCAT з'єднувача на іншому кінці зіркоподібної топології від EK1122.

Термінали показані в додатку baobao. На додаток до давачів температури, давачі потоку були встановлені в первинному та вторинному вентиляторах для моніторингу та контролю кількості повітря, особливо O<sub>2</sub>, що подається для процесу горіння.

Давачі були моделі D6F P0010A2 від Omron.

Табл. 1.3 описує назву процесу давачів потоку, розташування та назви змінних.

Вони були підключені до терміналу KL3064 у JB2, показаному в додатку baobao.

Таблиця 1.3.

#### Давачі витрати

Process ID	Location	Variable name
F1_FE	Primary fan	PrimaryFan.fFE
F2_FE	Secondary fan	SecondaryFan.fFE

## 2.8. Приводи.

Приводи перетворюють сигнали від комп'ютерних контролерів у реальні рухи чи дії. Всі приводи потребують керуючих сигналів і джерел живлення. Сигнали керування можуть бути електричними, гідравлічними, пневматичними тощо. Електричні сигнали керування можуть бути цифровими або аналоговими. Цифрові сигнали здебільшого представляють логічні значення, такі як 0 і 1 або істина і хибність.

Ці значення застосовуються до компонентів, які мають лише будь-який стан, наприклад, світло з двома станами, конвеєр, двигун. Однак цифрові сигнали також можуть з'являтися в пристроях, які підтримують промислові протоколи, такі як Modbus, CANopen, VACnet тощо. Аналогові сигнали стають все менш популярними через їх складне підключення та обмежену точність.

Сигнали зазвичай використовуються для контролю швидкості або різних ступенів пристроїв. Аналогічно, джерело живлення для кінцевих елементів керування може надходити від згаданих джерел. Електричні приводи популярні завдяки доступності електрики в усьому світі. Крім того, ці типи приводів відрізняються найвищою точністю в рухах, адаптивністю до

мережевих і програмних змін, відсутністю шумів і малою небезпекою для навколишнього середовища. Пневматичні приводи мають невеликі профілі, але їм вдається виконувати рухи на високих швидкостях. Крім того, їх можна використовувати в умовах екстремальних температур. Характеристики, які визначають якість приводу, включають придатність, швидкість, силу, енергоефективність та інші другорядні аспекти.

Найважливішим фактором є сумісність двигуна з ПЛК і процесами. Незалежно від того, наскільки дорогий двигун, якщо йому потрібен аналоговий сигнал керування, а ПЛК надсилає цифровий, він ніколи не запрацює. Тому при виборі приводу для системи необхідно враховувати сторони, джерело живлення, межі переміщення, робоче середовище тощо. Наступна риса, яку слід розглянути, це швидкість або сила, або обидва. Залежно від застосування домінуючим фактором може бути швидкість або сила. Наприклад, на інтенсивних виробничих лініях швидкість є більш важливою, оскільки вона безпосередньо впливає на кількість виробленого товару.

У той час як на гірничих і будівельних майданчиках можуть знадобитися великі машини з потужними приводами для завантаження та переміщення великих об'єктів між місцями. Тоді, оскільки більшість сучасних приводів працюють від електрики, енергоефективність стає все більш і більш впливовою. Привід з високим рівнем ефективності не тільки значно економить на рахунках за електроенергію, але й зменшує навантаження на мережі, що перевантажуються. Завдяки розробці програмного та апаратного забезпечення виконавчими механізмами тепер керують значно менші та потужніші процесори.

Вони також пропонують інтегрувати більше вимірювань для покращення продуктивності приводів. Простіше кажучи, це означає, що пристрій може мати виконавчий механізм і кілька давачів. Як правило, пристрої такого типу відомі своїм призначенням приводу, оскільки інтегрувати кілька давачів у виконавчий механізм легше, ніж навпаки. Тим



не менш, цей прогрес приносить багато переваг автоматизації та обробній промисловості. В епоху інформації чим більше даних, тим краще.

Таким чином, уявлення про найдрібніші частини пристроїв і процесів забезпечать повний контроль над системами автоматизації. На додаток до цього, багаторазові вимірювання, виконані пристроєм, значно скоротять простір, дроти та робочі години. Приводи, які використовуються в проекті ПНЕзТМВТ, включають освітлення, клапани, насоси, пристрій подачі палива, системи охолодження та запальник. Світлодіодні панелі цифрового адресного інтерфейсу освітлення (DALI) використовувалися для забезпечення легкості закритого енергетичного гібридного модуля. Використання та впровадження цих приводів буде пояснено пізніше. 2-ходові та 3-ходові клапани використовувалися для контролю потоку води між камерою спалювання, резервуарами для зберігання та системою охолодження. Клапани, модель Sirai L113, описані в таблиці 1.4 разом із їх положенням і назвами змінних.

Таблиця 4.

## Змінні та позиції клапанів

<b>Valves ID</b>	<b>Position</b>	<b>PLC variables</b>
<b>VV1_HV-001</b>	Tank 1 In Valve	bHV[1]
<b>VV1_HV-002</b>	Tank 1 Low Out Valve	bHV[2]
<b>VV1_HV-003</b>	Tank 1 Up Out Valve	bHV[3]
<b>VV2_HV-004</b>	Tank 2 In Valve	bHV[4]
<b>VV2_HV-005</b>	Tank 2 Low Out Valve	bHV[5]
<b>VV2_HV-006</b>	Tank 2 Up Out Valve	bHV[6]
<b>VV3_HV-007</b>	Tank 3 In Valve	bHV[7]
<b>VV3_HV-008</b>	Tank 3 Low Out Valve	bHV[8]
<b>VV3_HV-009</b>	Tank 3 Up Out Valve	bHV[9]
<b>J_HV-010</b>	Output to the cooling system	bHV[10]
<b>J_HV-011</b>	Return from the cooling system	bHV[11]

У проекті було застосовано три інтелектуальні насоси для перекачування води з камери спалювання до резервуарів для зберігання, з резервуарів до системи охолодження для вивантаження тепла, а потім назад до системи. Вони є чудовими прикладами польових пристроїв, які мають виконавчі механізми та датчики, вбудовані в ті самі пристрої. Насоси забезпечують вимірювання об'ємної швидкості потоку, тиску, температури, швидкості двигуна тощо. Подібним чином пристрій подачі палива, який завантажує піддони з накопичувача в камеру, керувався приводом із змінною швидкістю (VSD), який надає детальну інформацію на моторі. Передача даних від і до насосів і пристрою подачі палива здійснюється за промисловим протоколом Modbus.

## 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Рівень керування програмовані логічні контролери

Добре структурований проект не тільки покращує загальну продуктивність системи автоматизації, але й допомагає програмістам легко стежити за кодами та змінювати їх.

На рис. 3.1 показано структуру проекту PLC гібридного енергетичного модуля ПНЕзТМВТ. Він складається з чотирьох підпапок із назвами `BurningProcess`, `CommunicationPrograms`, `EnergyFlow` і `Lights`, а також двох окремих програм, `MAIN` і `ModbusCommunication`. Програма `MAIN`, прямо чи опосередковано, запускала інші програми. Він також включав алгоритми та умови, які впливають на кілька програм. Програма `ModbusCommunication` взяла на себе відповідальність за керування насосами та подачею палива.

Оскільки канал `Modbus` міг одночасно обробляти запит лише від підлеглих пристроїв, програма використовувала функцію `CASE` для перемикання між зв'язком із кількома польовими пристроями на основі `Modbus`. Як і програма `MAIN`, `ModbusCommunication` використовував і керував змінними в різних підпрограмах, тому залишати програму в головній папці залишалося звичайною практикою.

Програма `BurningProcess`, яка вважалася найважливішою програмою в проекті, відстежувала параметри давачів і керувала спалюванням біомаси на основі попередньо визначених правил.

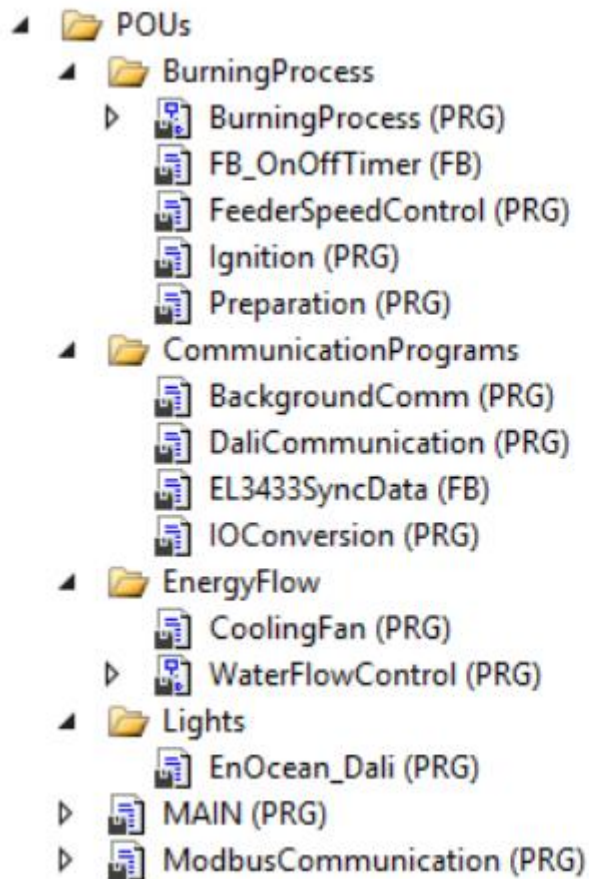


Рисунок 3.1 - Структура проекту.

Його метою було підтримувати рівень теплової енергії в накопичувачах і навантаженні, яким була система охолодження. Детальну програму можна знайти в додатку baoba0. Комунікаційні програми містили програмні завдання, які запускаються ПЛК для обміну даними з термінальними картами. Польові пристрої, які мають одиничні змінні, зчитувалися до завдання IOConversion. Дані Modbus зчитувалися окремо за допомогою іншого завдання під назвою BackgroundComm. Для керування панелями DALI використовувався DaliCommunication.

Завдання EL3433SyncData полягало в тому, щоб зчитувати споживання електроенергії в модулі. EnergyFlow включає програму CoolingFan, яка контролює циркуляцію води між резервуарами для зберігання та системою охолодження, і WaterFlowControl, яка контролює потік води між камерою спалювання та резервуарами, а також теплообмінником.

Це були критичні програми, оскільки циркуляція води безпосередньо впливала на економію та втрати енергії. Папка Lights містила програму EnOcean\_Dali, яка підтримувала зв'язок і алгоритми керування між двома різними протоколами. У майбутньому, коли в систему будуть додані давачі руху для управління Dali замість перемикачів, програма буде включена в цю папку.

### 3.2. Структура змінних

Подібно до структури програми, логічно впорядковані змінні легко читати, розуміти та керувати ними. Замість того, щоб записувати всі системні змінні в загальний файл, поділ їх на менші групи на основі їхніх функцій покращує розуміння та ефективність програм. В автоматизації загалом і програмуванні ПЛК Beckhoff зокрема є два об'єкти, що містять змінні, тип блоку даних (DUT) і глобальний список змінних (GVL). Тоді як DUT використовується для визначення власної структури даних користувачів, GVL містить глобальні змінні, доступ до яких можна отримати з будь-якої програми проекту.

На рис. 3.2 показана змінна структура в проекті ПЛК гібридного енергетичного модуля. Папка DUTs складалася з об'єктів DUT, які створювали структури, що зберігали Modbus, дані про споживання електроенергії та коди помилок. Папка GVLs містила ConstList, GVL, HWVar і Scale. ConstList, як говориться в назві, містив постійні змінні. GVL включав усі змінні, які були б доступні для доступу через сервер OPC UA. HWVar мав змінні, які безпосередньо пов'язані з термінальними картами.

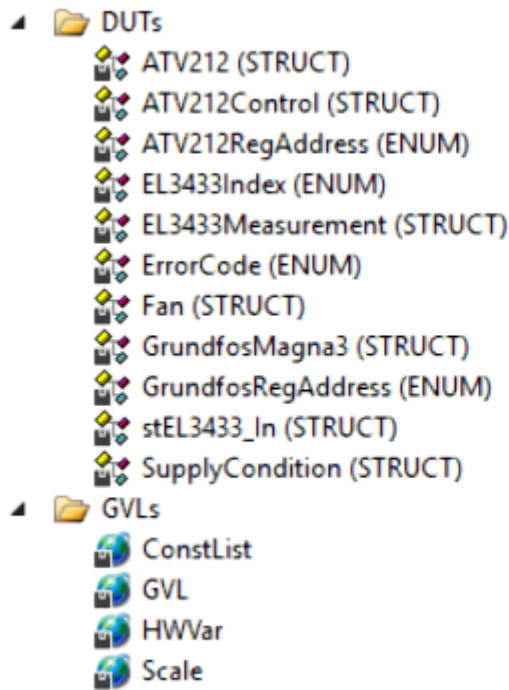


Рисунок 3.2 - Змінна структура.

Більшість із них були унікальними структурами, визначеними стандартними бібліотеками Beckhoff. І останнє, але не менш важливе, Scale включає числа, які потрібно помножити на дані з Modbus, щоб отримати правильні значення вимірювань.

### 3.3. Мови програмування ПЛК

Мови програмування ПЛК (PL) використовуються для програмування ПЛК для промислової автоматизації та процесів. Стандартні ПЛК PL визначені в стандарті IEC 61131-3. Вони включають структурований текст (ST), список інструкцій (IL), функціональну блок-схему (FBD), сходову діаграму (LD) і послідовну блок-схему (SFC). Перші дві мови називаються мовами тексту, а наступні дві — мовами графіки. Останній «визначений для структурування внутрішньої організації програм програмованого контролера та функціональних блоків».

Незважаючи на те, що ІЕС не визначає, які РЛ слід використовувати в конкретних програмах, їх характеристики виявилися більш вигідними, ніж інші в різних випадках. ST — це мова високого рівня, яка використовує оператори, алгоритми та математичні функції. Маючи досвід, програмісти можуть легко керувати програмами за допомогою цієї мови, оскільки він пропонує більше можливостей для керування кодами, ніж інші.

З точки зору автора, ST підходить для математичних обчислень і інтенсивних даних обробки. IL — це базове програмування мікроконтролерів, яке використовує мнемонічні коди. Його найкраще застосування для програм, які вимагають щадного та компактного коду, що забезпечує високу швидкість виконання.

Однак через це програми на основі IL можуть заплутати і їх важко налагодити. FBD використовує блоки, які приймають вхідні дані з одного боку, обробляють їх і передають вихідні дані іншому. Кожен блок має свою функцію і може бути визначений системою або користувачем. У будь-якому випадку ця графічно-орієнтована функція робить FBD популярним у галузі автоматизації, оскільки він більш візуалізований і легший для розуміння. LD, який дотримується ідеї релейної логіки, є найпопулярнішим РЛ у програмуванні ПЛК.

Це виключає використання фізичних пристроїв, таких як таймер і лічильник з блоками. Блоки з'єднані з входами і виходами на рейках, що представляють собою схеми управління. У той же час рейки з'єднуються зі сходишками, які можна розглядати як джерело живлення для пристроїв і схем. LD дуже прості, що допомагає інженерам з автоматизації та електрикам працювати разом. Тим не менш, LD не підходять для програм, які виводять складні дані. SFC натхненний блок-схемами.

Він складається з кількох кроків, з'єднаних між собою переходами. Під час виклику кроку будуть виконані дії, що належать до цього кроку. Дії можуть бути написані різними мовами, але в основному використовується LD.

Переходи — це оператори, які повертають логічні значення. Коли перехід після кроку повертає значення true, програма переходить до наступних кроків і виконує нові дії. Потік продовжується, поки не досягне кінця або не повернеться до початкового стану.

SFC швидко написані, вичерпні та прості для усунення несправностей.

### **3.4. Промислові протоколи та зв'язок**

Modbus Modbus — це міжнародно стандартизований промисловий протокол, який уперше представив Modicon наприкінці 1970-х років. У порівнянні з новонародженими технологіями та протоколами Modbus все ще широко використовується в багатьох програмах автоматизації керування. Це завдяки його промисловості, характеристикам відкритого коду, простоті розгортання та обслуговування, а також незалежності від виробника. Залежно від цілей застосування, посилань і можливостей, наданих постачальниками, можуть бути реалізовані різні версії Modbus, такі як Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Modbus Plus, Modbus ASCII тощо. Вибір також визначає фізичний рівень для мережі Modbus.

Як правило, виробники можуть використовувати RS232, RS-485 і RJ45 як з'єднання в програмі Modbus. На основі послідовного зв'язку пристрої в мережі Modbus передають і отримують дані як головні та підлеглі. Цілих 247 унікальних ідентифікаторів для кожного підлеглого, може бути тільки один майстер, який ініціює розмови з пристроями, відправивши запит. З огляду на це, підлеглі надсилають повідомлення, лише якщо вони отримують запити від головного. З огляду на це, зв'язок між підлеглими неможливий без передачі повідомлень через головний.

Кожне повідомлення Modbus має загальну структуру, також відому як блок даних програми, включаючи адресу, код функції, дані та перевірку помилок. Незважаючи на це, залежно від варіантів Modbus кадри повідомлень можуть мати різну довжину. Фізичні комутатори або програмне



забезпечення можуть налаштувати адресу пристрою Modbus. Конфігурація може також включати швидкість бітів, парність, час очікування та інші параметри. Як правило, коли продукт Modbus доставляється клієнту, документація постачальника надається разом з ним.

У документації описано, як налаштовано продукт, який функціональний код він підтримує та як виглядає схема даних. У Modbus однорозрядний фізичний вхід називається дискретним входом, тоді як однорозрядний фізичний вихід відомий як котушка. Реєстр – це тимчасова адреса, на яку можна призначити потрібні дані. Коли провідний пристрій надсилає запит на певну адресу реєстру, відповідні призначені дані повертаються. Етап зіставлення фізичних даних із реєстром можна виконати вручну під час етапу конфігурації або шляхом трансляції на всі пристрої з конфігураційними даними.

У кінці повідомлення Modbus знаходиться перевірка помилок, яка використовує різні коди виявлення помилок у типах Modbus. Наприклад, циклічна перевірка надлишковості (CRC) використовується в Modbus RTU, тоді як Modbus ASCII використовує поздовжню перевірку надлишковості (LRC). У проекті VЕneСТ було реалізовано Modbus RTU для моніторингу та керування інтелектуальними насосами та приводом із змінною швидкістю (VSD), що маніпулює механізмом подачі піддонів. Тоді як сонячні панелі підключені до інвертора SMA Sunny Boy за допомогою Modbus TCP. Їх адреси наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

## Адреси Modbus польових пристроїв

<b>Field devices</b>	<b>Address</b>
Pump 1	2
Pump 2	4
Pump 3	6
Inverter (solar panels)	3
Speed drive (pallet feeder)	5

Насоси обрано Grundfos Magna3, які були розроблені для циркуляції рідин в системах опалення, енергоперетворення з різними режимами керування. У цьому проекті було встановлено режим AUTOADAPT для автоматичного аналізу потоків і перемикання насосів на найоптимальніші параметри для забезпечення найвищої продуктивності та найменшого споживання енергії. Зв'язок між кожним насосом і мережею Modbus оброблявся супроводом модулі інтерфейсу зв'язку (СІМ).

Вони були встановлені безпосередньо на платі керування насосами та підключені до ПЛК за допомогою кабелю вита пара. Причиною використання ПЛК замість RTU було те, що система автоматизації вже мала реалізований ПЛК; отже, покупка нового RTU була б фінансово та технічно необґрунтованою.

Це була поширена ситуація в галузі автоматизації, оскільки багатьох постачальників SCADA та RTU більше немає на ринку, і цей PLC був більш економічним вибором. Три насоси були запрограмовані однаково, але умови їх роботи різні. У цій програмі використовувався блок керування, статусу та реєстр даних.

У проекті використовувався частотний привод ATV212HU55N4 від Schneider Electric. У пристрої передбачено два варіанти підключення RJ45 і Open Style. Останній був обраний для шлейфового з'єднання з іншими насосами за допомогою кабелю вита пара.

Як і насоси Grundfos, етап конфігурації було виконано за допомогою НМІ на пристрої. Швидкість передачі даних була встановлена на рівні 19 200 біт на секунду (біт/с). Час очікування було налаштовано на 100 секунд на етапі розробки, щоб уникнути помилки зв'язку; під час розгортання для нього може бути встановлено нижче значення з міркувань безпеки.

Для керування пристроєм використовувалися блоки реєстру керування, стану та моніторингу. З іншого боку, інвертор для сонячних панелей відстежував свої дані через Modbus TCP. Сам інвертор запускав програму, дані з якої отримували за допомогою програми Node-RED, що

працює на Raspberry Pi. Node-RED надав палітру, яка була розроблена спеціально для зв'язку з пристроями на базі Modbus. На малюнку 9 був формат JSON повідомлення, надісланого вузлу Modbus Flex Getter для запиту даних від інвертора.

```

▼ payload: object
  value: 1571637791687
  fc: 3
  unitid: 3
  address: 30225
  quantity: 2

```

Рисунок 3.3 - Запит Modbus TCP.

Значення властивості «value» було міткою часу на момент надсилання повідомлення. «fc», що означає код функції, вказує на дію, яку користувач хоче виконати з пристроєм Modbus. «unitid» був ідентифікаційним номером пристрою в з'єднанні Modbus, у цьому випадку це було 3, як зазначено вище. Властивість «address» була адресою певних даних, які потрібно було зчитувати. Якщо цю функцію слід застосувати для кількох блоків реєстрів, «адреса» буде першим. "кількість" буде використовуватися для вказівки кількості блоків, які потрібно прочитати. Вузол надішле це повідомлення певному пристрою, а потім виведе відповідь, як показано на рис. 3.4.

```

topic: "393032a.053bace"
▼ payload: object
  30225: 65535
  30226: 65535
  _msgid: "5fff60f0.dfd47"
  messageId: "5dad4af633a59eef8b480698"

```

Рисунок 3.4 - Відповідь Modbus TCP.

Оскільки повідомлення запити вимагало даних двох блоків реєстру, починаючи з адреси 30225, попередньо оброблене повідомлення відповіді

складалося з двох властивостей, які були необхідними блоками реєстру, з їхніми відповідними даними.

Додаток на Node-RED було запрограмовано для зчитування вимірних значень зі сторони змінного струму, опору ізоляції зі сторони постійного струму, вимірювання постійного та змінного струму, струмів мережі змінного струму та внутрішньої температури з інвертора. Усі надсилання та отримання повідомлень відповідали поясненій структурі.

### **EnOcean і цифровий адресний інтерфейс освітлення (DALI).**

З моменту заснування в 2001 році EnOcean і його технологія збору енергії набуває значної популярності в галузі автоматизації, особливо в додатках розумних будівель. Компанія зосереджена на виробництві датчиків і пристроїв, які збирають енергію від механічних рухів і змін навколишнього середовища, замість акумуляторів і живої енергії.

Пристрої працюють на надзвичайно низькому рівні енергії, близько 50 мкВт на телеграму. Зібрана енергія буде використовуватися для бездротової передачі даних датчиків на шлюзи EnOcean, які можуть бути на відстані до 30 метрів у приміщенні та 300 метрів на вулиці. Однак кількість даних, які потрібно надіслати, скромна через обмежену енергію. Це, певним чином, підходить для додатків автоматизації будівель, оскільки вони не потребують великої кількості даних, а наголошують на економічній та плавній інтеграції.

Пристрої EnOcean не потребують жодної проводки чи складної інсталяції, їх потрібно лише встановити на будь-якій стіні чи дверях, щоб працювати якнайкраще. Це робить продукти EnOcean конкурентоспроможними компактними та економними, але інформативними з точки зору даних. Завдяки передовим характеристикам, EnOcean Alliance був заснований у 2008 році та набув успіху завдяки об'єднанню великих компаній та партнерів.

Альянс не є прибутковим, але спрямований на розвиток технології та отримання вигоди від зростання індустрії автоматизації будівель. Іншим фаворитом у перегонах протоколів автоматизації будівель є DALI. Продукти,

сумісні з DALI, широко використовуються в розумних будинках, системах автоматизації будівель і на підприємствах Industry 4.0 завдяки своїм енергозберігаючим характеристикам і параметрам затемнення.

Система освітлення DALI - це мережа джерела живлення, контролера і до 64 окремих пристроїв. Контролери та пристрої також відомі як провідні та підлеглі. Кожному баласту DALI, драйверу або димеру в мережі присвоюється унікальний ідентифікатор в діапазоні від 0 до 63, через які вони контролюються. Передача даних між провідним і підлеглим здійснюється по шині з двох проводів, названих DALI+ і DALI-.

Це з'єднання дозволяє обмінюватися даними в напівдуплексному режимі та асинхронно зі швидкістю передачі даних 1200 бод. Як зазначалося, перевага DALI перед іншими системами освітлення полягає в керованості. Він пропонує інтеграцію з системами автоматизації, які змінюють яскравість відповідно до зайнятості людей, розкладу, умов навколишнього середовища тощо. Інтеграція дозволяє системам освітлення працювати безперебійно, одночасно значно покращуючи енергоефективність будівлі. У енергетичному гібридному модулі ПНЕзТМВТ EnOcean і DALI не використовувалися ні в процесі запису, ні в циклах накопичення енергії, але мали покращити працездатність самого модуля. Оскільки метою проекту є виробництво чистої енергії та підвищення рівня ефективності, необхідно оптимізувати енергетично не лише процеси генерації енергії, а й усі пов'язані з цим дії.

Першим кроком було використання світлодіодів замість лампочок. Міністерство енергетики США (DOE) припустило, що використання світлодіодних панелей потужністю 60 Вт дозволить заощадити 75-80% енергії порівняно з лампою розжарювання еквівалентної потужності. Незважаючи на те, що заміна також означала б втрату побічної енергії традиційних лампочок, енергія, збережена за допомогою світлодіодів DALI, була ще більш вигідною. Другим кроком було контролювати стан світлодіодів відповідно до конкретних обставин. Два світлодіоди всередині

модуля залишалися включеними незалежно від часу доби, тому початковим планом було використання перемикачів EnOcean для керування ними.

Перемикачі могли вмикати та вимикати світлодіоди та затемнювати їх, натискаючи й утримуючи кнопки ввімкнення. Крім того, було встановлено таймер на 45 хвилин, щоб приглушити світло на 50% яскравості та вимкнути його через дві хвилини, якщо користувачі пішли та забули це зробити. Якщо люди все ще працювали в модулі, вони могли скинути таймер, знову увімкнувши світлодіоди. У майбутньому давачі виявлення руху замінять поточні перемикачі для ще кращого досвіду користувача.

Будучи членом альянсу EnOcean і DALI, Beckhoff розробив автобусні термінали, що забезпечують зв'язок між власними ПЛК і продуктами EnOcean і DALI. KL6583 від Beckhoff забезпечує обмін даними з давачами та перемикачами EnOcean; потім дані контролюються та контролюються програмами ПЛК через головний термінал KL6581. Тоді як світлодіодами DALI керують через головний KL6811 і термінал живлення. Beckhoff також надає допоміжні бібліотеки для технологій, що полегшує їх інтеграцію з модулем. Термінал KL6581 пропонує шину для восьми модулів передавача та приймача KL6583. Термінал KL6811 підключався до пристроїв DALI через двопровідну шину DALI. Обидва термінали були з'єднані між собою та з іншими платами ПЛК у головному корпусі гібридного модуля.

### **Комунікаційна уніфікована архітектура відкритої платформи (OPC UA).**

Відповідно до OPC Foundation, OPC UA є незалежною від платформи сервіс-орієнтованою архітектурою, яка об'єднує всі функціональні можливості окремих специфікацій OPC Classic в одну розширювану структуру.

Він був розроблений на основі ідеї OPC, але не враховував зв'язування та вбудовування об'єктів Microsoft (OLE) і розподілену об'єктну модель компонентів (DCOM). OPC UA функціонує в машинно-машинній архітектурі сервер-клієнт, що означає, що кілька клієнтських програм можуть

підключатися та обмінюватися даними з сервером OPC UA. Подібно до Modbus, зв'язок між сервером і клієнтами починається лише з надсилання клієнтами запитів, які можна читати, писати, прослуховувати, виявляти тощо. Зазвичай сервер OPC UA залишається в стані очікування. Коли він отримує запит від клієнта, він відповідає відповідними даними або виконує дії з команди, а потім повертається до стану очікування.

Стек OPC UA може мати декілька протоколів OPC UA. Базові протоколи включають доступ до даних (DA), тривоги та події (AE), доступ до історичних даних (HA), розширювану мову розмітки (XML) DA та обмін даними (DX). Серед них в основному використовуються DA і AE. (Новотек, 2019 р.) OPC UA, безсумнівно, є одним із найуспішніших, перспективних, передових стандартів в історії комп'ютерів.

Його характеристики приносять значні переваги всім секторам індустрії інформації та технологій. У системі автоматизації переваги застосування OPC UA включають незалежність від платформи, масштабованість, підтримку складної структури даних і викликів методів, передачу даних без втрати даних і безпеку. Варто підкреслити функцію незалежності від платформи на OPC UA, оскільки вона пропонує пристроям, програмам з різними операційними системами (ОС) можливість спілкуватися та обмінюватися даними.

Це означає, що додатки на базі Windows, Linux, Android, iOS можуть підключатися, контролювати та контролювати дані, якщо вони відповідають стандарту OPC UA. У той же час ця характеристика допомагає організаціям і компаніям швидко масштабувати системи автоматизації, не турбуючись про постачальників і сумісність. Оскільки використання OPC UA поширене в усіх галузях промисловості, воно надає можливість визначити та обробляти складні структури даних, щоб будь-які дані з будь-якої програми могли легко обмінюватися.

Раніше клієнтські програми могли запитувати сервер лише про надсилання значень змінних через певний інтервал. Якщо значення змінних

змінюються швидше, ніж циклічне оновлення, дані буде втрачено. Крім того, якщо фізичне з'єднання перервано, дані під час відключення не можна відновити. За допомогою OPC UA клієнти можуть запитувати сервер надсилати дані, коли значення змінних змінюються.

Таким чином, дані не будуть втрачені, але клієнтам не доведеться отримувати занадто багато непотрібної інформації. Крім того, коли фізичне з'єднання розривається, сервер і клієнт автоматично шукають і з'єднуються. З метою безпеки OPC UA використовує сертифікати на основі файлів для ідентифікації серверів і клієнтів. Його шифрування захищає дані в усіх аспектах розробки та реалізації програм OPC UA.

Метою розгортання сервера OPC UA в системі автоматизації ПНЕзТМВТ був відкритий доступ до даних. Як згадувалося, доступ до даних на сервері OPC UA можна отримати з клієнтів із різними платформами. Оскільки VЕneСТ був дослідницьким проектом, дані, зібрані з системи автоматизації, були дуже важливими та використовувалися для подальшого аналізу. Тому вони повинні запропонувати іншим програмам легку інтеграцію в майбутньому.

В іншому сценарії, де реалізовано програми MES і ERP, вони можуть підключатися до сервера OPC UA і також читати інформацію звідти. У рамках дипломної роботи OPC UA використовувався як шлюз між середовищем виконання TwinCAT і сервером даних. Будучи активним членом OPC Foundation, Beckhoff надає безкоштовний сервер і клієнт OPC UA у своїх функціях. Сервер OPC UA інтегровано в промисловий ПК.

Клієнтська програма OPC UA працює на центральному сервері, підключеному до сервера OPC UA та підписаному на доступні дані. Сценарій проілюстровано на рис. 3.5.



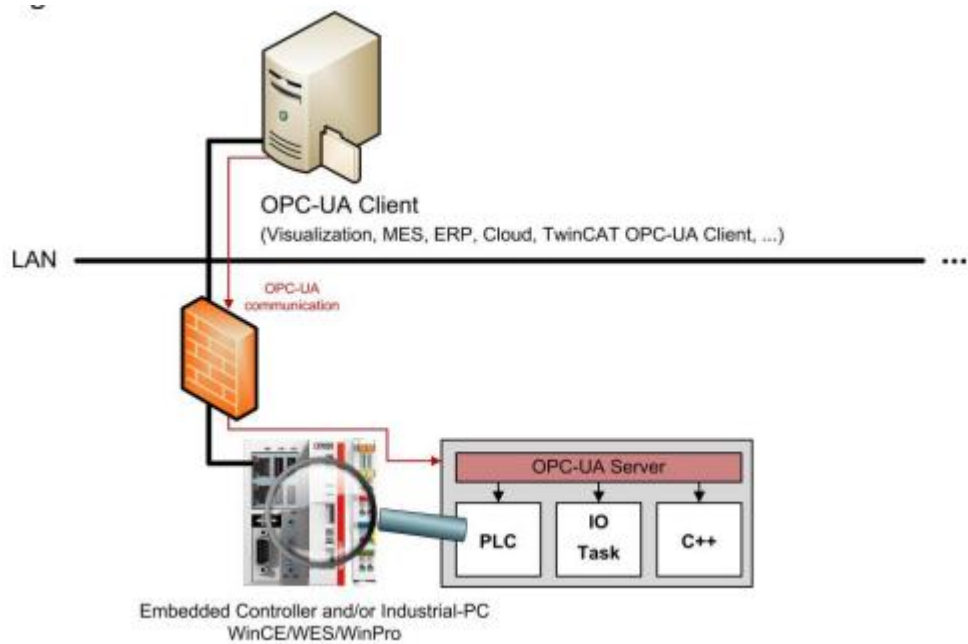


Рисунок 3.5 - Архітектура OPC UA.

Конфігурація сервера OPC UA на TwinCAT PLC включає налаштування змінних для доступу до даних, налаштування простору імен і встановлення з'єднання. Щоб вибрати, до яких змінних ПЛК буде доступний на сервері OPC UA, перед оголошеннями змінних потрібно написати коментар {attribute 'OPC.UA.DA' := '1'}.

Таким чином програмісти мали контроль над доступом до даних, не даючи опублікувати конфіденційні чи непотрібні дані. Для конфігурації простору імен сервер OPC UA підключився до першого ПЛК у тій самій системі та використовував свій файл керування повідомленнями трасування (.tmc) для налаштування простору імен.

Потім було встановлено з'єднання між сервером OPC UA та клієнтом за допомогою доступу до URL-адреси з форматом

`opc.<protocol>://<ip or name>:port`

у якому «протокол» був транспортом до сервера OPC UA. є ідентифікація ПЛК в мережі. «порт» — порт, на якому було відкрито сервер OPC UA.

Дотримуйтеся формату, URL-адреса сервера PLC OPC UA:  
`opc.tcp://CX-2AFFDE:4840`

### 3.5. Рівень СКАДА

IoT-протокол: транспорт телеметрії з чергою повідомлень (MQTT)  
Транспорт телеметрії з чергою повідомлень (MQTT) — це міжмашинний протокол, заснований на механізмі публікації-підписки. Додаток MQTT складається з брокера та одного або кількох клієнтських пристроїв.

Клієнтські пристрої можуть бути видавцями, передплатниками або обома. Публікуючі пристрої надсилають дані за темами, на які інші пристрої можуть підписатися для отримання даних. Після надсилання пристроєм повідомлення має пройти через посередника, перш ніж його отримають будь-які пристрої.

Така поведінка пояснюється тим, що брокер керує мережею MQTT. Він відстежує пристрої та теми, на які вони підписані. Коли брокер отримує повідомлення, він пересилає його на відповідні клієнтські пристрої. На рис. 3.6 наведено приклад обміну даними між клієнтами в додатку MQTT. Давач постійно виявляє зміни рівня відносної вологості та публікує вимірювання брокеру під темою «вологість». Водночас програми локальної аналітики та хмарної аналітики підписуються на ту саму тему. Коли повідомлення надходить від давача, брокер MQTT отримує та пересилає його абонентам.

MQTT, заснований на TCP/IP, є одним із найпопулярніших протоколів у додатках IoT завдяки легким і легким характеристикам реалізації. Тому його було розгорнуто як шлюз між локальною мережею та центральним сервером у системі автоматизації ПНЕзТМВТ. Дані клієнтів OPC UA були оброблені та надіслані брокеру MQTT програмою Node-RED.

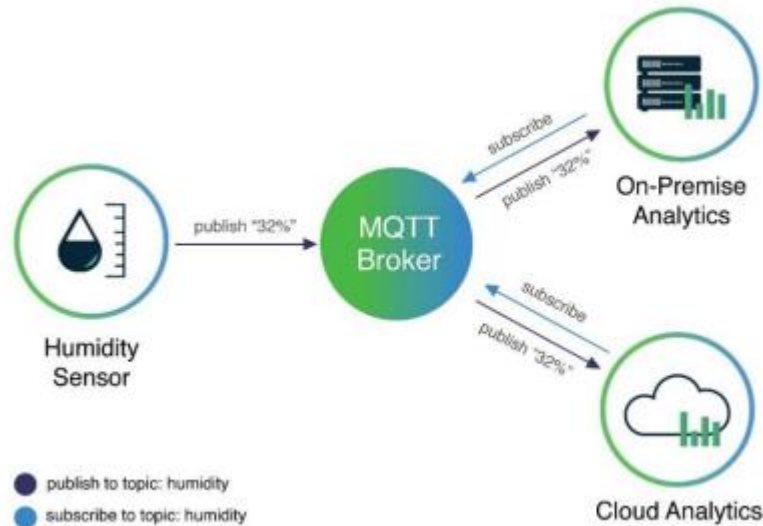


Рисунок 3.6 - Приклад архітектури MQTT.

Дані транспортувалися за різними темами залежно від їх розташування та функцій, як показано в додатку baobao. Брокер MQTT працював на центральному сервері, також відомому як «[iot.research.hamk.fi](http://iot.research.hamk.fi)».

Він також розміщував інший додаток, який діяв як абонент MQTT, обробляючи дані та надсилаючи їх до бази даних.

Повідомлення, якими обмінювалися, виражалися у форматі нотації об'єктів JavaScript (JSON), де змінні або вимірювання були атрибутами, а їхні дані – значеннями. Дані можна надсилати окремо швидко або разом в об'єкт JSON. Наприклад, вимірювання витрати палива, що працює, було представлено, як показано на рис. 3.7.

```

▼ payload: object
  fMotorSpeed: 1500
  fOutputFrequency: 50
  fOutputCurrent: 84.77999877929688
  fOutputVoltage: 93.54999542236328
  topic: "hamk/iot/valkeakoski/kontti/Feeder"
  _msgid: "1771d33b.0eb47d"

```

Рисунок 3.7. Повідомлення MQTT

## **База даних часових рядів: InfluxDB**

База даних часових рядів (TSDB) — це база даних, яка спеціально використовується для керування та зберігання значень змінних, які змінюються з часом. Дані часових рядів можуть бути вимірюваннями процесів, тригерами та сигналами тривоги, показниками системи та додатків, бізнес-оборотами. Вони з'являються в кожному аспекті життя, тому потреба в їх відстеженні, моніторингу, обробці та агрегуванні є адекватною.

Однак, оскільки значення змінних постійно коливаються, база даних повинна відповідати певним вимогам, щоб мати можливість обробляти таку величезну кількість даних. Швидкість запису має бути значно високою, щоб відстежувати велику кількість даних, які надсилаються на сервер щосекунди або навіть мілісекунди. На додаток до цього, TSDB повинна мати високу ємність і потенційну масштабованість, оскільки обсяг даних швидко збільшується з часом.

Крім того, він надає швидкий доступ до аналітики в реальному часі, яка в основному використовується в модних програмах машинного навчання. Підтримка в пам'яті, продуктивність прийому, підтримка SQL, стиснення — це деякі інші характеристики, що впливають на продуктивність TSDB. Аналіз часових рядів включає три різні типи даних, включаючи дані часових рядів, перехресні дані та об'єднані дані, які є комбінацією перших двох типів.

Дані часових рядів визначаються як набір значень змінної; з іншого боку, перехресні дані досліджують зв'язок між змінними в інтервалі. Цей підхід групування даних застосовувався для оптимізації спалювання біомаси з низьким вмістом вуглецю. Щоб виробляти енергію з високим рівнем ефективності, усі вимірювання процесу необхідно відстежувати та контролювати протягом дня.

Крім того, буде проведено кілька експериментів, щоб знайти майже ідеальні параметри налаштування для процесу. Дані з мітками часу, згруповані як перехресні дані, допоможуть спостерігати за релевантністю між змінними. Емпірично база даних Influx (InfluxDB) була розміщена на

центральному сервері. Після отримання повідомлень від брокера MQTT програма впорядкує дані в об'єкт JSON із попередньо визначеним форматом, який продемонстровано на рис. 3.8, і введе їх у базу даних. У майбутньому додаток Node-RED буде замінено на Telegraf, який є серверним агентом для збору та звітності метрик. Переваги впровадження агента полягають у мінімальному обсязі пам'яті, високій надійності, легкій інтеграції з великою кількістю систем і гнучкості в додаванні нових вхідних даних до бази даних і виходів із неї.

```

▼ payload: array[1]
  ▼ 0: object
    measurement: "VEneCT"
    timestamp: "2019-10-14T11:15:40.376Z"
    ▼ tags: object
      location: "kontti"
      type: "Grundfos_1"
    ▼ fields: object
      fHead: 0.1469999998807907
      fVolumeFlow: 0.30000001192092896
      fRelativePerformance: 25.979999542236328

```

Рисунок 3.8 - Формат даних InfluxDB

## Візуалізація та контроль даних

Візуалізація показників: Grafana.

Візуалізація даних — це акт представлення інформації та даних у формі графічних компонентів, таких як графіки, діаграми, гістограми, вимірювальні прилади, географічні карти тощо. Візуалізація допомагає користувачам зрозуміти значення, шаблони та кореляцію інформації, відображаючи необроблені дані більш зрозуміло.

Крім того, візуалізовані дані передають концепції та ідеї в універсальний спосіб, що важливо в інтернаціоналізованому світі. Завдяки візуалізації даних аналіз даних перетворився з нудних електронних таблиць і звітів на привабливі та інформативні інформаційні панелі. Таким чином, програма візуалізації показників була важливою для демонстрації

вимірювань процесу, продуктивності гібридного енергетичного модуля, за допомогою якого буде досягнута оптимізація спалювання біомаси з низьким вмістом вуглецю.

Grafana — це аналітична платформа для візуалізації різноманітних типів даних із різних баз даних і операційних систем. Будучи платформою з відкритим вихідним кодом, Grafana пропонує розробникам можливість обговорювати, ділитися досвідом і разом робити внесок у спільну мету — покращення сектору аналізу даних.

Завдяки цьому Grafana надає сотні бібліотек і плагінів, які налаштовані майже для будь-якої ситуації. Grafana також дозволяє розробникам і аналізаторам створювати тригери для критично важливих даних, обмінюватися даними та інформаційними панелями між командами або інтегрувати їх у системи своїх організацій. Завдяки перевагам, зазначеним вище, Grafana була використана для третього рівня системи автоматизації ПНЕзТМВТ. Найбільш вирішальні значення системи були візуалізовані на графіках для кращого розуміння взаємозв'язків між змінними процесу. Завдяки інструментам для роботи з InfluxDB інтеграція між базою даних і візуалізацією метрик була здійснена без зусиль.

Після того, як база даних завантажить дані з процесів на місці, вони миттєво надходили на платформу для перегляду. Як показано на малюнку 15, кожна змінна процесу мала свої інформаційні панелі, на яких відображалися їхні коливання за періоди. Крім того, сповіщення були додані до найважливіших змінних, таких як температура води та робота насосів, щоб сповістити операторів, якщо система не працює належним чином. Кожна візуалізація метрики мала об'єкт JSON, що описував її конфігурацію, від назв, розмірів, тегів до кольорів, організацій власників і порогів.

Однією з властивостей графіка був «id», що означав ідентифікацію, що вирізняло його серед інших графіків на тій же панелі інструментів. Ця властивість використовуватиметься для зіставлення візуалізації метрик із візуалізацією процесу.



Рисунок 3.9 - Аналітична платформа Grafana

### Веб-додаток: React.

Людино-машинні інтерфейси (НМІ) протягом тривалого часу були стандартом у галузі автоматизації. Вони представляють змінні процесу на простих діаграмах і надають операторам можливість керувати ними за допомогою екранів і моніторів. У більшості випадків НМІ доступний поблизу фактичного процесу або в диспетчерських на заводі. Крім того, лише невелику кількість даних можна переглядати віддалено в системах SCADA, MES або ERP.

Однак із розвитком інформаційних технологій, а особливо веб- та нативних додатків (додатків), користувачам потрібно більше, ніж просто простий і зручний інтерфейс. Ефективно та красиво візуалізовані дані допомагають операторам ефективніше сприймати інформацію, отже, швидко реагувати на процес, коли це необхідно. Крім того, у час, коли дані є центром уваги кожної розмови, очікується, що вони будуть зручними для користувача та доступними звідусіль в світі. Тому було вирішено, що веб-додаток, який візуалізує змінні процесу гібридного енергетичного модуля, є важливим.

React, також відомий як ReactJS, — це бібліотека JavaScript для розробки інтерактивних інтерфейсів користувача (UI) у веб- та прогресивних веб-додатках. Основна концепція React наголошує на використанні повторно використовуваних компонентів інтерфейсу користувача.

За допомогою компонентів React може керувати станами додатків і повторно відтворювати відповідні частини їхніх інтерфейсів користувача, коли відбуваються зміни, без необхідності запитувати нові представлення від віддалених серверів. Завдяки вбудованій гнучкості React було визнано придатним для візуалізації процесу VЕneCT.

Для обробки та відображення інтенсивних потоків даних із бази даних програма не повинна перезавантажувати всю сторінку щоразу, коли надходять нові дані. Натомість він повинен був мати можливість відстежувати значення всіх змінних окремо та оновлювати лише ті, які змінилися. Цей метод покращить не лише продуктивність програми, але й досвід користувача.

На домашній сторінці додатка відображався «Енергетичні цикли», які склалися з теплового енергетичного контуру та електричного контуру. Користувачі могли перемикатися між двома вкладками, щоб переглядати цикли окремо, як показано на рис. 3.10.

Кожен цикл представляв фактичний процес за допомогою діаграми зі значеннями давачів і приводів у реальному часі, прикріпленими до їхніх відповідних позицій. Якщо натиснути на цифру, з'явиться спливаюче вікно, у якому відобразяться показники за останні шість годин. Графіки, отримані від Grafana, допоможуть користувачам безперебійно відстежувати роботу системи. При переході на сторінку «Про проект» можна знайти інформацію про проект. І останньою, але не менш важливою була сторінка «Керування», яка після авторизації дозволяла користувачам контролювати процеси дистанційно зі своїх браузерів. В рамках дипломної роботи остання сторінка не проводилася через обмеження часу. Однак цю функцію буде реалізовано в ході реалізації проекту.



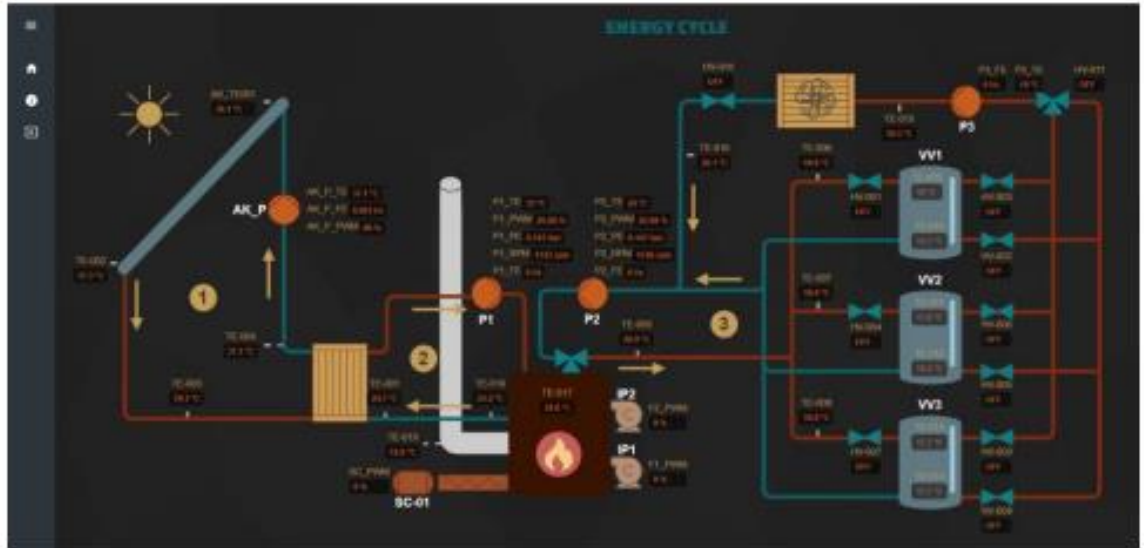


Рисунок 3.10 - Веб-додаток

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1. Загальна характеристика приміщення і робочого місця

Розробка системи аналізу та візуалізації виконується в приміщенні, яке знаходиться на четвертому поверсі восьмиповерхового будинку з загальним та місцевим освітленням. В приміщенні одностороннє освітлення, вікна орієнтовані на схід, на вікнах є ролети. Стеля білого кольору з коефіцієнтом відбиття 0,7, стіни цегляні світлого кольору з коефіцієнтом відбиття 0,5. В приміщенні працює 4 людини, відповідно до цього отримуємо вхідні дані для аналізу потенційно-небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які наведено в табл. 4.1.

Згідно НПАОП 0.00-7.15-18 площа  $S'$ , виділена для одного робочого місця з персональною ЕОМ, повинна бути не менше  $6 \text{ м}^2$  і об'єм – не менше  $20 \text{ м}^3$ . У приміщенні розташовано 4 робочі місця, що повністю відповідає необхідним нормам.

Розрахуємо фактичні значення цих показників, розділивши об'єм приміщення та загальну площу на кількість працюючих.

Отже, виходячи з отриманих результатів за характеристиками площі та об'єму, приміщення відповідає нормам.

Можна зробити висновок, що розміри робочого місця програміста відповідають встановленим нормам, виходячи з заданих параметрів.

Таблиця 4.1

## Вхідні дані

<b>Параметри приміщення</b>	<b>Значення</b>
Довжина x ширина x висота	6,6 x 6,1 x 2,7 м
Площа	40,26 м <sup>2</sup>
Об'єм	108,70 м <sup>3</sup>
<b>Номер робочого місця</b>	<b>Специфіка роботи</b>
I робоче місце	Front-end програміст (спеціаліст з розробки клієнтської частини веб- застосунків)
II робоче місце	Back-end програміст (спеціаліст з розробки серверної частини веб застосунків та проектування баз даних)
III робоче місце	Бізнес-аналітик (також виконує роль менеджера продукту)
IV робоче місце	UI-UX веб-дизайнер
<b>Технічні засоби (кількість)</b>	<b>Назва та характеристики</b>
Монітор (4 шт.)	HP 22Xi/21,5"/1920x1080px/IPS
Комп'ютер (4 шт.)	HP ProBook 440 G6, екран 14" IPS (1920x1080) Full HD, Intel Core i7-8565U (1.8 - 4.6 ГГц)/RAM 16 ГБ/SSD 256 ГБ
Підлоговий кулер (1 шт.)	CRYSTAL YLR3-5V208
Кондиціонер (1 шт.)	DEKKER DSH105R/G/26м <sup>2</sup> /2,65кВт-2,9кВт/25x74,5x19,5см/9 кг
Світильники загального призначення (3 шт.)	Світильник растровий вмонтований 4x18W
Світильники місцевого призначення (4 шт.)	DeLux Décor TF-05 / 1 x 40Вт

#### **4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці**

При створенні системи аналізу та візуалізації робота виконується сидячи без фізичних зусиль, тому відноситься до категорії легка Ia.

Під час роботи на працівника діє ряд небезпечних і шкідливих чинників, які наведені у табл. 4.3 та табл. 4.4.

Таблиця 4.2

## Характеристики робочого місця

№	Найменування параметру	Значення	
		фактичне	нормативне
1.	Висота робочої поверхні, мм	780	680 – 800
2.	Ширина робочої поверхні, мм	1500	не менше 600
3.	Глибина робочої поверхні, мм	750	не менше 600
4.	Висота простору для ніг, мм	750	не менше 600
5.	Ширина простору для ніг, мм	800	не менше 500
6.	Глибина простору для ніг, мм	750	не менше 450
7.	Висота поверхні сидіння, мм	480	400 – 500
8.	Ширина сидіння, мм	500	не менше 400
9.	Глибина сидіння, мм	500	не менше 400
10.	Висота опорної поверхні спинки, мм	550	не менше 300
11.	Ширина поверхні спинки, мм	470	не менше 380
12.	Довжина підлокітників, мм	300	не менше 250
13.	Ширина підлокітників, мм	60	50 – 70
14.	Відстань від очей до екрану, мм	650	600 – 700

Таблиця 4.3

## Шкідливі чинники на робочому місці

Фізичні	Психофізіологічні
Підвищений рівень шуму	Розумове перенапруження
Підвищений рівень електромагнітного випромінювання	Монотонність праці
Підвищений рівень статичної електрики	Перенапруження аналізаторів
Недостатній рівень освітленості	
Неоптимальний мікроклімат	

Таблиця 4.4

## Аналіз шкідливих факторів, пов'язаних з мікрокліматом

№	Шкідливий фактор	Наслідки
1	Відхилення вологості повітря від оптимальних параметрів	Тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби, роздратованість
2	Відхилення $t$ від оптимальних параметрів	Відсутність теплового комфорту, тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби
3	Відхилення $V$ руху повітря від оптимальних параметрів	Тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби

У таблиці 4.5 та 4.6 наведені нормативні та фактичні показники мікроклімату.

Таблиця 4.5

## Мікроклімат в теплий період року

Параметр мікроклімату			
Найменування	Значення		
	Фактичне		Оптимальне
$t, ^\circ\text{C}$	21	21 – 23	18 – 27
$w, \%$	55	60 – 40	до 75
$V, \text{м/с}$	0,2	0,3	0,4 – 0,2

Таблиця 4.6

## Мікроклімат в холодний період року

Параметр мікроклімату			
Найменування	Значення		
	Фактичне		Оптимальне
$t, ^\circ\text{C}$	18	21 – 23	18 – 27
$w, \%$	70	60 – 40	до 75
$V, \text{м/с}$	0,4	0,3	0,4 – 0,2

Заходи для запобігання встановлених мікрокліматичних порушень

норм подані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Запобіжні заходи в теплий та холодний періоди року

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою анемометра Extech AN100; використання кондиціонеру DEKKER DSH105R/G (для кондиціонування і провітрювання)	відсутні	відсутні
2	Контроль параметрів за допомогою термометра La Crosse WS8005; використання кондиціонеру DEKKER DSH105R/G (для кондиціонування і провітрювання)	Перерви в роботі з метою провітрювання кімнати; вологе прибирання на робочих місцях	відсутні
3	Контроль параметрів за допомогою психрометра Т-04; використання зволожувача повітря ZELMER AH1500	Перерви в роботі з метою провітрювання кімнати; вологе прибирання на робочих місцях	відсутні

Приміщення для роботи мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. Нормовані параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вмісту шкідливих речовин відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних місцях та зонах обслуговування приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати чисте свіже повітря.

Джерелами шуму в приміщенні є вентилятор системного блоку, ноутбуку та кондиціонер (табл. 4.8). Звук, що створюється вентилятором та кондиціонером, можна класифікувати як постійний.

Таблиця 4.8

## Джерела шуму

Джерело шуму	Фактичний рівень шуму, дБ	Оптимальний рівень шуму, дБ	Час роботи, год.
Кондиціонер DEKKER SH105R/G	22	< 50	8
Кулер комп'ютеру HP Probook 4530s	20		8

Наслідки шуму та вібрації подано у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

## Шум і вібрація

Шкідливий фактор	Наслідки
Підвищений рівень шуму	Погіршення слуху, підвищення ймовірності виникнення помилки, зниження продуктивності роботи
Вібрації на робочому місці	Роздратування, зниження працездатності, погіршення самопочуття

Запобіжні заходи, які здійснюються для уникнення наслідків шкідливих факторів, наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

## Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою приладу для виміру шуму DT-8852; якісний монтаж окремих вузлів комп'ютера	Проведення планового попереджувального ремонту (чищення від пилу і інших забруднень)	Відсутні
2	Контроль параметрів за допомогою приладу для виміру вібрацій TV260; встановлення спеціальної підставки під ноутбук	Проведення планового попереджувального ремонту (чищення від пилу й інших забруднень)	Відсутні

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 робота відноситься до розряду зорових робіт. Передбачається використання природного, штучного та змішаного освітлення. В табл. 4.11 наведені шкідливі фактори порушень норм яскравості світла.

Таблиця 4.11

## Шкідливі фактори порушень норм яскравості світла

№	Шкідливий фактор	Наслідки
1	Недостатня освітленість робочої зони	Погіршення зору і самопочуття, втомлюваність, підвищення ризику
2	Підвищена яскравість світла	здійснення помилки

У таблиці 4.12 відображено фактичні та оптимальні значення для параметрів освітлення.

Таблиця 4.12

## Параметри освітлення

Найменування	Значення	
	Фактичне	Оптимальне
При змішаному освітленні	450	400
При загальному освітленні	300	300
Коефіцієнт природного освітлення	1,23	1,2

Для уникнення наслідків неправильного освітлення вживаються такі запобіжні заходи (табл. 4.13).

ЕОМ є однофазним споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220В від мережі із заземленою нейтраллю. ІВМ РС відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання, всі струмопровідні частини знаходяться в кожухах. За способом захисту людини від ураження електричним струмом, ЕОМ і периферійна техніка повинні відповідати 1 класу захисту.



Таблиця. 4.13

## Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою люксметра DT-1308; використання нових світильників загального призначення ELSTEAD FINSBURY PARK FP6 POL NICKEL; урахування природного освітлення кімнати	Встановлення мінімального рівня освітлення; чищення скла вікон та світильників; заміна ламп, що перегоріли	Додаткове освітлення на робочих місцях (світильники DeLux Décor TF-05); окуляри для роботи з комп'ютером.
2	Контроль параметрів за допомогою люксметра DT-1308; використання регульованих пристроїв для відкривання вікон, а також жалюзі; використання світильників нового типу	Відсутні	Окуляри для роботи з комп'ютером.

Технічні методи захисту від ураження струмом зводиться до застосування струму безпечної напруги, захисту у випадку випадкового доторкання до струмоведучих частин і від надмірних струмів, захисту у випадку переходу напруги на неструмоведучі металеві частини установки.

Безпечну напругу одержують від сітки підвищеної напруги (110-120 В) за допомогою знижувальних трансформаторів.

Захисту від доторкання до струмоведучих частин установки досягають за допомогою ізоляції, відгородження застосування блокуючих пристроїв запобіжної сигналізації та неприступності розташування установок.

Розподільні щитки поміщають у закриті металеві кожухи-ящики.

Запобіжну сигналізацію застосовують у вигляді плакатів і надписів. Найкращими світловими сигналізаціями є подвійні, яких при наявності напруги горить червона лампочка, а при її відсутності - зелена.

Захист від надмірних струмів – короткого замикання і струмів перевантаження, які можуть спричинити займання ізоляції, здійснюється

запобіжниками й автоматичними вимикачами, а захист від переходу напруги на струмоведучі частини за допомогою захисного заземлення і захисного вимикання.

В табл. 4.14 наведені небезпечні фактори ураження людини електричним струмом.

Таблиця 4.14

#### Небезпечні фактори ураження людини електричним струмом

№	Шкідливий фактор	Наслідки	Заходи
1	Небезпечний рівень напруги струмопровідних частин обчислювальної та побутової техніки	Зростання ризику ураження електричним струмом	Релейний захист струму дотику, захисні заземлюючі корпуси. Попереджувальні знаки про рівень напруги.

#### 4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Великі аварії і катастрофи можуть призвести до загибелі людей і завдати відчутної шкоди. Тому забезпечення безаварійної роботи на підприємстві потрібно розглядати як важливе завдання, що вимагає уваги керівників усіх рівнів та інженерно-технічного персоналу. Аварії можуть відбутися в результаті стихійних лих, допущених прорахунків у проектуванні, будівництві й устаткуванні підприємств; введення в експлуатацію об'єктів з великими недоробками і відступами від проектів; прийняття в експлуатацію вентиляційних систем без випробування їх на ефективність роботи; недоробок з техніки безпеки й охорони праці; незадовільного оснащення контрольно-вимірною, захисною, блокуючою апаратурою і недостатньої герметичності технологічного устаткування. Вони можуть бути також наслідком технологічних процесів, несправності електропроводки та відсутності надійних систем пожежогасіння.

Кожна конкретна аварія викликається сукупністю ряду причин і несприятливих факторів у результаті низького рівня обізнаності персоналу,

допущеної недбалості, порушені правил техніки безпеки. Вивчення причин аварій і всебічна оцінка ступеня небезпеки дозволяють правильно визначити заходи щодо їх попередження, передбачити необхідні заходи захисту людей і зниження збитків.

Основними заходами щодо ліквідації наслідків великих аварій є: оповіщення про небезпеку робітників та службовців; комплексна розвідка об'єкта, на якому відбулася аварія; порятунок людей з-під завалів, зі зруйнованих і пошкоджених будинків та споруд; надання медичної допомоги постраждалим і евакуація їх у лікувальні установи; гасіння пожеж; локалізація аварій на комунально-енергетичних мережах, які перешкоджають веденню рятувальних робіт; улаштування проїздів і проходів до місць аварії; обвалування нестійких конструкцій, розбирання завалів, демонтаж збереженого устаткування, якому загрожує небезпека.

Швидке проведення рятувальних робіт і оперативна ліквідація наслідків аварії вимагають значних сил і засобів, для цих цілей залучаються спеціальні та територіальні формування загального призначення.

Рятувальні роботи в місцях аварії проводяться в умовах загазованості, а при пожежах – задимленості і високих температур, щоб забезпечити безперервність роботи з наростаючим темпом, ресурси поділяють на зміни і виділяють резерви.

Рятувальні роботи та допомога потерпілим організуються негайно після виникнення аварії. До місця аварії першими повинні прибувати протипожежні команди, підрозділи міліції, машини швидкої медичної допомоги.

Ліквідація наслідків аварії може здійснюватися одночасно на всьому об'єкті чи на окремих ділянках у тих випадках, коли мається достатня кількість сил і засобів, роботи проводяться відразу на всій площі. Якщо сил недостатньо, роботи повинні проводитися послідовно, в першу чергу їх починають там, де необхідно надати допомогу людям, і на ділянках, які становлять найбільшу небезпеку [18].

Перша медична і лікарська допомога надається постраждалим, які знаходяться в стані шоку, а також звільненим з-під завалів і уламків. Витягування людей з-під великих завалів здійснюється з дотриманням заходів безпеки, їм надається невідкладна медична допомога з наступною евакуацією в лікувальні установи.

Для організації робіт з ліквідації наслідків аварій і катастроф на об'єкті створюється постійно діюча надзвичайна оперативна група під керівництвом головного інженера. У надзвичайних умовах вона працює під загальною координацією районної (міської) надзвичайної комісії.

Ліквідація наслідків аварії проводиться в чотири етапи:

1. Вживання екстрених заходів (попередня оцінка обстановки, надання допомоги потерпілим, вживання екстрених заходів по захисту робітників, службовців, населення, локалізація аварії та організація розвідки).

2. Оперативне планування (розвідка, уточнення обстановки, розрахунок необхідних сил і засобів, оцінка масштабів збитків, планування робіт з ліквідації наслідків аварії).

3. Рятувальні роботи (розшук потерпілих, їх витягування з-під завалів, з палаючих будинків, евакуація людей із зони аварії, надання першої медичної й інших видів допомоги постраждалим).

4. Ліквідація наслідків (заходи щодо створення умов для забезпечення життєдіяльності населення в районі аварії, відновлення функціонування [19].

## ВИСНОВКИ

У роботі описано структуру побудови маломасштабної системи автоматизації IoT, прикладом якого є гібридний енергетичний модуль. На основі наданої тут інформації інші дослідницькі проекти або малі підприємства можуть вивчати та застосовувати знання для своїх випадків.

Рішення описувало систему автоматизації на трьох рівнях, включаючи польовий рівень, рівень управління та рівень нагляду. На польовому рівні встановлено нові датчики температури та витрати, насоси, перемикачі EnOcean та термінальні карти.

На рівні управління до існуючих проектів додано нові програми, що керують процесом горіння, циркуляцією води, системою освітлення.

Структуру проекту також було змінено, щоб покращити продуктивність системи, а також досвід програмування. Змінні процесу були доступні через сервер OPC UA, що працює під керуванням TwinCAT.

З OPC UA нові програми з різних платформ можуть легко отримати доступ для моніторингу та контролю процесів у майбутньому. Контрольний рівень складався з програми-шлюзу, бази даних, візуалізації показників і веб-програми.

Тестування на прототипах показали, що горіння було послідовним і енергоефективним. Крім того, під час спалювання в димоході не виявлено жодних ПГ. Температура води в трьох накопичувальних резервуарах сягала значень приблизно 80°C. Крім того, програми візуалізації вели себе належним чином і надавали повне уявлення про тест. Подальші експерименти та розробки заплановані та будуть проведені на наступних етапах проекту.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Alternative Energy Tutorials. Evacuated Tube Collector. Retrieved on September 27, 2019. URL : <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>.
2. Apricus. PV Panels, 2019. URL : <http://www.apricus.com/solar-pv-systems-pv-panels-19.html#.XZEIpygzY2w>.
3. Beckhoff. TC3 OPC UA. 2019. URL : [https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twincat3/TF6100\\_TC3\\_OPC-UA\\_EN.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twincat3/TF6100_TC3_OPC-UA_EN.pdf).
4. Radio Technology. 2019. URL: [https://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white\\_paper/WhitePaper\\_Getting\\_Started\\_With\\_EnOcean\\_v1.0.pdf](https://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/WhitePaper_Getting_Started_With_EnOcean_v1.0.pdf).
5. Carbon neutral Finland that protects biodiversity. 2019. URL : <https://valtioneuvosto.fi/en/rinne/government-programme/carbon-neutral-finland-that-protects-biodiversity>.
6. Grafana. 2019. URL : <https://grafana.com/grafana/>.
7. Smaller carbon footprint, higher energy efficiency. 2019. URL : <https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Pienempi-hiilijalanjalki-suurempi-energiatehokkuus>.
8. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
9. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
10. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.

11. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.