

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка та дослідження автоматизованої системи управління температури та рівня рН в системах опалення
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання
групи МНПм-23-1

Гоцкало С.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 176 – Мікро- та наносистемна техніка

(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Стрілкова Т.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І. М.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)Рівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 176 – Мікро- та наносистемна техніка
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУздобувачеві Гоцкало Сергію Станіславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи «Розробка та дослідження автоматизованої системи управління температури та рівня рН в системах опалення»затверджена наказом університету від 06 грудня 2024 р. № 1284 Ст2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13 січня 2025 р.3. Вихідні дані до роботи ДСТУ, тема роботи, залежність температури теплоносія на температуру навколишнього середовища, модулі для автоматизації, модуль рН з робочою температурою 0-100 °С та діапазон рН 0-10рН.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ4.2 Аналіз предметної області дослідження4.3 Методи управління роботи регуляторів температури та значення рН теплоносія4.5 Обрання модулів4.6 Розробка програмного модуля автоматизованої системи управління регуляторами температури та рівня рН4.6 Експериментальні випробування розробленої моделі програмного модуля4.6 Висновки

Додатки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Додаток А, Додаток Б та Додаток В

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|---|--|---------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз предметної області | 09.12.24 | |
| 2 | Графік залежності температур | 19.12.24 | |
| 3 | Методи управління роботи регуляторів температури та значення рН теплоносія | 23.12.24 | |
| 4 | Обрано мікроконтролер та датчики | 26.12.24 | |
| 5 | Алгоритм роботи | 27.12.24 | |
| 6 | Розробка програмного модуля автоматизованої системи | 03.01.25 | |
| 7 | Експериментальні випробування розробленої моделі | 06.01.25 | |
| 8 | Оформлення пояснювальної записки | 07.01.25 | |
| 9 | Подання кваліфікаційної роботи на нормоконтроль та рецензування | 13.01.25 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання 09 12 2024 р.

Здобувач  _____

Керівник роботи _____ проф. Стрілкова Т.О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 7 |
| ВСТУП..... | 8 |
| 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ | 10 |
| 1.1 Опалення | 10 |
| 1.2 Теплообмінник | 12 |
| 1.3 Теплоносій | 14 |
| 1.4 Теплоізоляція теплоносія | 17 |
| 1.5 Залежність температур | 20 |
| 1.6 Сучасний стан опалення в Україні | 23 |
| 2 МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РОБОТИ РЕГУЛЯТОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА | |
| ЗНАЧЕННЯ pH ТЕПЛОНОСІЯ..... | 24 |
| 2.1 Традиційний метод управління робои регуляторів теммпераутри в Україні. 24 | |
| 2.2 Модулі для автоматизації ЦТП | 25 |
| 2.3 Датчики вимірювання pH середовища. | 41 |
| 2.4 Датчики pH | 43 |
| 2.5 Склад датчику pH..... | 44 |
| 2.6 Вигляд інтерфейсу Arduino IDE | 49 |
| 3 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ | 54 |
| 3.1 Рівняння Нернст | 54 |
| 3.2 Матеріали труб..... | 56 |
| 3.3 Алгоритм роботи програми..... | 58 |
| 3.4 Tinkercad | 59 |
| 3.5 Тестування модуля за допомогою програмного забезпечення | 61 |
| ВИСНОВКИ..... | 64 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 66 |
| ДОДАТОК А ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА..... | 69 |
| ДОДАТОК Б КОД ПРОГРАМИ | 70 |
| ДОДАТОК В | 74 |

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 68 сторінок, 34 рисунків, 11 таблиць, 17 джерел, 1 додаток.

ARDUINO, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПЛК, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ, ЦТП, ДАТЧИК, МОДУЛЬ.

Мета роботи – розробити автоматизований модуль системи управління регулятора температури та рівня рН теплоносія у центральному тепловому пункті.

Об’єкт розробки – модуль автоматизованої системи управління регулятора температури рівня рН теплоносія у центральному тепловому пункті.

Предмет розробки – підвищення ступеню автоматизація центральних теплових пунктів.

Проведено аналіз теперішнього стану опалення в Україні, індивідуальних варіантів автоматизація опалення. Ознайомлено з термінологією, методом роботи опалення, призначенням ЦТП.

Актуальність розробки модуля автоматизованої системи управління регулятора температури теплоносія у ЦТП полягає у необхідності ефективного контролю та регулювання температурного режиму, що сприяє забезпеченню оптимального функціонування теплових систем, зниженню енерговитрат та покращенню екологічних показників. Даний модуль дозволить забезпечити точність і стабільність регулювання, а також зручне і швидке управління системою, сприяючи підвищенню ефективності і надійності теплоенергетичного обладнання.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 68 pages, 34 figures, 11 tables, 17 sources, 1 appendices.

ARDUINO, AUTOMATION, PLC, SOFTWARE, CENTRAL HEATING SYSTEM, SENSOR, MODULE.

The purpose of the work is to develop an automated module of the control system for the temperature controller and the pH level of the coolant in the central heating point.

The object of development is the module of the automated control system for the temperature controller of the pH level of the coolant in the central heating substation.

The subject of development is to increase the degree of automation of central heating points.

An analysis of the current state of heating in Ukraine, individual options for heating automation has been carried out. Familiarized with the terminology, method of heating operation, purpose of the central heating system.

The relevance of the development of the module of the automated control system for the coolant temperature controller in the central heating station lies in the need for effective control and regulation of the temperature regime, which contributes to ensuring the optimal functioning of thermal systems, reducing energy costs and improving environmental performance. This module will ensure the accuracy and stability of regulation, as well as convenient and fast control of the system, contributing to increasing the efficiency and reliability of thermal power equipment.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

pH – водневий показник;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЕН – трубчастий електронагрівач;

ТЕС – теплова електростанція;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки;

ЦТП – центральний тепловий пункт.

ВСТУП

У сучасному світі розвиток технологій автоматизації стає ключовим напрямом у багатьох галузях, де людська праця використовується нерационально або може бути замінена більш ефективними рішеннями. Особливо актуальною ця тенденція є у сфері теплової енергетики, де точне та стабільне регулювання параметрів, таких як температура теплоносія, має вирішальне значення для ефективності роботи систем. Розробка модуля для автоматизованої системи управління регулятором температури теплоносія в центральних теплових пунктах (ЦТП) є кроком уперед у підвищенні енергоефективності та надійності теплових мереж.

Основною метою цього модуля є забезпечення ефективного контролю та регулювання температурного режиму, що дозволить досягти оптимального функціонування теплових систем. Це не тільки знижує енерговитрати, але й покращує екологічні показники, зменшуючи викиди парникових газів. Автоматизована система управління дозволяє досягти високої точності та стабільності регулювання температури, що важко досягти за допомогою ручного управління. Крім того, впровадження такого модуля забезпечує зручне та швидке управління, підвищуючи загальну ефективність та надійність теплоенергетичного обладнання.

Такий модуль стає незамінним інструментом для покращення функціональності систем управління тепловими процесами. Він дозволяє підтримувати оптимальний рівень температури, контролювати його стабільність і зменшувати споживання енергії. Це сприяє збереженню природних ресурсів та знижує негативний вплив на навколишнє середовище. У довгостроковій перспективі впровадження автоматизації в ЦТП може значно зменшити експлуатаційні витрати та підвищити рівень комфорту для користувачів теплових систем.

Враховуючи важливість впровадження автоматизованих систем, можна стверджувати, що вони стають основою для підвищення продуктивності, довговічності обладнання та економічної ефективності теплових мереж.

Автоматизація дозволяє зменшити вплив людського фактора, знижуючи кількість помилок і прискорюючи реагування на зміну умов, що особливо важливо в умовах швидкозмінного клімату та зростаючих вимог до енергоефективності.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка модуля автоматизованої системи управління регулятором температури та рівня рН теплоносія в ЦТП. Основним об'єктом розробки виступає модуль автоматизованої системи управління регулятора температури теплоносія в центральному тепловому пункті, а предметом – підвищення ступеня автоматизації центральних теплових пунктів. Завдання дослідження включають теоретичний аналіз предметної області для виявлення недоліків, дослідження залежності зміни кліматичної температури та температури теплоносія, вибір засобів для розробки програмного модуля, а також створення самого модуля для автоматизованого управління регуляторами температури. Оформлення пояснювальної записки здійснюється згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Опалення

Центральний тепловий пункт (ЦТП) є ключовою складовою системи централізованого опалення в Україні. Його основною функцією є забезпечення постачання тепла до житлових будинків, комерційних і промислових будівель від централізованих джерел тепла, таких як теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або теплові електростанції (ТЕС). ЦТП, як правило, розташовується в окремих приміщеннях, які знаходяться між теплогенеруючими об'єктами та споживачами. Це дозволяє ефективно розподіляти теплоносії через систему трубопроводів. Інколи такі пункти можуть бути розташовані у підвальних приміщеннях житлових або інших будівель, що зручно для обслуговування та скорочення довжини теплотрас. На рисунку 1.1 приведено вигляд ЦТП [3].



Рисунок 1.1 – Вигляд ЦТП ззовні

Це компактна споруда, яка стратегічно розташована між житловими будинками, щоб забезпечити максимально ефективний розподіл трубопроводів до

прилеглих будівель. Завдяки такому розташуванню можна оптимізувати довжину труб, зменшити тепловтрати та забезпечити більш рівномірне постачання тепла до кожного з об'єктів. У деяких випадках така структура може бути інтегрована в існуючі будівлі, зокрема, розташована у підвальних приміщеннях. Це рішення дозволяє економити простір та знижувати витрати на будівництво окремої споруди, забезпечуючи при цьому зручний доступ до системи для обслуговування та ремонту. Вигляд всередині є на рисунку 1.2 .



Рисунок 1.2 – Вигляд ЦТП у середині

Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) – це установки, що одночасно виробляють теплову та електричну енергію. Вони можуть працювати на різних видах палива, таких як вугілля, природний газ, нафта, біомаса. ТЕЦ є невід’ємною частиною енергетичної інфраструктури, забезпечуючи теплом житлові райони, промислові зони та інші сектори економіки. Теплові електростанції (ТЕС), у свою чергу, головним чином виробляють електроенергію, хоча також можуть використовувати залишкове тепло для обігріву менших обсягів будівель. Його вигляд приведено на рисунку 1.3 та 1.4 [4].



Рисунок 1.3 – Харківська ТЕЦ-5



Рисунок 1.4 – Зміївська ТЕС

1.2 Теплообмінник

Теплообмінник є невід’ємною складовою сучасних теплових систем, що забезпечує ефективну передачу теплової енергії між двома або більше теплоносіями. Його основна мета – забезпечити передачу тепла без фізичного змішування рідин або газів, що контактують через стінки теплообмінника. Цей пристрій відіграє ключову

роль у багатьох галузях, включаючи промисловість, енергетику, опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря. вигляд приведено на рисунку 1.5.

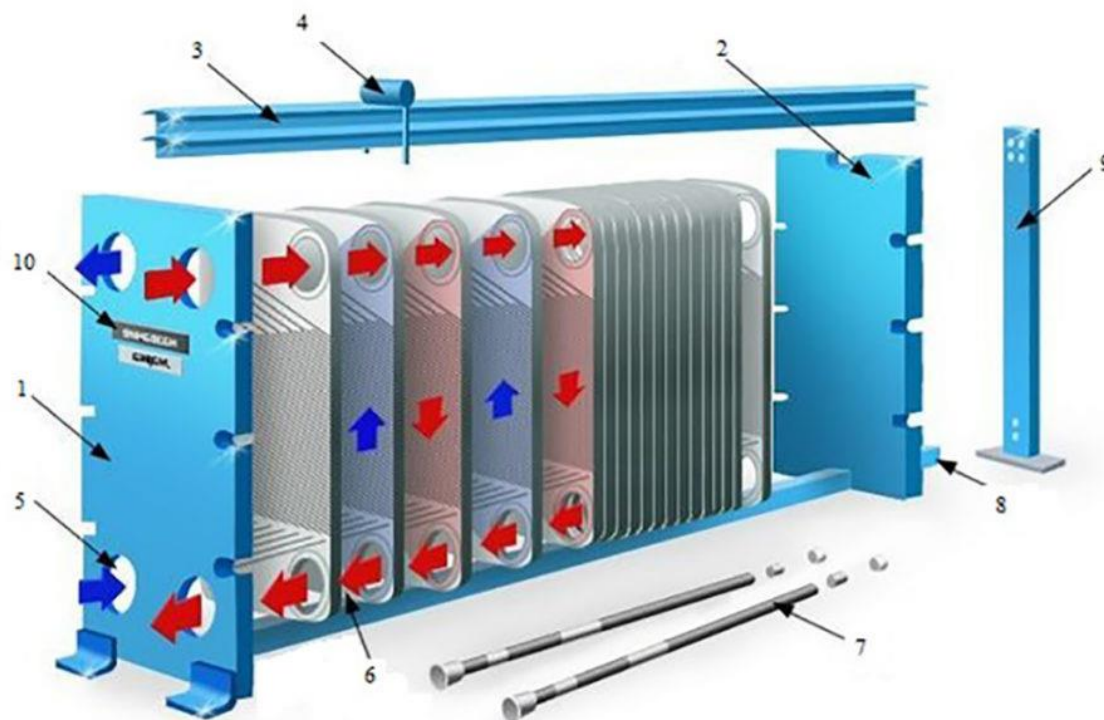


Рисунок 1.5 – Теплообмінник

Конструкція теплообмінника може варіюватися залежно від його призначення. Найбільш поширеними є трубчасті, пластинчасті та повітряні теплообмінники. Трубчасті теплообмінники складаються з системи труб, через які протікають теплоносії. Пластинчасті теплообмінники включають серію тонких металевих пластин, між якими проходять теплоносії, забезпечуючи велику площу теплообміну. Повітряні теплообмінники використовують повітря як теплоносій і зазвичай застосовуються в системах вентиляції [5].

Принцип роботи теплообмінника заснований на передачі тепла від одного теплоносія до іншого через стінку, яка розділяє їх. Це відбувається завдяки теплопровідності та конвекції. У процесі теплопровідності тепло передається через тверді стінки теплообмінника від гарячого до холодного середовища. Конвекція, в

свою чергу, забезпечує рух теплоносія, що сприяє ефективному переносу тепла. В деяких випадках, зокрема у високотемпературних установках, може мати місце також теплопередача через випромінювання.

У центральному тепловому пункті (ЦТП) теплообмінники виконують важливу функцію в регулюванні температури і тиску теплоносія, що надходить з теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або теплової електростанції (ТЕС). Теплоносій, який має значно вищу температуру і тиск, ніж це потрібно для кінцевого споживача, проходить через теплообмінник, де передає своє тепло іншому теплоносію, що циркулює у системі опалення. Це дозволяє знизити температуру і тиск до безпечних рівнів, забезпечуючи комфортне і ефективне опалення будівель.

У системі опалення України теплообмінники відіграють важливу роль у забезпеченні енергоефективності і надійності системи. Вони дозволяють зменшити теплові втрати, забезпечують стабільність параметрів теплоносія і сприяють оптимальному використанню енергоресурсів. В умовах постійного зростання вимог до енергоефективності та екологічної безпеки теплообмінники стають ключовим елементом у розвитку сучасних систем опалення. Їх застосування дозволяє зменшити викиди парникових газів, оптимізувати витрати на опалення і підвищити рівень комфорту в житлових і комерційних приміщеннях [6].

1.3 Теплоносій

Теплоносій є ключовим компонентом у системах теплопостачання, що забезпечує передачу теплової енергії від джерела тепла до кінцевих споживачів. Він відіграє важливу роль у забезпеченні ефективної роботи системи опалення, гарячого водопостачання та промислових теплотехнічних процесів. У системах централізованого опалення України теплоносій є необхідним елементом, який дозволяє підтримувати комфортні умови в житлових, комерційних і виробничих приміщеннях.

У системах теплопостачання найбільш поширеними є рідкі теплоносії, серед яких вода займає провідне місце завдяки своїм унікальним властивостям. Вода має

високу теплоємність, низьку вартість і доступність, що робить її ідеальним вибором для передачі тепла. Крім води, в деяких випадках використовуються спеціальні рідини, такі як антифризи, які мають низьку температуру замерзання і застосовуються в умовах, де є ризик замерзання теплоносія.

Існують також газоподібні теплоносії, наприклад, пара, яка використовується в промислових системах та деяких теплових мережах. Газоподібні теплоносії мають перевагу у високій температурі передачі тепла, що дозволяє ефективно використовувати їх у технологічних процесах.

Теплоносій виконує декілька важливих функцій у системах тепlopостачання. Він забезпечує передачу тепла від джерела (ТЕЦ, ТЕС або котельні) до споживачів через розподільні мережі, теплоносій забезпечує рівномірний розподіл тепла по всій системі, підтримуючи стабільну температуру в приміщеннях. Також він запобігає перегріву системи, поглинаючи і відводячи надлишкове тепло.

У системі централізованого опалення теплоносій циркулює по замкнутому контуру, передаючи тепло від теплогенеруючого обладнання до опалювальних приладів у будівлях. У ТЕЦ або ТЕС вода нагрівається до високої температури і під тиском транспортується до ЦТП. У ЦТП здійснюється регулювання параметрів теплоносія – зниження температури і тиску до рівня, необхідного для безпечної подачі тепла в будівлі.

Теплоносій, проходячи через теплообмінники у ЦТП, передає своє тепло до вторинного контуру, в якому циркулює вода, що подається безпосередньо до будинків. Таким чином, забезпечується ефективно і безпечно тепlopостачання кінцевим споживачам.

Ефективність роботи теплоносія залежить від його властивостей, таких як теплоємність, в'язкість і теплопровідність. Висока теплоємність забезпечує збереження більшої кількості тепла, що дозволяє зменшити витрати енергії на обігрів. Низька в'язкість сприяє легшій циркуляції теплоносія по системі, зменшуючи навантаження на насоси і витрати електроенергії.

З екологічної точки зору, теплоносій грає важливу роль у зниженні викидів парникових газів і шкідливих речовин. Оптимізація систем тепlopостачання з

використанням сучасних теплоносіїв дозволяє зменшити споживання енергії та, відповідно, викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Вода є основним теплоносієм, що використовується в системах централізованого опалення України. Її вибір зумовлений численними перевагами, серед яких доступність, висока теплоємність, безпечність та економічність. Вода як теплоносій забезпечує ефективну передачу тепла від джерела до кінцевих споживачів, що є ключовим фактором для забезпечення комфортного теплового режиму в житлових і комерційних приміщеннях.

У системах централізованого опалення вода нагрівається до певної температури в котлах ТЕЦ або ТЕС і під тиском подається через тепломережі до центральних теплових пунктів ЦТП. У ЦТП здійснюється регулювання параметрів води, щоб забезпечити оптимальну температуру і тиск для подачі в будівлі.

Після проходження через радіатори в приміщеннях вода повертається в теплогенеруючі установки для повторного нагрівання. Цей процес є циклічним і забезпечує постійне тепlopостачання в холодний період року. Незважаючи на численні переваги, використання води як теплоносія також має деякі виклики. Наприклад, вода може спричиняти корозію трубопроводів і обладнання, що вимагає застосування антикорозійних добавок і регулярного технічного обслуговування системи. Крім того, у зимовий період є ризик замерзання води в системах, що потребує відповідних заходів, таких як утеплення трубопроводів або використання антифризів у місцях, де це необхідно.

В останні роки в Україні активно впроваджуються заходи з підвищення ефективності систем централізованого опалення, включаючи модернізацію тепломереж, встановлення нових котлів з підвищеною ефективністю і впровадження систем автоматичного регулювання температури. Усі ці заходи спрямовані на оптимізацію використання води як теплоносія, зменшення теплових втрат і підвищення енергоефективності систем опалення [7].

1.4 Теплоізоляція теплоносія

Теплоізоляція є однією з ключових фізичних характеристик матеріалів, що визначає їхню здатність до передачі теплової енергії. Вона виражається в одиницях ват на метр на кельвін ($\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) і слугує показником того, наскільки ефективно матеріал може проводити тепло. Матеріали з високим рівнем теплопровідності добре проводять тепло, що призводить до їх швидкого нагрівання та охолодження. Водночас, матеріали з низьким рівнем теплопровідності уповільнюють процес передачі тепла, що робить їх ідеальними для використання у якості теплоізоляційних матеріалів. На теплопровідність матеріалу впливають різні фактори, такі як його хімічний склад і фізична структура, а також зовнішні умови, включаючи температуру, атмосферний тиск і вологість повітря. Ці фактори взаємодіють, створюючи комплексну картину ефективності теплоізоляції, яка є критично важливою для збереження енергії та забезпечення комфортних умов у будівлях і технічних системах.

Теплоізоляція є ключовим компонентом систем тепlopостачання, який забезпечує збереження тепла під час транспортування теплоносія від джерела до кінцевого споживача. Ефективна теплоізоляція знижує теплові втрати, підвищує енергоефективність системи та сприяє зменшенню витрат на енергоносії.

У системах опалення України, де вода є основним теплоносієм, теплоізоляція трубопроводів і обладнання має особливе значення. У процесі транспортування гарячої води через тепломережі значна частина тепла може втрачатися в навколишнє середовище. Теплоізоляційні матеріали знижують ці втрати, забезпечуючи максимальну передачу теплової енергії до споживачів. Зменшуючи теплові втрати, теплоізоляція дозволяє знизити обсяги енергії, необхідної для підтримання заданої температури теплоносія. Це сприяє економії палива і зменшенню викидів парникових газів. В умовах різниці температур між теплоносієм і навколишнім середовищем може утворюватися конденсат, який сприяє корозії трубопроводів. Теплоізоляція запобігає утворенню конденсату, подовжуючи термін служби системи.

Теплоізоляція знижує ризик опіків і травм у разі контакту з гарячими поверхнями трубопроводів, що є важливим фактором у житлових і громадських будівлях.

У централізованих системах опалення України теплоізоляція відіграє вирішальну роль у забезпеченні надійного і економічного теплопостачання. Ізоляція застосовується на всіх етапах транспортування теплоносія — від ТЕЦ або ТЕС до кінцевих споживачів. Це дозволяє зберігати стабільну температуру теплоносія, мінімізувати втрати енергії та забезпечити ефективну роботу системи навіть у найхолодніші періоди. На рисунку 1.6 показан приклад теплоізоляції [8].



Рисунок 1.6 – Теплоізоляція труб

Модернізація та оновлення теплоізоляції в існуючих тепломережах є пріоритетним завданням для підвищення енергоефективності систем опалення України. Впровадження сучасних ізоляційних матеріалів і технологій дозволяє

значно знизити витрати енергії і поліпшити якість тепlopостачання для населення.
Матеріали теплоізоляції приведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Матеріали ізоляції

| Характеристики | Мінеральна вата | Пінополістирол | Пінополіуретан | Спінений каучук | Спінений поліетилен |
|--|--|---|--|--|-------------------------------------|
| Теплопровідність, Вт/м*К | 0,04 | 0,035-0,04 | 0,022-0,03 | 0,038-0,045 | 0,032 |
| Щільність, кг/м ³ | 105-135 | 35-40 | 60 | 65 | 35 |
| Водопоглинання, % | 10-15 | 4 | 1-2 | 0,6 | 0,6 |
| Температура застосування, С ⁰ | Від -180 до +680 | Від -60 до +75 | Від -180 до +140 | Від -60 до +105 | Від -80 до +100 |
| Простота монтажу | Може вимагати намотування, фіксації стяжками, дротяними кільцями | Склеюється, стягується кріпильними бандажами або збирається в короб | Надівається на трубу, фіксується термострічкою | Фіксується на клей або за допомогою затискачів | Кріпиться за допомогою клею, скотча |
| Хімічна та біостійкість | висока | висока | висока | висока | висока |
| Горючість | НГ | Г3-Г4 | Г2-Г4 | Г1 | Г1 |

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що найбільш оптимальним вибором є спінений поліетилен. Цей матеріал відзначається найнижчою щільністю та однією з найнижчих теплопровідностей серед інших ізоляційних матеріалів, що забезпечує ефективне збереження тепла. Крім того, висока пластичність спіненого поліетилену дозволяє йому легко адаптуватися до теплових розширень трубопроводів, викликаних змінами температури, що зменшує ризик пошкоджень. Пінополіуретан, хоча і має переваги в деяких аспектах, поступається спіненому поліетилену в довговічності. Це є суттєвим недоліком, особливо коли мова йде про ізоляцію підземних трубопроводів, де часта заміна матеріалу є економічно невигідною та технічно складною. Враховуючи ці фактори, спінений поліетилен виступає більш раціональним вибором для забезпечення ефективної і довготривалої теплоізоляції.

1.5 Залежність температур

Для того щоб отримати точну залежність температури повітря від температури теплоносія, необхідно провести довготривалі та детальні дослідження. Кожен конкретний випадок має свої особливості, що призводить до варіативності результатів. Визначення оптимальної температури теплоносія є важливим кроком у створенні ефективних систем опалення та охолодження, що забезпечують стабільну та економічно вигідну роботу. Цей процес включає кілька етапів, кожен з яких сприяє досягненню високої точності та надійності результатів.

Першим етапом є встановлення параметрів, які будуть враховуватись під час вимірювань температури теплоносія. Серед цих параметрів варто виділити температурний діапазон, точність вимірювань, а також швидкість реагування системи та її стабільність при різних умовах. Визначення цих факторів є необхідним для правильного налаштування вимірювального процесу.

Наступним важливим кроком є вибір відповідних датчиків температури, що будуть використовуватись для проведення вимірювань. Вибір датчиків залежить від ряду факторів, серед яких функціональні вимоги системи, умови її експлуатації та

точність, яку необхідно досягти в результатах. Зазвичай для таких досліджень застосовуються різноманітні типи датчиків, включаючи термометри, термопари та резистори, кожен з яких має свої переваги та обмеження в різних умовах.

Третій етап передбачає планування експерименту, що включає в себе розробку методики вимірювань та організацію збору даних. На цьому етапі важливо чітко прописати всі етапи роботи, включаючи установку датчиків, записи результатів і контроль температурних параметрів. Чітке дотримання протоколів дозволяє забезпечити високий рівень надійності та точності проведених вимірювань.

Четвертий етап — це безпосереднє проведення дослідження, коли застосовуються обрані методи вимірювання і збираються дані про температуру теплоносія в різних умовах. На цьому етапі важливо забезпечити наявність великої кількості спостережень і повторити експеримент кілька разів для підтвердження отриманих результатів. Таке повторення дозволяє виключити випадкові помилки та зробити дані більш достовірними.

Заключним етапом є аналіз і інтерпретація отриманих результатів. На основі зібраних даних складається температурний графік, що наочно демонструє залежність температури теплоносія від різних умов. Такі графіки є основою для подальших розрахунків та оптимізації роботи системи опалення. Як приклад, на рисунку 1.7 наведено температурний графік теплових мереж Сумської ТЕЦ за 2021 рік [9].

ПОГОДЖЕНО
Директор Департаменту
інфраструктури міста СМР
Журба О.І.
« » 2021 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «Сумитеплоенерго»
Васюнін Д.Г.
« » 2021р.

ТЕМПЕРАТУРНИЙ ГРАФІК ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ
Сумської ТЕЦ ТОВ «Сумитеплоенерго» 110-70°
для об'єктів теплоспоживання на опалювальний сезон 2021-2022 р.р..

| Температура зовнішнього повітря, °С | Температура мережної води в подаючому трубопроводі для опалення, °С | Температура мережної води в зворотному трубопроводі для опалення, °С |
|-------------------------------------|---|--|
| 8 | 46 | 36 |
| 7 | 48 | 38 |
| 6 | 50 | 39 |
| 5 | 52 | 40 |
| 4 | 54 | 41 |
| 3 | 56 | 43 |
| 2 | 59 | 44 |
| 1 | 61 | 45 |
| 0 | 63 | 46 |
| -1 | 65 | 47 |
| -2 | 67 | 48 |
| -3 | 69 | 49 |
| -4 | 71 | 50 |
| -5 | 73 | 51 |
| -6 | 75 | 52 |
| -7 | 77 | 53 |
| -8 | 79 | 54 |
| -9 | 81 | 55 |
| -10 | 82 | 56 |
| -11 | 84 | 57 |
| -12 | 86 | 58 |
| -13 | 88 | 59 |
| -14 | 90 | 60 |
| -15 | 92 | 61 |
| -16 | 94 | 62 |
| -17 | 96 | 63 |
| -18 | 97 | 64 |
| -19 | 99 | 65 |
| -20 | 101 | 66 |
| -21 | 103 | 67 |
| -22 | 105 | 67 |
| -23 | 106 | 68 |
| -24 | 108 | 69 |
| -25 | 110 | 70 |

Примітка: допустиме відхилення: $T_{под} = \pm 3 - 4 \text{ } ^\circ\text{C}$; $T_{звор}$ = середньодобова не вище 3 - 4 °С
зниження $T_{обр}$ проти графіку не лімітується.

* - «Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж»

Начальник ВТВ цеху ТМ і К

Демиденко В.М.

Рисунок 1.7 – Дослідження температурного графіку теплових мереж

Щоб створити програму, котра буде регулювати температуру теплоносія, потрібні вхідні дані. На основі дослідження створено графік залежності. Його приведено на рисунку 1.8.

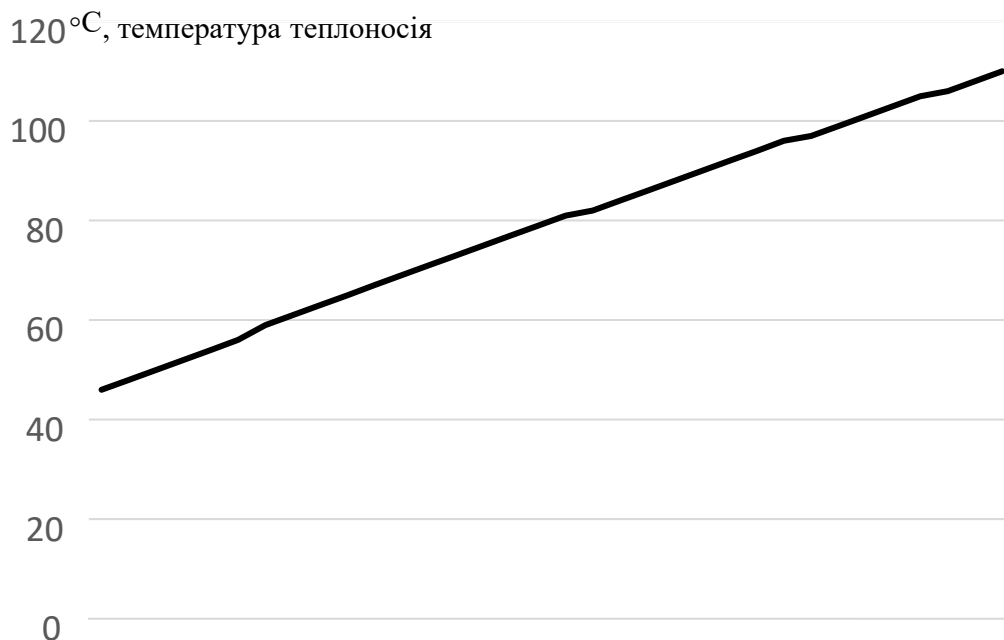


Рисунок 1.8 – Графік залежності

1.6 Сучасний стан опалення в Україні

Сучасний стан систем опалення в Україні під час війни зазнав значних змін та труднощів, пов'язаних з агресією з боку Росії. Війна призвела до серйозних пошкоджень інфраструктури, зокрема теплових мереж, котелень, теплоелектроцентралей (ТЕЦ) та інших важливих елементів енергетичної системи. Унаслідок цього значна частина населення та промислових підприємств України стикнулася з серйозними проблемами в забезпеченні теплом.

2 МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РОБОТИ РЕГУЛЯТОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЗНАЧЕННЯ РН ТЕПЛОНОСІЯ

2.1 Традиційний метод управління роботою регуляторів температури в Україні

В Україні управління центральними тепловими пунктами (ЦТП) здебільшого здійснюється вручну, що передбачає безпосереднє втручання оператора або технічного персоналу для регулювання роботи обладнання. Це втручання може бути необхідним як під час виконання планових робіт, так і в процесі тестування, налагодження системи або в аварійних ситуаціях. Оператор під команду вищого керівництва виконує всі необхідні дії з налаштування та коригування параметрів роботи ЦТП.

Для виконання своїх обов'язків оператор використовує різноманітні пристрої керування, серед яких перемикачі, кнопки, ручки, регулятори та дисплеї з клавішами. Ці пристрої інтегровані в систему управління ЦТП і надають можливість змінювати ключові параметри, такі як температура, тиск, розподіл тепла тощо. Від здатності оператора ефективно управляти цими параметрами залежить оптимальна робота системи опалення.

Для якісного виконання своїх обов'язків оператор повинен досконало розуміти принципи роботи ЦТП, а також вміти аналізувати поточні умови та вимоги системи для прийняття обґрунтованих рішень щодо її регулювання. Крім того, необхідно суворо дотримуватися правил безпеки при роботі з обладнанням ЦТП, що мінімізує ризики аварійних ситуацій.

Автоматизація процесу управління ЦТП може стати значним кроком уперед у підвищенні ефективності роботи системи. Впровадження автоматизованих систем дозволить зменшити залежність від людського фактора, знизити ймовірність помилок і оптимізувати роботу персоналу. На сьогодні оператори змушені регулярно перевіряти температуру повітря на вулиці та налаштовувати параметри системи відповідно до спеціальних таблиць, зокрема температурних графіків теплових мереж.

У цих графіках для кожного показника зовнішньої температури вказується рекомендована температура води для опалення.

Коригування температури здійснюється за допомогою нагрівальних пристроїв, таких як трубчасті електронагрівачі (ТЕНи). Залежно від потреб системи, оператори можуть збільшувати або зменшувати температуру води, що забезпечує необхідний рівень тепла в будівлях. Автоматизація цього процесу не лише зменшить трудозатрати, але й підвищить загальну енергоефективність системи опалення. Вигляд тену приведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Тен

2.2 Модулі для автоматизації ЦТП

У цьому проєкті необхідно автоматизувати процес опалення за допомогою теплових датчиків та модулів, що є ключовими компонентами для підтримки оптимальної температури в різних умовах. Теплові датчики дозволяють точно вимірювати та реєструвати температуру, що є критичним для ефективного управління системами опалення.

Теплові датчики існують у різних формах і використовують різні технології для вимірювання температури. Серед них можна виділити термістори, термопари та

інфрачервоні датчики. Кожен з цих типів має свої унікальні характеристики та застосування.

Термістор, який візуально показано на рисунку 2.2, є одним із найпоширеніших видів теплових датчиків. Вони функціонують на основі зміни електричного опору у відповідь на зміну температури. Цей принцип роботи дозволяє термісторам перетворювати теплові зміни на електричні сигнали, які можуть бути оброблені електронними системами управління. Завдяки своїй високій чутливості та точності, термістори широко використовуються для контролю температури в системах опалення.



Рисунок 2.2 – Термістор NTC 47D-15

Термопара, яка візуально показано на рисунку 2.3, представляють собою ще один важливий тип теплових датчиків, що широко використовуються у промислових і побутових системах опалення. Вони складаються з двох провідників, виготовлених з різних матеріалів, які з'єднуються в одній точці. При зміні температури в зоні з'єднання виникає електромотивна сила (ЕМС), яка є пропорційною різниці температур між точкою з'єднання і вільними кінцями провідників.

Вона генерує електричний сигнал, що може бути виміряний і використаний для визначення температури з високою точністю. Термопари є простими у використанні, надійними та мають широкий діапазон вимірюваних температур, що робить їх універсальними для застосування в різних середовищах.



Рисунок 2.3 – Термопара

Інфрачервоний датчик є ще одним ключовим типом теплових датчиків, які використовуються для вимірювання температури об'єктів без прямого контакту з ними. Ці датчики працюють на основі принципу інфрачервоного випромінювання: усі об'єкти випромінюють теплове випромінювання, інтенсивність якого залежить від їхньої температури.

Інфрачервоні датчики сприймають це випромінювання і перетворюють його на електричний сигнал, який можна використовувати для визначення температури об'єкта. Завдяки своїй здатності швидко реагувати на теплові зміни, ці датчики забезпечують оперативне і точне вимірювання температури.

Однією з головних переваг інфрачервоних датчиків є їхня неконтактна природа, що дозволяє вимірювати температуру об'єктів, до яких важко дістатися, або тих, які знаходяться в рухомих чи небезпечних для контакту умовах.



Рисунок 2.4 – Інфрачервоний датчик температури

Усі типи теплових датчиків перетворюють зміни температури на електричні сигнали, які можуть бути використані для різних цілей, таких як відображення, запис, контроль або автоматизоване управління системою. Ці датчики є ключовими компонентами в багатьох промислових та наукових додатках, де точне вимірювання температури є критично важливим. Кожен тип теплових датчиків має свої унікальні переваги та обмеження, що робить їх придатними для різних умов і завдань.

Аналогові та цифрові датчики температури є двома основними типами, що широко використовуються для вимірювання температури. Незважаючи на спільну функцію, ці датчики відрізняються за своїм принципом дії та вихідними сигналами. Аналогові датчики вимірюють температуру і генерують аналоговий сигнал, пропорційний зміні температури. Цей сигнал може бути у формі напруги або струму і вимагає перетворення в цифровий формат через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) для подальшої обробки.

Цифрові датчики, з іншого боку, мають вбудований АЦП і надають цифровий вихідний сигнал, який прямо відображає значення температури. Ці датчики забезпечують високу точність вимірювання і часто мають додаткові функції, такі як автоматична корекція помилок, збереження налаштувань і зручний інтерфейс комунікації. Вибір між аналоговими і цифровими датчиками значною мірою залежить від специфічних вимог застосування.

Системний шум є важливим фактором при виборі типу датчика. Аналогові сигнали можуть бути вразливими до системного шуму під час передачі, що може спотворювати результати вимірювань. Цифрові сигнали, навпаки, менш схильні до шуму, оскільки передаються у вигляді бітових послідовностей, які можуть бути легко перевірені та відновлені.

Зважаючи на різноманіття типів теплових датчиків, було обрано термістори. Вони пропонують широкий діапазон підтримуваних температур, є економічно вигідними і характеризуються високою точністю. Термістори не мають рухомих частин, що мінімізує знос і забезпечує надійну роботу в різних умовах. Вибір цифрових термісторів є оптимальним завдяки їхній точності та додатковим функціональним можливостям. Проте, у випадках, коли відстань між датчиком і системою обробки невелика, використання аналогових термісторів також може бути виправданим, особливо після ретельної калібровки.

Під модулем мається на увазі програмований логічний контролер (ПЛК), який є спеціалізованим пристроєм, створеним на базі мікроконтролера. ПЛК призначений для використання в різних умовах, завдяки можливості додавання захищеного корпусу, індикації та екрану, що дозволяє адаптувати його для різних застосувань. ПЛК забезпечує гнучке і надійне управління автоматизованими системами, дозволяючи інтегрувати його в різні промислові процеси.

Демонстративний вигляд ПЛК представлений на рисунку 2.5, який ілюструє основні компоненти пристрою, включаючи інтерфейси підключення, засоби управління та індикації. Панелі візуалізації, зображені на рисунку 2.6, слугують для забезпечення зручного моніторингу та взаємодії з користувачем, дозволяючи в реальному часі відображати стан системи, контролювати параметри та виконувати необхідні налаштування [10].



Рисунок 2.5 – Демонстративний вигляд ПЛК



Рисунок 2.6 – Демонстративний вигляд панелей візуалізації

Програмовані логічні контролери (ПЛК) вперше з'явилися в 1968 році, і першим із них був MOdular DIgital CONtroller (Modicon) 084, який мав пам'ять обсягом 4 КБ. Ця модель стала значним кроком вперед у розвитку автоматизованих систем управління, демонструючи можливості цифрової технології. На додачу до вражаючих технологічних досягнень того часу, Modicon 084 відрізнявся високою міцністю та надійністю, що зробило його важливим інструментом у промислових процесах.

Примітною особливістю Modicon 084 стала його довговічність: навіть через майже три десятиліття після першого використання, понад сто одиниць цього обладнання все ще функціонували на заводах по всьому світу. Це свідчить про високу якість розробки та виробництва, а також про значний вплив цієї технології на подальший розвиток промислової автоматизації.

Поява ПЛК, таких як Modicon 084, стала основою для модернізації промислових процесів, дозволяючи автоматизувати складні завдання та підвищувати ефективність виробництва. Його вид приведено на рисунку 2.7 [11].



Рисунок 2.7 – MODular DIGital CONTroller (Modicon) 084

На сьогодні основними програмованими логічними контролерами (ПЛК), що широко використовуються в промислових додатках, є моделі серій SIMATIC S5, SIMATIC S7, VIPA 100V, VIPA 200V, VIPA 300S, VIPA 500S, а також Omron CJ1,

Omron CJ2, Omron CS1 та інші. Ці ПЛК є важливими компонентами для автоматизації процесів, забезпечуючи надійне управління та моніторинг систем.

Відмінною рисою ПЛК є те, що вони не оснащені інтерфейсами, типово присутніми в персональних комп'ютерах, такими як дисплеї чи клавіатури. Це пов'язано з тим, що ПЛК орієнтовані на виконання специфічних завдань у промислових умовах, де важлива міцність, компактність і стійкість до зовнішніх впливів.

Для взаємодії з ПЛК, зокрема для обслуговування, діагностики та програмування, використовуються спеціалізовані програматори. Ці пристрої дозволяють записувати код, налаштовувати параметри та проводити діагностику системи, що робить роботу з ПЛК гнучкою і ефективною.

На рисунку 2.8 приведено вигляд Siemens S7-300.



Рисунок 2.8 – ПЛК Siemens S7-300

Програматор для програмованих логічних контролерів (ПЛК) представляє собою високоспеціалізоване програмне забезпечення, яке призначене для створення, налаштування та оптимізації програм ПЛК, що забезпечують автоматизацію

промислових процесів. Це інструмент, який надає користувачам широкий спектр функцій для розробки логіки управління, конфігурації вхідних та вихідних пристроїв, налаштування параметрів мережеских з'єднань та виконання інших важливих операцій, необхідних для ефективного програмування ПЛК. Зазначене програмне забезпечення зазвичай включає графічний інтерфейс, що значно спрощує процес взаємодії з системою, надаючи користувачеві зручні інструменти для розробки й налаштування автоматизації.

Серед найбільш популярних програматорів для ПЛК на ринку можна виділити такі системи, як Siemens Step 7, Allen-Bradley RSLogix, Schneider Electric Unity Pro та Mitsubishi GX Works, кожен з яких має свої унікальні особливості та функціональні можливості. Вибір програматора значною мірою залежить від специфікацій та вимог до конкретного проекту. Що стосується підключення ПЛК до комп'ютера або програматора, існує кілька типів роз'ємів, які варіюються залежно від моделі та виробника пристроїв. Найбільш поширеними є RS-232 (послідовний порт), USB (Універсальна послідовна шина) та Ethernet (локальна мережа).

RS-232 це стандартний роз'єм, який забезпечує підключення між ПЛК і комп'ютером чи програматором за допомогою 9-контактного роз'єму DB9. Цей інтерфейс забезпечує надійне, хоча й порівняно повільне, з'єднання для передачі даних (рисунок 2.9).

USB сучасний стандарт підключення, який значно спрощує процес з'єднання ПЛК із комп'ютером або програматором за допомогою звичайного USB-кабелю. Він надає високу швидкість передачі даних і є зручним завдяки універсальності цього порту (рисунок 2.10).

Ethernet один з найпоширеніших і найшвидших варіантів підключення, який дозволяє підключити ПЛК до комп'ютера чи мережі через Ethernet-кабель. Цей інтерфейс має переваги високої швидкості передачі даних, що також відкриває можливість для віддаленого програмування та моніторингу ПЛК, що робить його незамінним у великих і розподілених автоматизованих системах (рисунок 2.11).

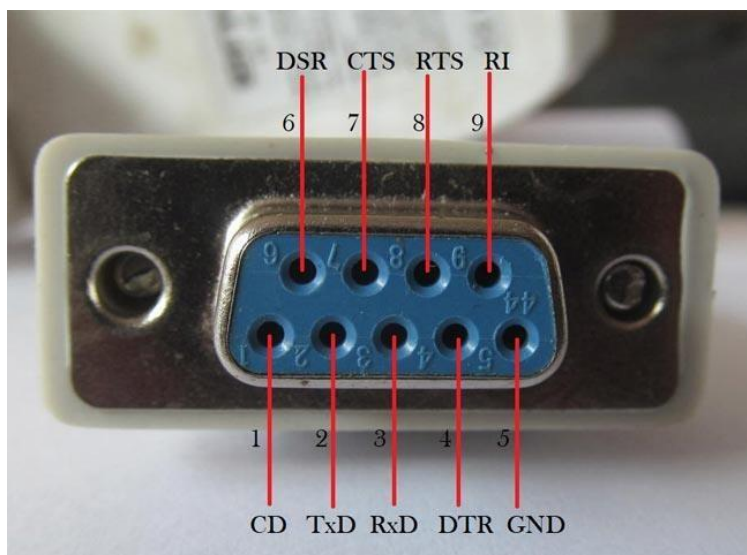


Рисунок 2.9 – RS-232

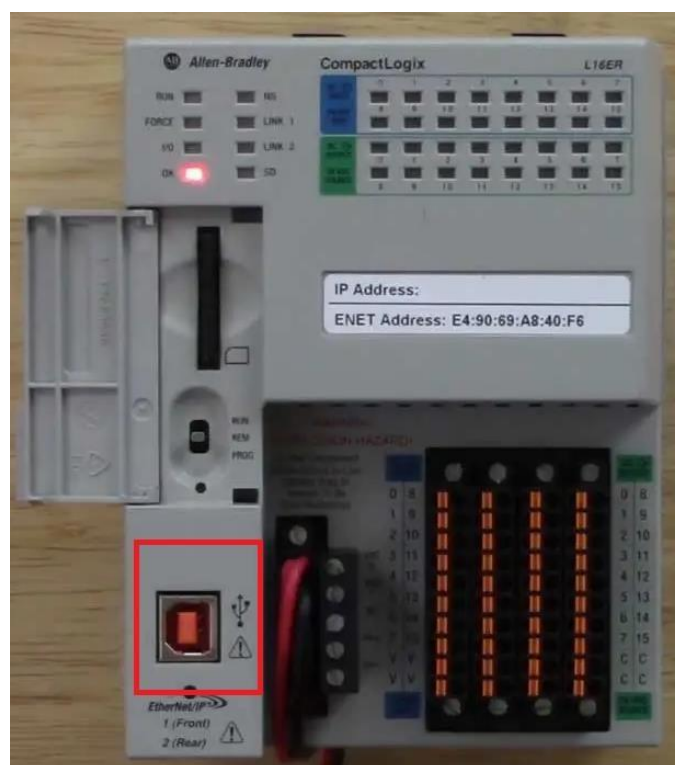


Рисунок 2.10 – USB



Рисунок 2.11 – Ethernet

Мікроконтролери можуть виступати альтернативою програмованим логічним контролерам (ПЛК), якщо їхні технічні характеристики та функціональні можливості відповідають вимогам для виконання заданих завдань, як це продемонстровано в даній дипломній роботі. Основна різниця між ПЛК та платформами на основі мікроконтролерів, такими як Arduino, полягає в їхній спеціалізації та рівні функціональності. Програмовані логічні контролери є більш потужними та надійними пристроями, здатними ефективно обробляти великий обсяг даних і управляти складними автоматизованими процесами, які потребують високої точності та надійності.

На відміну від ПЛК, мікроконтролери, як-от Arduino, є менш складними та доступними у використанні, що робить їх ідеальними для створення простих IoT-пристроїв або невеликих проектів автоматизації. Платформи на основі Arduino, завдяки своїй відкритій архітектурі та широкому спектру бібліотек, значно полегшують процес розробки для початківців програмістів. Водночас програмування ПЛК зазвичай вимагає спеціалізованих знань у сфері автоматизації та промислового контролю, що робить його менш доступним для новачків у порівнянні з програмуванням на платформах типу Arduino.

Їх найбільш частіше використані види і характеристики приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Види і характеристики мікроконтролерів

| Мікроконтролер | Характеристики |
|------------------|---|
| 1 | 2 |
| Arduino Uno | Мікроконтролер на основі ATmega328P, 14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів, 16 МГц кварцовий резонатор, USB |
| Arduino Nano | Мікроконтролер на основі ATmega328P, 14 цифрових входів/виходів, 8 аналогових входів, 16 МГц кварцовий резонатор, USB |
| Arduino Mega | Мікроконтролер на основі ATmega2560, 54 цифрових входів/виходів, 16 аналогових входів, 16 МГц кварцовий резонатор, USB |
| Arduino Leonardo | Мікроконтролер на основі ATmega32u4, 20 цифрових входів/виходів, 12 аналогових входів, 16 МГц кварцовий резонатор, USB |
| Arduino Pro Mini | Мікроконтролер на основі ATmega328P, 14 цифрових входів/виходів, 8 аналогових входів, 16 МГц кварцовий резонатор |
| Arduino Due | Мікроконтролер на основі AT91SAM3X8E, 54 цифрових входів/виходів, 12 аналогових входів, 84 МГц, 96 КБ SRAM, 512 КБ флеш-пам'яті, USB. |
| Raspberry Pi 1 | Мінікомп'ютер на базі ARM1176JZF-S, 26 контактів GPIO, 512 МБ RAM, 700 МГц процесор, HDMI, USB |
| Raspberry Pi 2 | Мінікомп'ютер на базі Broadcom BCM2836, 40 контактів GPIO, 1 ГБ RAM, 900 МГц процесор, HDMI, USB |

Продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 |
|----------------|---|
| Raspberry Pi 3 | Мінікомп'ютер на базі Broadcom BCM2837, 40 контактів GPIO, 1 ГБ RAM, 1.2 ГГц процесор, HDMI, USB |
| STM32F4 | Мікроконтролер на основі ARM Cortex-M4, 168 МГц, 1 МБ флеш-пам'яті, 192 КБ ОЗУ, 17 таймерів, 12-бітний ADC, USB, CAN, Ethernet |
| STM32F7 | Мікроконтролер на основі ARM Cortex-M7, 216 МГц, 1 МБ флеш-пам'яті, 320 КБ ОЗУ, 17 таймерів, 12-бітний ADC, USB, Ethernet, кристалічний дисплей, камера |

Обрано платформу Arduino. Arduino є потужною електронною платформою з відкритим вихідним кодом, що поєднує простоту використання з можливістю реалізації різноманітних проектів завдяки доступному апаратному та програмному забезпеченню. Вона складається з одноплатного мікроконтролера, інтегрованого середовища розробки та активної спільноти користувачів і розробників, які взаємодіють, обмінюються кодом і діляться досвідом. Особливістю плат Arduino є їхня здатність до програмування навіть користувачами без спеціалізованих знань в електроніці або програмуванні, що робить цю платформу надзвичайно популярною серед новачків і аматорів.

Найпопулярніші плати: Arduino Uno (рисунок 2.12), Arduino Nano (рисунок 2.13) та Arduino Mega (рисунок 2.14) [12].

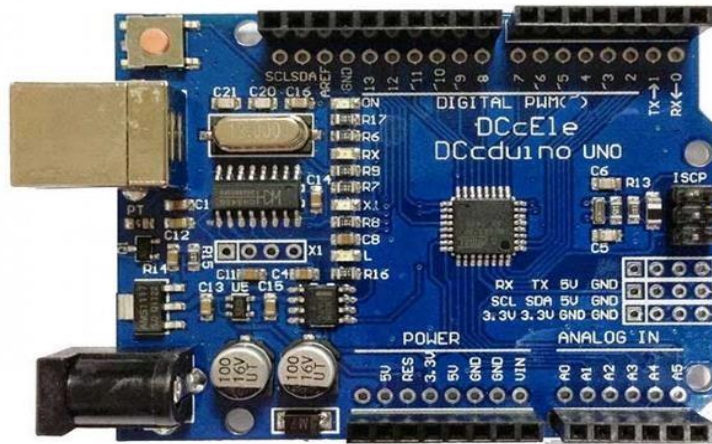


Рисунок 2.12 – Arduino Uno

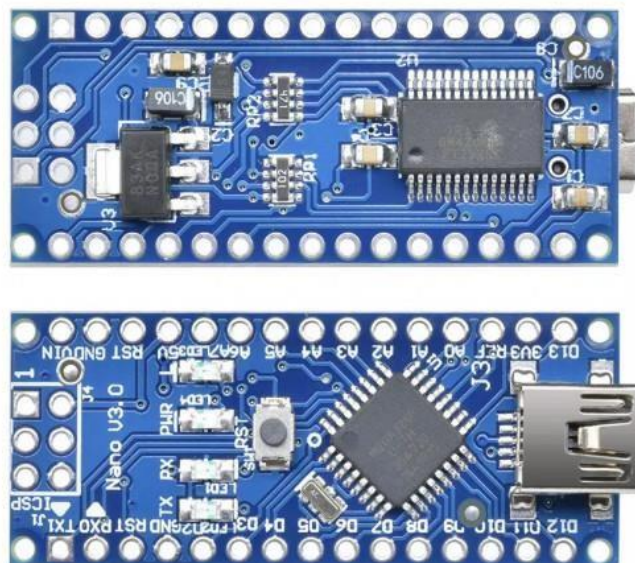


Рисунок 2.13 – Arduino Nano (передня та задня сторони)



Рисунок 2.14 – Arduino Mega

Отже, буде використано Arduino Uno як мікроконтролер. Завдяки тому, що вони всі підтримують одне сериовище, не має різниці, які з них використовувати. Існують також клони Arduino, які, хоча й можуть бути дешевшими за оригінальні плати, не завжди забезпечують таку ж надійність та стабільність у роботі. Через варіації в якості компонентів та виробництві, клони Arduino можуть мати обмежену сумісність із деякими проектами або недостатню довговічність, що робить їх менш рекомендованими для задач, де важлива висока надійність і безперебійна робота, таких як промислові чи критичні системи автоматизації.

Для роботи з оригінальними платами Arduino використовується спеціалізоване середовище розробки Arduino IDE. Це безкоштовне програмне забезпечення, яке підтримує багатий набір інструментів для написання, відлагодження та завантаження програмного коду на мікроконтролери Arduino. Arduino IDE можна безкоштовно завантажити та встановити на комп'ютер, що дозволяє користувачам створювати програмне забезпечення, компілювати його та передавати на плату через USB-кабель.

Якщо Arduino не має USB-порт (наприклад, Arduino Pro Mini (рисунок 2.15)), то використовують Адаптер USB Serial Light (рисунок 2.16) [13].



Рисунок 2.15 – Arduino Pro Mini

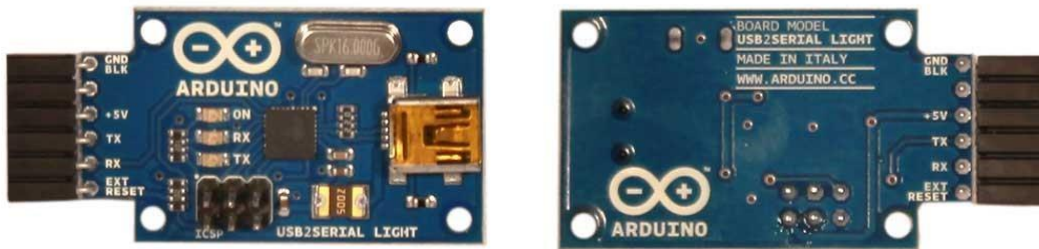


Рисунок 2.16 – Адаптер USB Serial Light (передня та задня сторони)

Окрім стандартного підключення через USB-кабель, для програмування плат Arduino існує можливість використання програматора, що може бути корисним у ситуаціях, коли плата не може підключитись звичайним способом, наприклад, через поломку або дефект USB-інтерфейсу. Цей метод зазвичай застосовується, коли необхідно замінити пошкоджений мікроконтролер на новий, зберігаючи при цьому програмний код.

Процес програмування через програматор дозволяє безпосередньо записувати код на мікроконтролер, обминаючи проблеми з підключенням до USB-порту. В такому випадку можна скопіювати код із пошкодженого мікроконтролера на новий, що значно полегшує процес відновлення функціональності плати. Зазначений метод є особливо корисним для ситуацій, коли потрібно замінити мікроконтролер без втрати даних або програмного коду, що був попередньо завантажений на пристрій.

2.3 Датчики вимірювання рН середовища

РН-метр — прилад для вимірювання водневого показника (показника рН), що характеризує концентрацію вільних іонів водню в розчинах, у питній воді, харчової продукції та сировині, об'єктах навколишнього середовища. Розпад молекул різних речовин у розчинах називається електролітичною дисоціацією. Частина молекул води під впливом слабкої електрики також розпадається на іони, які позначаються H^+ (вільні водневі іони) і OH^- (гидроксильна група). Коли зміст тих і інших однаковий, кажуть, що вода має нейтральну реакцію. Ступінь дисоціації і береться за показник кислотно-лужної рівноваги, позначається рН (від латинського «пундус гідрогеніум» — вага водню). У нейтральній воді $pH=7$, і нейтральною називається вода, в якій або взагалі немає кислот і лугів, або вони присутні в ній в рівній кількості. У воді, що містить лугу (до складу яких входить група OH^-), концентрація іонів водню буде менше, і показник рН почне зростати, а якщо у воді є кислоти (до складу яких входить H^+), то знижуватися. Шкала показників рН являє собою пряму лінію від 0 до 14, де рН нейтральної води знаходиться посередині. Ліворуч від нього йдуть кислі води, вправо — лужні.

РН води — один із найважливіших робочих показників якості води, багато в чому визначають характер хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у воді.

В залежності від величини рН може змінюватися швидкість протікання хімічних реакцій, ступінь корозійної агресивності води, токсичність забруднюючих речовин і т. д. Контроль за рівнем рН особливо важливий на всіх стадіях водоочищення.

Відомо, що при низькому рН вода володіє високою корозійною активністю, а при високих рівнях ($pH > 11$) вода набуває характерну милкість, неприємний запах, здатна викликати подразнення очей та шкіри.

Вплив рівня рН на труби у водопровідних системах може бути значним, оскільки відхилення рівня рН від нейтрального (7,0) може спричинити корозію або відклади. Ось як різні рівні рН впливають на стан труб, приведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Вплив, наслідки та заходи через рівень рН

| Рівень рН | Вплив | Наслідки | Заходи |
|--|--|---|--|
| рН < 6 (кисле середовище) | Сприяє корозії металевих труб.- Розчинення металів, таких як залізо, мідь. | Утворення іржі.- Збільшення вмісту металів у воді.- Протікання через ослаблення труб. | Підвищення рН за допомогою вапна або содового розчину.- Використання антикорозійних покриттів. |
| рН > 9 (лужне середовище) | Утворення карбонатних і соляних відкладень.- Зменшення ефективності роботи обладнання. | Звуження діаметра труб.- Зниження тиску води.- Погіршення теплопровідності в опаленні. | Використання фільтрів для зниження вмісту кальцію і магнію.- Регулярна очистка труб. |
| рН \approx 6-9 (нейтральне середовище) | Оптимальний діапазон для більшості водопровідних систем.- Мінімальний вплив на матеріали труб. | Подовження терміну служби труб.- Відсутність значних проблем з корозією чи відкладеннями. | Регулярний моніторинг якості води.- Підтримання нейтрального рівня рН. |

2.4 Датчики рН

Ось кілька прикладів датчиків рН, які використовуються для моніторингу якості води, з їх характеристиками:

Таблиця 2.3 – Датчики рН

| Назва датчика | Робоча температура | Діапазон рН | Точність вимірювання електропровідності, См/см | Матеріал елемента, що вимірює рН | Матеріал корпусу | Особливості |
|-----------------------------|--------------------|-------------|--|-----------------------------------|----------------------------|---|
| Sensorex S200C/T | -5°C до 135°C | 0–14 | ±0.01 | Скло для високих температур | Епоксидний полімер | Стійкий до високих температур, підходить для промислових середовищ. |
| Hamilton Polilyte Plus HT | -10°C до 140°C | 0–14 | ±0.02 | Скло (електрод) + полімерний гель | Пластик (полікарбонат) | Довговічний, підходить для харчової промисловості та фармацевтики. |
| YSI ProDSS pH/ORP | -5°C до 115°C | 0–14 | ±0.01 | Скло з підсиленням корпусом | Нержавіюча сталь + пластик | Підходить для польових вимірювань у жорстких умовах. |
| METTLE R TOLEDO InPro 3253 | -5°C до 130°C | 0–14 | ±0.02 | Скло з рідким електролітом | Полімер | Має інтегровану систему компенсації температури. |
| DFRobot Analog pH Meter Pro | 0°C до 110°C | 3–10 | ±0.1 | Скло (електрод) | ABS-пластик | Сумісний з Arduino. Ідеальний для лабораторних і освітніх проєктів. |
| DFRobot pH Sensor (SEN0161) | 0°C до 120°C | 0–14 | ±0.1 | Скло (електрод) | Пластик | Сумісний з Arduino. Просте підключення, підтримка калібрування. |

Для цього дипломного проєкту підійде Датчик рН DFRobot pH Sensor (SEN0161). Його вигляд приведено на рисунку 2.17 [14].



Рисунок 2.17 – DFRobot pH Sensor (SEN0161)

2.5 Склад датчику рН

DFRobot pH Sensor (SEN0161) працює за принципом вимірювання концентрації іонів водню (H^+) у розчині, що визначає рівень рН. Основним компонентом датчика є скляний електрод, чутливий до концентрації іонів водню (H^+) у розчині. Електрод створює потенціал, пропорційний до концентрації іонів водню. Потенціал порівнюється із потенціалом референтного електрода (нереагуючого, стабільного).

Датчик складається з скляного мембранний електроду чутливий до H^+ , референтний електрод, який містить стабільний електроліт (часто хлорид срібла) для порівняння потенціалів. Різниця потенціалів між скляним електродом та референтним перетворюється на електричний сигнал. Цей сигнал пропорційний значенню рН розчину.

Для коректного зчитування сигналу Arduino або іншими контролерами, використовується аналоговий підсилювач. SEN0161 має вбудований підсилювач для забезпечення стабільного сигналу. Особливостями DFRobot pH Sensor (SEN0161): є скляний електрод що забезпечує високу точність, компактність та простий монтаж для освітніх і лабораторних проєктів. легке налаштування для різних середовищ. Датчик рН з аналоговим підсилювачем від DFRobot (SEN0161) виготовлений із таких основних матеріалів, приведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Склад датчику SEN0161

| Частина датчика | Матеріал |
|-----------------------------|---|
| Чутливий елемент (електрод) | Скло зі спеціальним покриттям, чутливе до концентрації іонів водню. |
| Корпус електрода | Пластик (ПВХ або полікарбонат), стійкий до води та хімічних впливів. |
| Діафрагма | Кераміка, яка забезпечує обмін іонів між внутрішнім розчином і середовищем. |
| Внутрішній розчин | Хлорид калію (KCl) для підтримки стабільності вимірювань. |
| Електричний підсилювач | Друкована плата зі стандартними електронними компонентами. |
| З'єднувальні контакти | Металеві контакти (латунь або нержавіюча сталь), покриті захисним шаром. |

Скляний електрод забезпечує високу чутливість до змін рівня рН і довговічність. Керамічна діафрагма служить провідником для електричного струму між внутрішнім і зовнішнім середовищем, забезпечуючи точні вимірювання. Пластиковий корпус робить датчик легким і міцним, а також стійким до пошкоджень у рідинах. Ці матеріали забезпечують ефективну роботу датчика в умовах моніторингу якості води при відносно невисокій вартості. Матеріали, з яких виготовлений рН-датчик, мають

значний вплив на його чутливість, довговічність та точність. Залежності між матеріалами і характеристиками датчика приведені у таблицях 2.5 – 2.8.

Таблиця 2.5 – Матеріал чутливого елемента (скло)

| Матеріал | Вплив на чутливість |
|-------------------------------|---|
| Скло зі спеціальним покриттям | Висока чутливість до концентрації іонів водню (H^+). Забезпечує широкий діапазон (0–14 рН) і стабільні вимірювання. |
| Скло зі зниженою пористістю | Зменшує швидкість реакції та точність у лужних середовищах, але покращує довговічність у агресивних середовищах. |
| Кварцове скло | Забезпечує найкращу стабільність і довговічність, але дороге у виробництві. |

Таблиця 2.6 – Матеріал корпусу датчика

| Матеріал | Вплив на чутливість та використання |
|------------------|--|
| Пластик (ПВХ) | Легкий і недорогий. Обмежує використання у високотемпературних середовищах (до 60°C). |
| Полікарбонат | Забезпечує більшу термостійкість (до 80°C), зберігаючи стійкість до механічних впливів. |
| Нержавіюча сталь | Використовується в промислових датчиках. Забезпечує довговічність, але менш ефективний у хімічно агресивних середовищах. |

Таблиця 2.7 – Внутрішній розчин (KCl)

| Концентрація розчину | Вплив на чутливість |
|--------------------------|---|
| 3М KCl | Стандарт для більшості датчиків. Забезпечує стабільну передачу іонів і точність вимірювань. |
| Низькоконцентрований KCl | Знижує чутливість у середовищах із високою концентрацією солей, але збільшує довговічність у складних умовах. |

Таблиця 2.8 – Матеріал діафрагми (є найбільш важливим компонентом у датчику).

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------|---|---|--|
| Матеріал | Характеристика | Переваги | Недоліки |
| Скло | Найпоширеніший матеріал для електродів. Скляна мембрана чутлива до іонів водню (H ⁺). | Висока точність, стійкість до широкого діапазону рН, довговічність. | Крихкість, обмежений температурний діапазон (зазвичай до 135°C). |
| Антимон (Sb) | Використовується для твердих електродів у спеціалізованих застосунках. | Стійкий до механічних пошкоджень, придатний для високоактивних середовищ. | Нижча точність у порівнянні зі склом, вища вартість. |
| Полімерні мембрани | Використовуються у дешевих датчиках, часто у портативних пристроях. | Легкість виробництва, низька вартість. | Обмежена точність, менший термін служби, чутливість до температурних змін. |

Продовження таблиці 2.8

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------|--|--|---|
| Металеві оксиди | Оксиди, такі як оксид рутенію (RuO_2) або оксид іридію (IrO_2), застосовуються у високотемпературних датчиках. | Висока стійкість до корозії, широкий температурний діапазон. | Дорого, складність у виробництві. |
| Кераміка | Використовується у деяких промислових датчиках для вимірювання у жорстких умовах. | Міцність, стійкість до агресивних середовищ. | Відносно низька чутливість, висока вартість. |
| Гідрогелі | Використовуються як елемент чутливості в біосенсорах для рН. | Висока чутливість, можливість налаштування для різних діапазонів рН. | Менший термін служби, обмеження за температурою та стабільністю у агресивних середовищах. |
| Тверді електроліти | Спеціалізовані матеріали для референтних електродів у датчиках рН. | Висока стабільність, здатність працювати у специфічних середовищах. | Обмежене застосування, вартість. |

Найточнішим є скляні електроди. Скло спеціально розроблене для реакції з іонами водню (H^+), що забезпечує точне вимірювання потенціалу. Зазвичай точність скляних електродів становить $\pm 0.01-0.1$ рН, залежно від моделі датчика та умов вимірювання. Зміна показів із часом мінімальна, якщо електрод правильно відкалібрований. Вони працюють у широкому діапазоні рН (зазвичай 0–14) без втрати точності. Скляні електроди довго зберігають свої властивості при правильному догляді. Якісне скло та керамічна діафрагма забезпечують високу чутливість, але підвищують вартість, корпус і діафрагма з матеріалів, стійких до хімічних впливів (тефлон, кварц), покращують точність у агресивних середовищах. Пластикові корпуси мають обмежену термостійкість, що впливає на стабільність датчика. Правильний вибір матеріалів залежить від умов експлуатації: температури, складу середовища та необхідної точності.

2.6 Вигляд інтерфейсу Arduino IDE

Актуальною версією середовища розробки Arduino є Arduino IDE 2.3.4, яке підтримує операційні системи Windows, Linux та macOS, забезпечуючи користувачам доступ до потужних інструментів для розробки та програмування мікроконтролерів Arduino. Це середовище дозволяє зручно писати код, завантажувати його на плату та виконувати налагодження, забезпечуючи користувачам широкий набір функцій для реалізації проектів.

Окрім стандартного IDE, існують й інші варіанти для програмування та зберігання коду, такі як Arduino Web Editor — хмарний сервіс, що дозволяє зберігати та редагувати код безпосередньо в браузері, з доступом до всіх проектів з будь-якого пристрою, що має підключення до інтернету. Для тих, хто має досвід у промисловій автоматизації, є також Arduino PLC IDE, яке використовує стандарт програмування IEC 61131-3, що є типовим для програмування ПЛК (програмованих логічних контролерів).

IEC 61131-3 – це міжнародний стандарт, що визначає п'ять мов програмування для ПЛК. Це приведено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – П'ять мов програмування для ПЛК

| Мова програмування | Опис |
|---------------------------------|---|
| Ladder Diagram (LD) | Лінійно структурована мова з графічною формою, подібною до електричних схем. Використовується для створення програм, які імітують традиційні електричні зв'язки та контакти. |
| Structured Text (ST) | Структурована текстова мова, подібна до традиційних мов програмування, таких як Pascal або C. Дозволяє використовувати потужні конструкції для опису складних алгоритмів. |
| Function Block Diagram (FBD) | Мова з графічним відображенням, яка дозволяє програмувати логіку через функціональні блоки. Кожен блок представляє окрему функцію, а зв'язки між ними визначають взаємодію системи. |
| Instruction List (IL) | Низькорівнева мова програмування, що використовує інструкції для побудови логіки управління, схожа на машинний код. |
| Sequential Function Chart (SFC) | Мова програмування, що описує кроки виконання в послідовних функціях. Використовується для моделювання складних автоматизованих процесів із чітким послідовним виконанням етапів. |

Програмування на платформі Arduino найчастіше здійснюється за допомогою мови програмування C++, яка є однією з найбільш розповсюджених і популярних мов у сфері програмного забезпечення та системного програмування. C++ розвинулась з мови C, яка стала основою для багатьох сучасних мов програмування. Вона підтримує численні функціональні можливості, що роблять її надзвичайно потужним інструментом для розробки програмного забезпечення, а саме об'єктно-орієнтоване програмування, шаблони, управління пам'яттю, многопоточність та кросплатформовість.

Однією з основних переваг C++ є підтримка об'єктно-орієнтованого програмування, що дозволяє створювати класи, об'єкти, а також використовувати наслідування для організації та розширення програмного коду. Це дозволяє значно полегшити розробку складних систем, оскільки ООП сприяє чіткій структуризації програми та спрощує її модифікацію. Шаблони мови дозволяють створювати загальні функції та класи, що робить код більш універсальним та гнучким. Крім того, C++ дає можливість ручного управління пам'яттю, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів комп'ютера та досягти високої продуктивності програм. Підтримка многопоточності дозволяє створювати багатозадачні програми, що мають велике значення для обчислювальних процесів, які потребують паралельної обробки даних. Іншою важливою характеристикою C++ є її кросплатформовість, що дозволяє розробляти програмне забезпечення для різних операційних систем та апаратних архітектур, забезпечуючи високу портативність і сумісність програм.

У середовищі Arduino IDE, яке є інтерфейсом для розробки програм для мікроконтролерів Arduino, використовується вбудований компілятор C++. Програми для Arduino зазвичай складаються з двох основних функцій: `setup()`, яка виконується один раз під час запуску плати і відповідає за початкові налаштування, та `loop()`, яка виконується безперервно протягом роботи плати, обробляючи дані та виконуючи основні операції. Це дає можливість ефективно управляти зовнішніми пристроями, обробляти сигнали з датчиків та здійснювати контроль за іншими компонентами.

Arduino IDE також надає доступ до багатьох вбудованих бібліотек, які спрощують програмування, дозволяючи інтегрувати різноманітні компоненти, такі як сенсори, дисплеї та мотори, що значно знижує складність розробки програм для Arduino, має низку переваг, серед яких доступність, простота у використанні, сумісність з усіма популярними операційними системами, а також вбудовані інструменти для роботи з кодом, включаючи можливості для збереження, експорту, перевірки та пошуку помилок.. Хоча також є можливість програмувати на мові Python, це потребує додаткових налаштувань і не завжди забезпечує повну функціональність через обмеження платформи Arduino [15].

Так як обрано мову C++ для програмування, завантажено Arduino IDE. Проведено стандартне встановлення, після запусимо програму і першим кроком виставимо українську мову у налаштуваннях (рисунок 2.18).

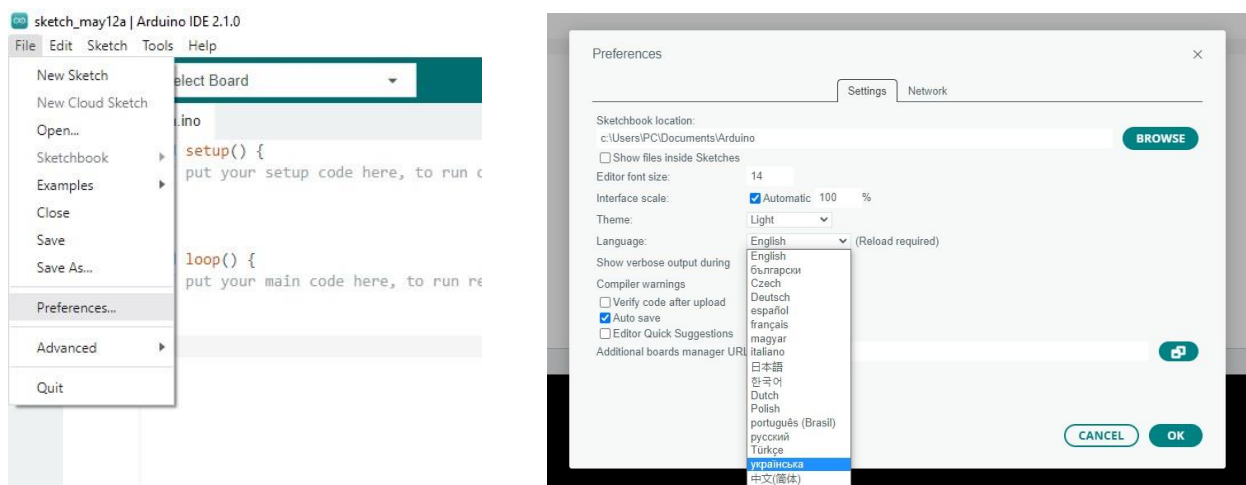


Рисунок 2.18 – Зміна мови у налаштуваннях

Переклад ще не повний, в деяких місцях залишились англійська мова. Також можна використовувати англійську, але для тих, хто її погано знає, краще обрати українську, де хоч деяка частина інтерфейсу перекладена.

Вигляд головної сторінки програми на рисунку 2.19.

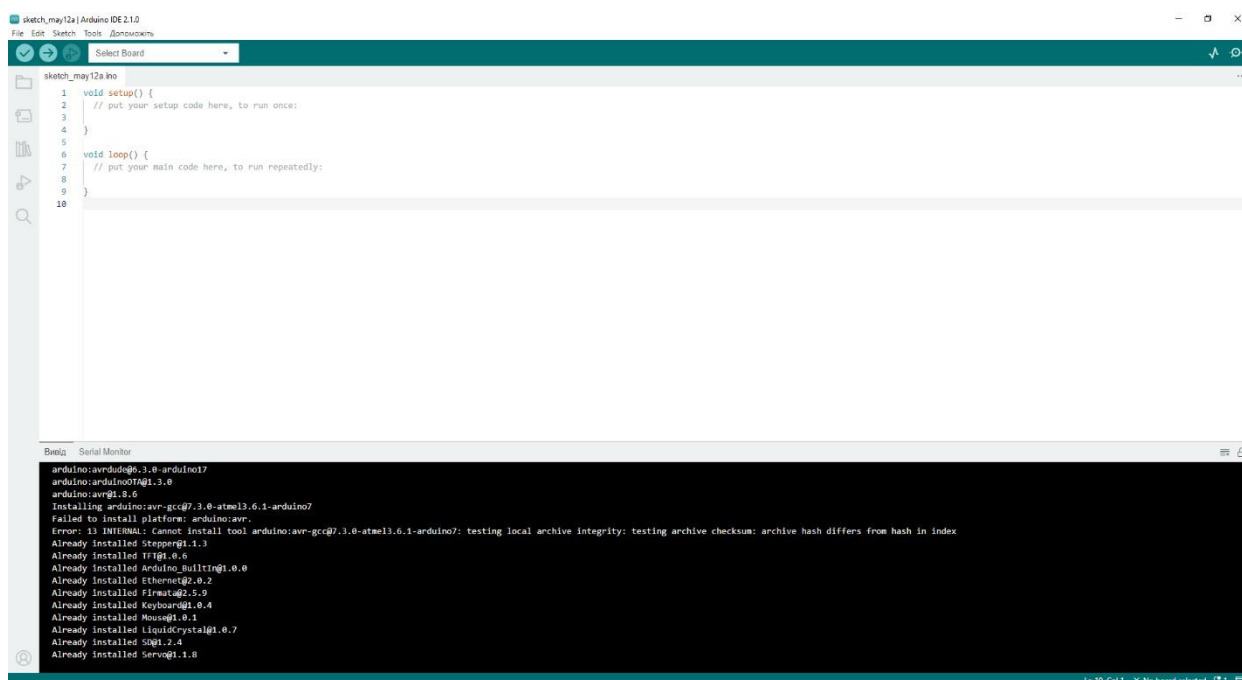


Рисунок 2.19 – Головна сторінка Arduino IDE

Найбільша біла область – місце, де писати код. За замовчуванням вже записані два стандартних блоки, а саме `setup()` і `loop()`. Вище, на зеленій лінії знаходиться у самій лівій частині кнопка Перевірити, котра компілює код, але не завантажує у плату, що дозволить перевірити правильність коду, не використовуючи плату. Наступна кнопка – завантажити код у плату.

Після йде кнопка логи роботи. У контексті програмного забезпечення, логи (logs) є записами або журналами подій, які виникають під час роботи програми або системи. Логи зберігають інформацію про різні події, помилки, виконані операції, стан системи та інші важливі подробиці, які можуть бути корисними для розуміння поведінки програми, відлагодження проблем або аналізу використання ресурсів. У цій програмі, натиснувши на цю кнопку, можна побачити звіт помилок, розмір коду тощо.

Ще вище знаходиться шапка, де теж важливі функції, і вони розташовані стандартно як для всіх програм.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ

3.1 Рівняння Нернста

Алгоритм програми, який буде приведено далі, отримує з датчиків інформацію, яка після цього оброблюється. Рівняння нернста як раз використовується під час обробки даних з датчика рН.

Умова рівноваги для іонів по обидва боки мембрани:

$$\mu^0 + RT \cdot \ln (n_e / n_o) + zF \varphi_e = \mu^0 + RT \cdot \ln (n_a / n_o) + zF \varphi_a.$$

Рівняння Нернста для мембранного потенціалу:

$$\Delta\varphi = \varphi_a - \varphi_e = (RT / zF) \cdot \ln (n_e / n_a)$$

Загальний вираз:

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta\tilde{\mu}_{H^+} = -RT \cdot \ln \Delta pH + zF\Delta\varphi; \\ \Delta\tilde{\mu}_{H^+} &= RT \cdot \ln ([H^+]_0 / [H^+]_i) + zF\Delta\varphi; \\ \Delta\varphi &= (\Delta G - RT \cdot \ln \Delta pH) / zF. \end{aligned}$$

Розрахувати рівноважний потенціал мембрани при температурі 37°C, якщо у середині рН_i = 9, а навколишньому середовищі рН₀ = 7. Вважати іони водню Н⁺ такими, що дифундують. Як спрямоване градієнт потенціалу.

$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_0 = RT / zF \ln (C_0 / C_i) = RT / zF (\ln C_0 - \ln C_i).$$

$$\Delta\varphi = 8.31(273 + 37) / (+1) \cdot 96500 (7 - 9) = -53.4 \text{ мВ.}$$

На рисунку 3.1 приведені графіки залежності

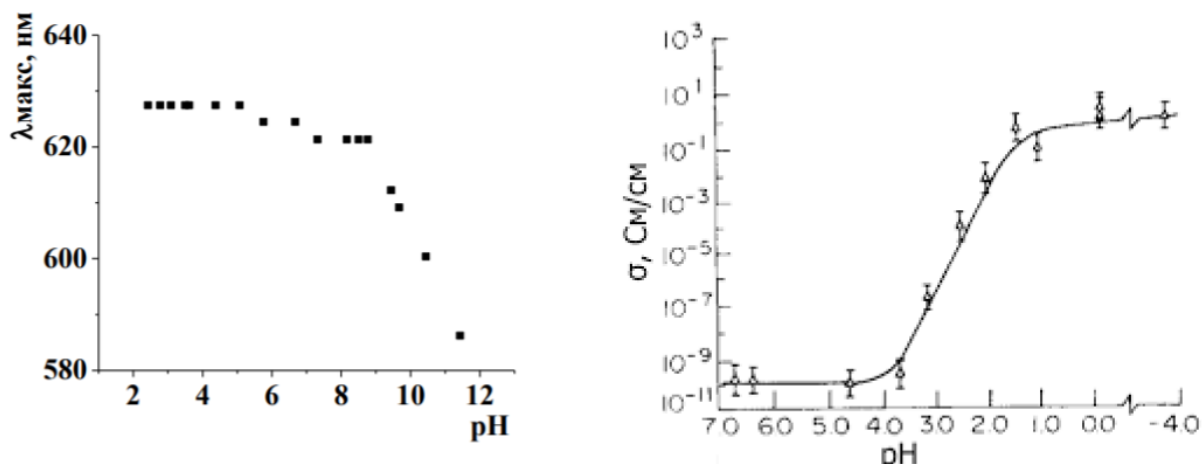


Рисунок 3.1 – Графіки залежності

Електропровідність це здатність тіла (середовища) проводити електричний струм. Вирахується по формулі:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Де опір R (Ом) провідника, що має площу перерізу S (см²) та довжину l (см). У Міжнародній системі одиниць (СІ) одиницею вимірювання електричної провідності є сименс (українське позначення: См; міжнародне: S), який визначається як $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$.

Оскільки ми маємо 2 електроди, то отримуємо різницю потенціалів між ними проходить струм, який можна виміряти. Але значення його дуже невелике, а це означає, що при виробництві необхідно використовувати напівпровідникові компоненти з мінімальним рівнем теплових шумів (це фактор значною мірою визначає відчутну різницю в ціні між дешевими та якіснішими, але дорогими рН метрами), оскільки значення струму визначається не вольтами, а знаходиться в діапазоні від $+10 \text{ мВ}$ до $+500 \text{ мВ}$, що відповідає всій шкалі виміру (0-14), тобто від лужного середовища до кислот [16].

3.2 Матеріали труб

Графік залежності рН середовища для різних матеріалів приведено на рисунку

3.2.

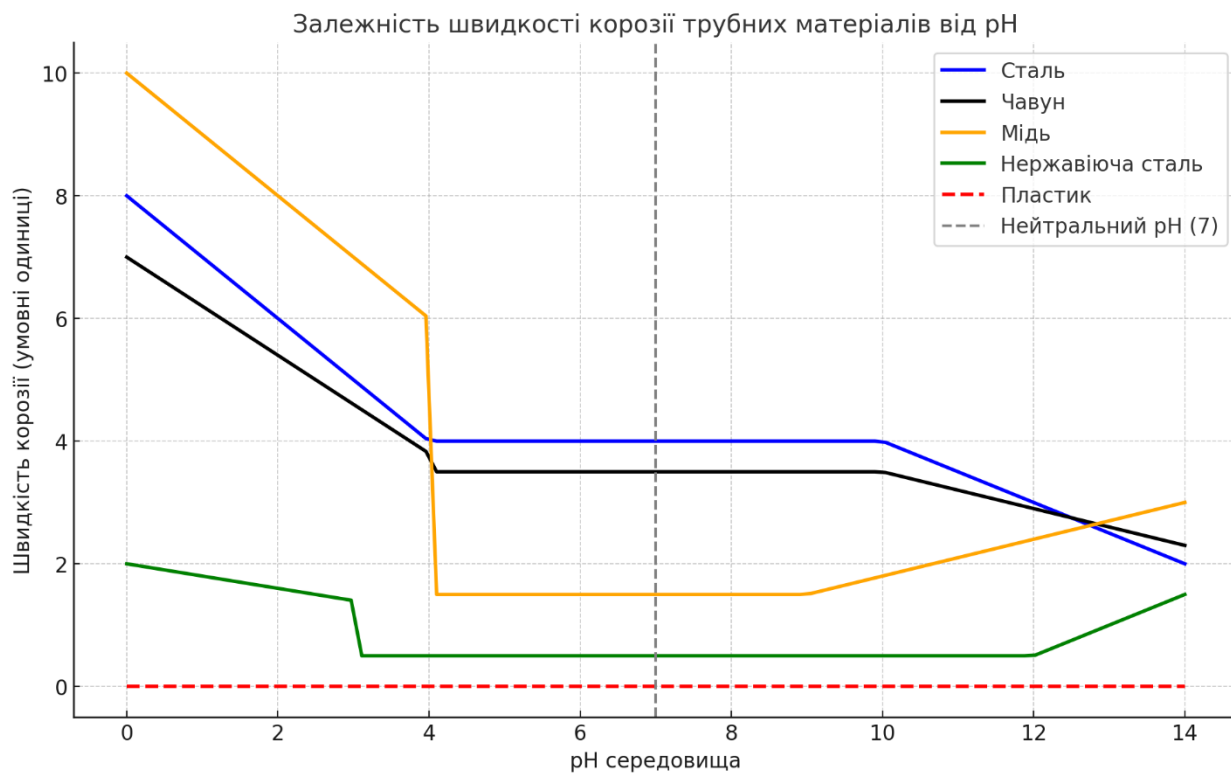


Рисунок 3.2 – Графік залежності рН середовища для різних матеріалів на швидкість корозії

Отже, на графіку зображено залежність швидкості корозії матеріалів водопровідних труб від рН середовища. Це приведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Швидість корозії для різних матеріалів

| Матеріал | Кисле середовище (pH < 4) | Нейтральне середовище (pH 4–10) | Лужне середовище (pH > 10) |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| Сталь | Сильна корозія | Стабільна | Поступово зменшується |
| Чавун | Менша корозія, ніж у сталі | Помірна стабільність | Краща стійкість |
| Мідь | Чутлива до корозії | Майже не кородує | Збільшення корозії у сильнолужних умовах |
| Нержаві юча сталь | Легка корозія при pH < 3 | Стійка до корозії | Легка корозія при pH > 12 |
| Пластик | Нечутливий до рівня pH | Нечутливий | Нечутливий |

Не зважаючи на матеріал, рівень pH у межах 4-9 є найкращим результатом. Отже, найкраще значення є

$$pH_{\text{ср}} = (4+9) \div 2 = 7,5 \text{ pH.}$$

Вимірюваний pH-метром електричний сигнал має характеристики, які визначаються його електропровідністю. Цей параметр виражається у сименсах (См) або мікросименсах (мкСм), залежно від конструкції та технічних особливостей конкретного pH-метра. Електропровідність pH-метра значною мірою залежить від матеріалу електродів, що використовуються у пристрої, а також від хімічного складу рідини, з якою проводяться вимірювання.

Деякі pH-метри можуть вимірювати електропровідність у межах мікросименсів, наприклад -3 мкСм, тоді як інші мають діапазон у сименсах, наприклад -13 См. Такі

варіації значень є важливими для подальшої обробки сигналу та налаштування системи контролю.

Зібраний сигнал від рН-метра подається на контролер, де він аналізується для виконання необхідних регулювань параметрів процесу. Важливим є те, що контролер має бути налаштований для коректної інтерпретації даних залежно від діапазону та точності вимірювального пристрою.

Сіменс (См, англ. Siemens) — одиниця вимірювання електричної провідності в міжнародній системі одиниць (СІ). Вона використовується для визначення здатності матеріалу або розчину проводити електричний струм.

Основне визначення - 1 сіменс (См) — це електропровідність провідника, опір якого становить 1 ом (Ω). Формула: $G=1/R$, де G — електропровідність (у сіменсах), а R — електричний опір (у омах). Мікросіменс (мкСм) — це одна мільйонна частина сіменса, використовується для низькопровідних середовищ, таких як вода.

3.3 Алгоритм роботи програми

На рисунку 3.3 приведено повний алгоритм роботи модуля, на основі цього алгоритма було і зроблено програму.

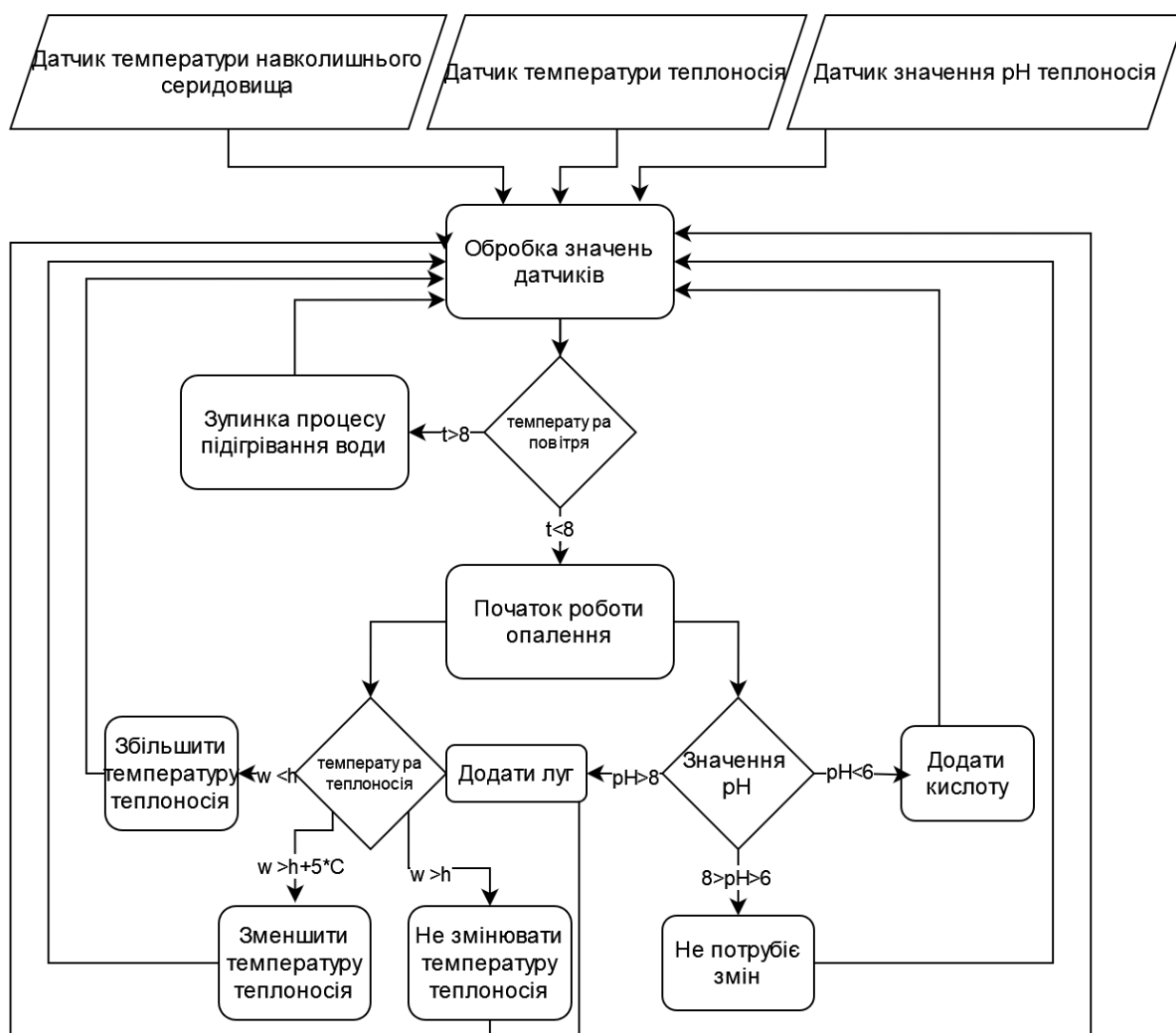


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи програми

3.4 Tinkercad

Tinkercad є онлайн-платформою, яка надає користувачам можливість створювати та моделювати електронні схеми, а також програмувати мікроконтролери, зокрема плати Arduino, без необхідності фізичного підключення апаратних компонентів. Це інтуїтивно зрозуміле середовище було розроблено для полегшення процесу навчання електроніці та програмуванню, а також для швидкого прототипування простих проектів. Завдяки вбудованим інструментам для моделювання та візуалізації, Tinkercad дозволяє користувачам не лише проектувати електронні схеми, але й віртуально перевіряти їх на працездатність через симуляції.

Однією з ключових переваг Tinkercad є його доступність, оскільки для використання платформи не потрібно інсталиувати додаткове програмне забезпечення, а вся робота виконується безпосередньо в браузері. Крім того, Tinkercad пропонує можливість моделювання тривимірних об'єктів, що є корисним для створення фізичних моделей, які можуть бути надалі надруковані на 3D-принтері.

Однак, незважаючи на всі свої переваги, Tinkercad має певні обмеження. Основними проблемами Tinkercad є обмежена можливість додавання сторонніх бібліотек та обмежений вибір доступних модулів, що суттєво обмежує функціональність середовища для реалізації більш складних проектів. Однією з таких обмежень є неможливість використання цифрових температурних датчиків, таких як DS18B20. Цифрові датчики зазвичай пропонують вищу точність вимірювань порівняно з аналоговими, оскільки вони оснащені внутрішнім аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), що забезпечує точне перетворення вхідного сигналу в цифровий формат. Крім того, цифрові датчики мають кращу стабільність вимірювання завдяки цифровій обробці сигналу і не потребують калібрування, що робить їх більш зручними для використання в різноманітних проектах. Однак у Tinkercad доступний лише аналоговий температурний датчик TMP36, що обмежує точність вимірювань.

Що стосується бібліотек, то через відсутність можливості додавання сторонніх бібліотек у Tinkercad, неможливо використовувати бібліотеки, такі як LCD_1602_RUS_ALL, що дозволяють інтегрувати українську мову на дисплеї. Ці обмеження знижують гнучкість середовища і не дозволяють повною мірою реалізувати всі необхідні функції для локалізованих або складних проектів. Таким чином, через ці фактори, в Tinkercad можна створювати лише обмежені макети з базовою функціональністю, не використовуючи передові компоненти та бібліотеки.

3.5 Тестування модуля за допомогою програмного забезпечення

Вигляд модуля у програмному забезпеченні на рисунку 3.4.

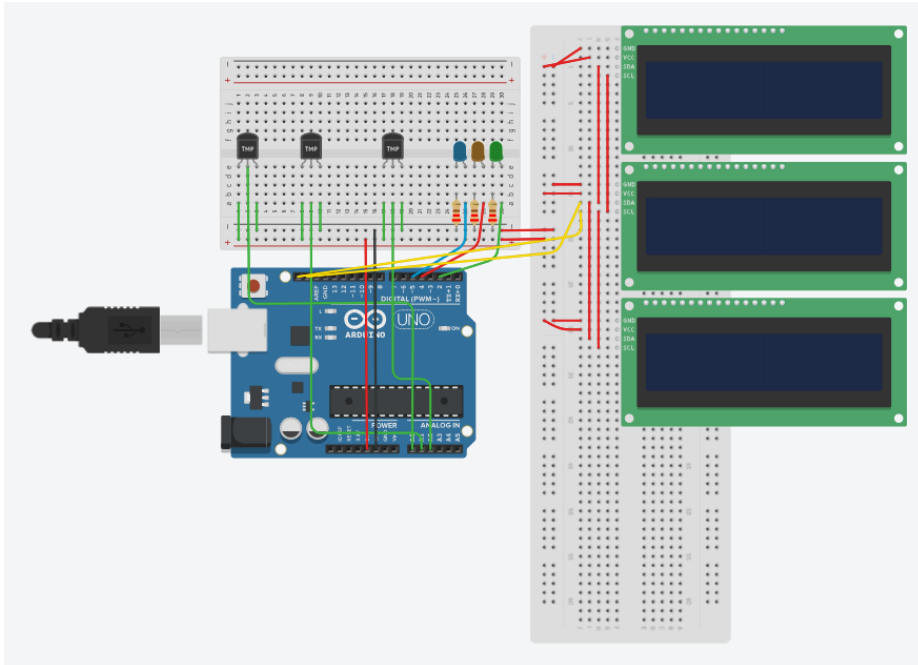


Рисунок 3.4 – Демонстрація дії

Коли модуль активний, а температура повітря становить більше 8°C , відображається другий дисплей з температурою повітря.

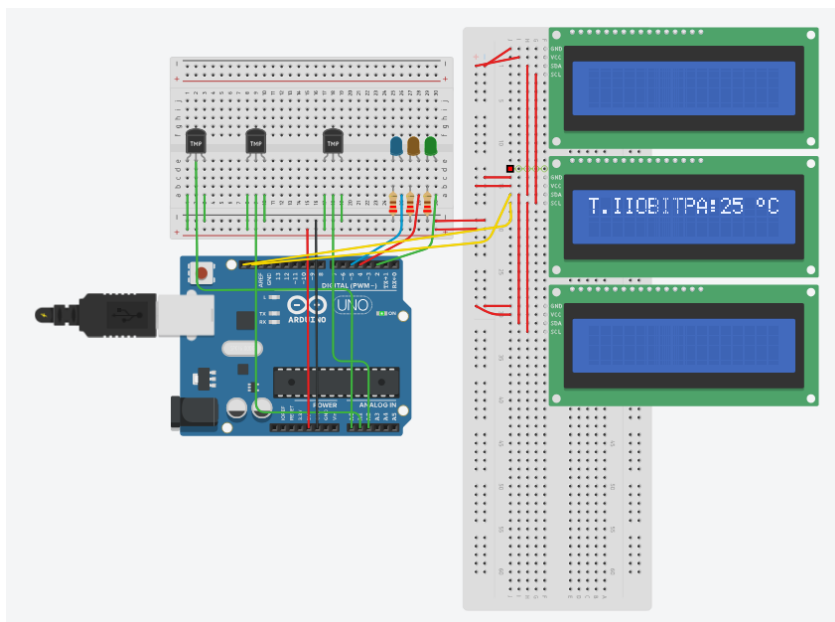


Рисунок 3.5 – Демонстрація дії

Якщо температура серидовища менша за 8°C , активуються регулятор датчик температури та датчик рН теплоносія, також загориться зелений світлодіод, котрий сигналізує про початок роботи механізму опалення та жовтогогарячий, котрий сигналізує про початок підігріву води. На першому дисплеї відображається активність роботи системи та процес, який зараз проходить (нагрівання, охолодження, потрібна температура досягнута). На другому дисплеї починає відображатись температура теплоносія (води). На третьому дисплеї відображається рівень рН води та обгрунтування цього значення (значення низьке, задовільне або високе). На рисунку відображено, що значення навколишнього серидовища -17°C , а температура теплоносія 25°C , отже, потрібно пігиріти його до температури 96°C .

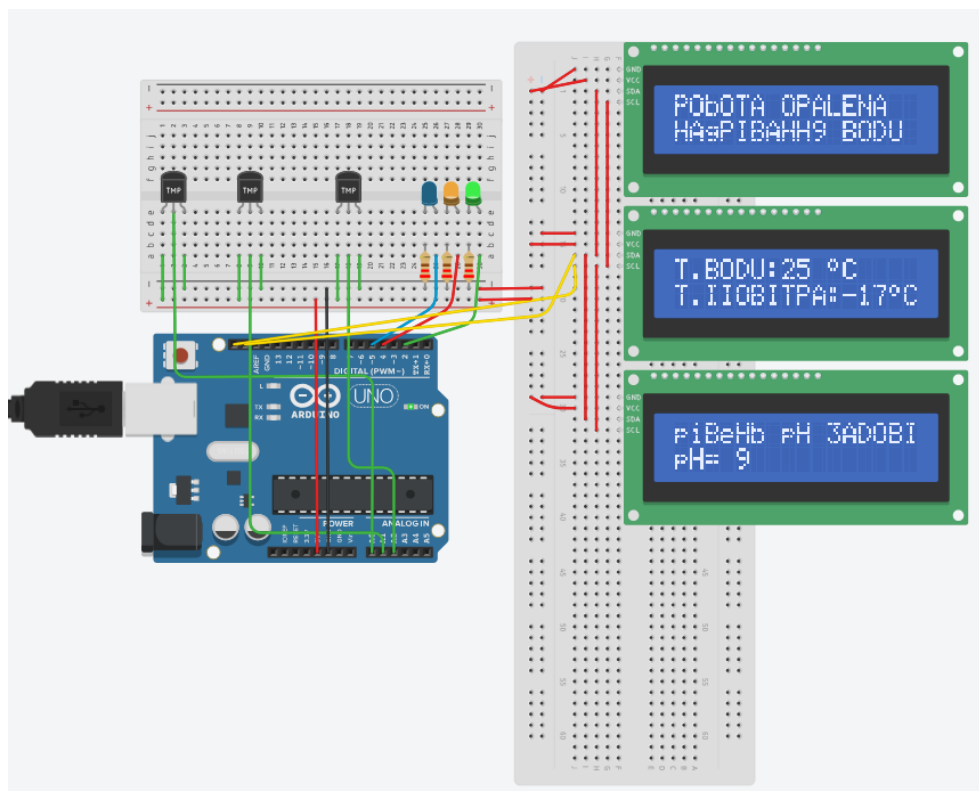


Рисунок 3.6 – Демонстрація дії

Якщо температура повітря становить 3°C , а температура теплоносія 73°C , то це є завеликим значенням та потрібно відкрити кран холодної води, щоб охолодити теплоносії. У цьому ж випадку рівень рН збільшився і потрібно додати кислоту.

При ситуації, коли теплоносії на більше за 5°C тепліше за потрібну температуру, загориться блакитний світлодіод і буде надпис на верхньому дисплеї, що сигналізуватиме про потребу відкриття крану холодної води .

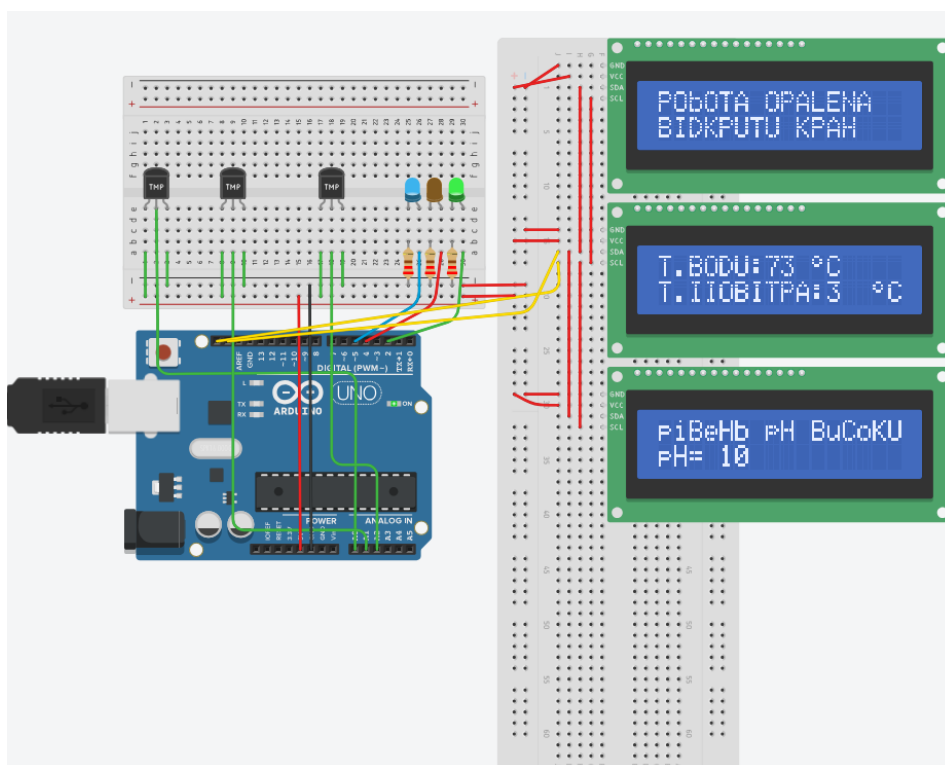


Рисунок 3.7 – Демонстрація дії

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було здійснено розробку модуля автоматизованої системи управління регулятором температури теплоносія та рівня рН для центрального теплового пункту (ЦТП). В рамках цієї роботи було виконано низку важливих завдань, які дозволили комплексно підійти до вирішення проблеми та забезпечити високий рівень автоматизації процесу управління температурним режимом.

На початковому етапі було проведено детальний аналіз теоретичної бази, яка стосується роботи опалювальних систем та окремих їх модулів. Це дозволило зрозуміти основні принципи функціонування теплових систем, а також виявити недоліки існуючих методів управління, які можна вдосконалити за допомогою автоматизації. Окрему увагу було приділено важливості якісної теплоізоляції, яка є невід'ємною частиною ефективного функціонування опалювальних систем, оскільки забезпечує зниження тепловтрат та підвищення енергоефективності.

У ході роботи було обґрунтовано необхідність впровадження автоматизації у процес управління температурою теплоносія. Автоматизація дозволяє значно підвищити точність і стабільність регулювання, зменшити вплив людського фактора, а також забезпечити оперативну реакцію на зміну зовнішніх умов. Було проаналізовано різні види програмованих логічних контролерів (ПЛК), що дало можливість вибрати оптимальний варіант для створення модуля. В результаті було обрано мікроконтролер, який відповідає вимогам проекту та забезпечує необхідний функціонал.

Ознайомлення з інтерфейсом Arduino IDE дозволило розробити програмний код для управління регулятором температури. Під час роботи було проведено математичні розрахунки, створено графік залежності температури навколишнього середовища від температури теплоносія, який був перетворений у формулу для подальшого використання в автоматизованій системі. Це дозволило створити алгоритм, який забезпечує динамічне регулювання температури теплоносія в залежності від зовнішніх умов.

В рамках роботи було представлено макет системи у середовищі Tinkercad. Для кожного використаного модуля було приведено детальну інформацію, що дозволило

наочно продемонструвати функціональні можливості розробленого рішення. Завдяки цьому макету було проведено експериментальні випробування, які підтвердили працездатність та ефективність розробленого модуля.

Головна задача, яка стояла перед розробкою модуля автоматизації, вже виконана – оператор тепер має всі необхідні дані на дисплеях, що суттєво знижує потребу у постійному пересуванні по приміщенню та мануальному зборі інформації. Система забезпечує точне та своєчасне інформування про поточні параметри, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни та підтримувати оптимальний температурний режим.

Виконання даної кваліфікаційної роботи дозволило створити ефективне рішення для автоматизації управління температурою теплоносія в ЦТП. Розроблений модуль не лише підвищує ефективність роботи системи, але й сприяє зменшенню енергоспоживання та підвищенню екологічної безпеки. Впровадження такого модуля є вагомим кроком на шляху до створення сучасних, інтелектуальних теплових систем, які відповідають вимогам сьогодення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт
2. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnudobrochesnist.pdf.
3. Центральні теплові пункти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://termoprom.com.ua/uk/produkt/teplopunkt.php/po-tipu/central-heating-units> – 6.01.2025 р.
4. Теплоелектроцентрально [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C> – 6.01.2025 р.
5. Типи теплових електростанцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ru/books/50-entsiklopediya/rozvitok-teploenergetiki-ta-gidroenergetiki/chasina-1-teploenergetika/rozdil-1-osnovni-ponyattya-u-teploenergetitsi/125-1-2-tipi-teplovikh-elektrostantsij-ta-printsip-jikh-roboti> – 6.01.2025 р.
6. Конструкція пластинчастого теплообмінника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://teplo-polis.com.ua/ua/plastinchatij-teploobminnik/> – 6.01.2025 р.
7. Що таке теплоносії теплообмінника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chemsale.com.ua/ua/chto-takoe-teplonositeli-i-gde-ispolzuyutsya-v-hozyajstve-i-na-predpriyatiyah/> – 6.01.2025 р.
8. ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ТРУБОПРОВОДІВ теплообмінника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kek.edu.ua/tema-1-5-teplova-izolyacziya-truboprovodiv-i-protikoroziyni-pokrittiya/> – 6.01.2025 р.

9. Температурний графік теплових мереж Сумської ТЕЦ за 2021 рік [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://teplo.sumy.ua/wp-content/uploads/2021/12/температурний-графік.pdf> – 6.01.2025 р.

10. Modicon: 50 anos de Pioneirismo e Inovações [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2018/11/30/modicon-50-anos-de-pioneirismo-e-inovacoes/> – 6.01.2025 р.

11. Програмований логічний контролер [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://www.svaltera.ua/guide/glossary/programmiruemyy_logicheskiy_kontroller.php – 6.01.2025 р.

12. Програмований логічний контролер [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://www.svaltera.ua/guide/glossary/programmiruemyy_logicheskiy_kontroller.php – 6.01.2025 р.

13. Плати Ардуїно [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/> – 6.01.2025 р..

14. Датчики рН [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.etatron.com.ua/ru/pumps/sensor/ph/> – 6.01.2025 р.

15. Arduino IDE [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software> – 6.01.2025 р.

16. Рівняння Нернста [Електроний ресурс]. – Режим доступу: [https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%3A_%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F_\(Lower\)/16%3A_%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/16.04%3A_%D0%A0%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%9D%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0](https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%3A_%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F_(Lower)/16%3A_%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/16.04%3A_%D0%A0%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%9D%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0) – 6.01.2025 р.

17. Які види водопровідних труб існують [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://teploradost.com.ua/ua/jaki-vydy-vodoprovidnyh-trub-isnujut> – 6.01.2025 р.