

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА**  
**ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**«ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ВІДДАЛЕНОГО  
КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВОЮ ПОМПОЮ (ЧАСТИНА І. СИСТЕМА  
АВТОМАТИЗАЦІЇ)»**

Виконав: здобувач групи Акт-42сп  
спеціальності 151 «Автоматизація та,  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: \_\_\_\_\_ Безрукий Л. А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ Пташник В. В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
 ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
 ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
 Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор, Тригуба А. М.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ” \_\_\_\_\_ 202 року

**ЗАВДАННЯ  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Безрукий Любомир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проектування системи автоматизації та віддаленого керування тепловою помпою» (Частина I. Система автоматизації)

керівник роботи к. т. н., доцент., Пташник В. В.

(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП від 27.11.2023 року № 641/к-с

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: інформаційна довідка щодо будови та принципів роботи теплових pomp; характеристика сучасних теплових pomp та принципова схема їх роботи; технічна документація засобів контролю та управління системою теплової помпи; науково-технічна і довідкова література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз об'єкту проектування

2. Вибір апаратних засобів автоматизації

3. Розробка схеми автоматизації теплової помпи

4. Охорона праці

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

## 6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Пташник В. В., к.т.н., доцент			
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Аналіз об'єкту проектування	28.11.2023 – 31.12.2023	
2	Вибір апаратних засобів автоматизації	01.01.2024 – 28.02.2024	
3	Розробка схеми автоматизації теплової помпи	01.03.2024 – 30.04.2024	
4	Розгляд питань з охорони праці	01.05.2024 – 14.05.2024	
5	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	15.05.2024 – 31.05.2024	
6	Завершення роботи в цілому. Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	01.06.2024 – 10.06.2024	

Здобувач

Безрукий Л. А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Пташник В. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**УДК 681.521 / 681.518**

Проектування системи автоматизації та віддаленого керування тепловою помпою (Частина I. Система автоматизації). Безрукий Л.А. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024.

Кваліфікаційна робота: 52 сторінок текстової частини, 10 рисунків, 10 таблиць, 23 джерела літератури.

*Метою кваліфікаційної роботи є визначення основних цілей, методів та інструментів автоматизації теплової помпи з використанням Arduino, а також проектування системи управління тепловим насосом у лабораторії.*

*Об'єктом дослідження є алгоритми, програми та обладнання, необхідні для надійної та ефективної роботи системи автоматизації теплової помпи на базі Arduino.*

*Предмет дослідження вивчає особливості проектування та використання автоматизованої системи управління тепловою помпою на базі Arduino.*

Під час виконання кваліфікаційного дослідження детально вивчено предметну сферу автоматизації теплової помпи в лабораторній обстановці. Проаналізовано основні параметри роботи теплових pomp, визначено способи їх контролю та регулювання з урахуванням наявних аналогів та оцінено їх функціональні можливості. Виконано комплексне обґрунтування впровадження та практичного застосування автоматизованої системи управління тепловою помпою в лабораторному середовищі. Розглянуті такі елементи, як хмара IoT та мікропроцесорна управляюча платформа на базі Arduino, для поліпшення функціональності системи управління тепловою помпою. Виконано проектування та імітаційне моделювання автоматизованої системи управління тепловою помпою відповідно до наявних методик.

**Ключові слова:** автоматизація, відновлювальна енергетика, тепла помпа, Arduino.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ .....	7
1.1 Відновлювальні джерела енергії .....	7
1.1.1 Основні технології відновлюваної енергетики .....	9
1.1.2 Вибір для автоматизування .....	13
1.2 Тепловий насос .....	14
1.3 Елементи для автоматизування.....	16
2 ВИБІР АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	18
2.1 Контроль напруги .....	18
2.2 Контроль струму.....	19
2.3 Контроль температури .....	20
2.4 Елементи управління .....	22
2.5 Модуль бездротового зв'язку .....	23
2.6 Витратомір .....	24
2.7 Диспелей.....	26
2.8 Контролер Arduino Mega.....	27
2.9 ПІД-регулятор.....	30
3 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ПОМПИ.....	32
3.1 Загальна схема .....	32
3.2 Алгоритм та його елементи .....	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
4.1. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів діючих у робочій зоні .....	43
4.2 Технічні та організаційні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	45
4.3 Інструкція з охорони праці при обслуговуванні теплового насосу	47
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

## ВСТУП

Сьогодні, в епоху бурхливого технологічного розвитку та зростаючої турботи про екологічні проблеми, енергоефективність стала однією з найбільш актуальних і важливих проблем. У цій ситуації використання теплових насосів, екологічно чистого та ефективного джерела енергії для опалення та кондиціонування повітря, пропонує особливо великий потенціал. Однак для максимальної ефективності та простоти використання теплові насоси потребують автоматизації.

Метою цього дослідження є дослідження та розробка системи автоматизації теплових насосів з метою оптимізації роботи теплових насосів та забезпечення максимальної енергоефективності. Основна мета — побудувати програмно-апаратну основу, яка дозволяє автоматично керувати та регулювати параметри теплового насоса при мінімізації втрат енергії.

Для досягнення поставлених цілей необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналіз та огляд існуючих систем автоматизації теплових насосів. Ретельний аналіз існуючих рішень може виявити сильні та слабкі сторони та визначити можливі напрямки для подальшого вдосконалення.

2. Проектування програмного забезпечення. Розробка програм, які відповідають потребам ефективної автоматизації теплових насосів, включаючи аналіз та оптимізацію робочих параметрів.

3. Реалізація апаратної частини системи. Створення необхідного апаратного забезпечення для взаємодії з програмним забезпеченням та управління тепловим насосом.

4. Тестування та оцінка продуктивності. Виконайте серію тестів для перевірки продуктивності та ефективності розробленої системи автоматизації.

Реалізація завдань дозволяє створити комплексну систему автоматизації теплових насосів, яка не тільки забезпечує оптимальний комфорт у приміщенні, але й забезпечує значну економію енергії та ресурсів.

# 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

## 1.1 Відновлювальні джерела енергії

Сучасна енергетика здебільшого спирається на невідновлювальні джерела енергії, які мають обмежені запаси і не можуть забезпечити стійкий розвиток енергетики на довгострокову перспективу. Їх використання є одним з головних чинників, що призводять до погіршення стану довкілля і екологічної кризи.

Альтернативні (нетрадиційні) джерела енергії включають відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), що використовують енергію Сонця, вітру, геотермальну енергію, біомасу, а також енергію морів, океанів і річок. Ці джерела енергії є постійними або періодичними і в майбутньому практично невичерпними. Всі ВДЕ поділяються на дві групи: ті, що використовують пряму енергію сонячного випромінювання, і ті, що використовують її вторинні прояви (побічна сонячна енергія), а також енергію взаємодії Сонця, Місяця і Землі.

До нетрадиційних відновлювальних джерел енергії також належить мала гідроенергетика з гідроелектростанціями потужністю до 30 МВт, а в деяких країнах – до 10 МВт.

Основні переваги ВДЕ в порівнянні з традиційними невідновлювальними джерелами включають:

Практично невичерпні ресурси.

Зниження негативного впливу на довкілля, включаючи викиди забруднюючих речовин, парникових газів, радіоактивне і теплове забруднення.

Необхідність широкого використання ВДЕ обумовлена швидким зростанням потреби в електричній енергії, яка, за прогнозами, має подвоїтися до 2030 року і збільшитися вчетверо до 2050 року в порівнянні з 2000 роком. Також це пов'язано з виснаженням запасів органічного палива і кризовим станом довкілля через забруднення різними шкідливими речовинами.

Відновлювальні джерела енергії мають принципові відмінності, тому їх ефективне використання можливе лише на основі науково розроблених принципів перетворення ВДЕ в потрібні споживачам види енергії. Постійні потоки відновлювальної енергії в навколишньому середовищі диктують необхідність орієнтації на місцеві енергоресурси, вибираючи найефективніші з них. Використання ВДЕ має бути багатоваріантним і комплексним, що сприяє прискоренню економічного розвитку регіонів. Наприклад, агропромислові комплекси можуть ефективно використовувати відходи тваринництва і рослинництва для виробництва біогазу, рідкого і твердого палива, а також добрив.

Таблиця 1.1 – Енергетичний потенціал відновлювальних джерел енергії

Відновлювальні енергоресурси	Показники, млрд т у.п./рік	
	Технічний	Економічний
Променева енергія сонця	5	1
Теплова енергія морів і океанів	1	0,1
Енергія вітру	5	1
Гідроенергія, в тому числі:	-	-
Енергія водотоків	4,5	2,6
Енергія хвиль	0,05	0,01
Енергія припливів	0,7	-
Енергія біомаси (за винятком дров)	2,55	2,0
Геотермальна енергія	0,4	0,2



### 1.1.1 Основні технології відновлюваної енергетики

#### 1) Вітроенергетика

Вітер утворюється через нерівномірне нагрівання поверхні Землі Сонцем. Потоки повітря можна використовувати для приведення в рух вітрових турбін. Принцип дії всіх вітроустановок однаковий: під дією вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний коефіцієнт корисної дії (ККД) найкращих вітрових коліс досягає 45% при стабільній роботі за оптимальної швидкості вітру. Існують дві основні конструкції вітроенергетичних установок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Сучасні вітрові турбіни мають номінальну потужність від приблизно 600 кВт до 5 МВт. Найпоширенішими в комерційному застосуванні є турбіни з номінальною потужністю в діапазоні 1,5—3 МВт. Потужність вітрового потоку пропорційна площі його перерізу і має кубічну залежність від швидкості вітру, тобто потужність зростає швидше, ніж швидкість вітру. Найкращими місцями для розташування вітрових електростанцій є місцевості з потужними та сталими вітрами, такі як прибережні зони та вершини гір.

#### 2) Гідроенергетика

Гідроенергетика – це сфера господарсько-економічної діяльності людини, а також сукупність природних і штучних підсистем (гідроелектростанцій), що перетворюють енергію водного потоку в електричну енергію. На гідроелектростанціях використовується потенціальна енергія водного потоку, що походить від Сонця. Сонце випаровує воду, яка випадає у вигляді атмосферних опадів на височинах і стікає вниз, формуючи річки.

Гідроелектростанції зазвичай будують на річках, споруджуючи греблі та водосховища. Також можливе використання кінетичної енергії водного потоку на вільнопотокових (дериваційних) ГЕС.

Оскільки густина води приблизно в 800 разів більша за густину повітря, навіть повільний потік води або слабка океанська течія може виробляти значну кількість енергії.

В останні десятиліття активно досліджується практичне використання значного потенціалу морських і океанських течій, які поділяються на неперіодичні, мусонні (пасатні) і припливно-відпливні. Особливу увагу приділяють неперіодичним течіям, таким як Гольфстрім і Куросіо, сумарний енергетичний потенціал яких оцінюється від 5 до 300 млрд кВт за різними методиками.

### 3) Сонячна енергетика

Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними методами: термодинамічним і фотоелектричним.

При термодинамічному методі електричну енергію отримують за допомогою традиційних схем у теплових установках, де теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання.

Сонячна фотоенергетика передбачає пряме перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Принцип дії фотоелектричного перетворювача базується на використанні внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках та ефекті розділення фотогенерованих носіїв зарядів (електронів і дірок) за допомогою електронно-діркового переходу або потенційного бар'єру типу метал-діелектрик-напівпровідник.

### 4) Сонячна теплоенергетика

У сучасному світі сонячна енергія широко використовується для теплопостачання, включаючи гаряче водопостачання, опалення, холодопостачання, кондиціонування повітря, висушування та інші технологічні процеси.

Системи сонячного теплопостачання класифікуються наступним чином:

- Системи активного сонячного теплопостачання: Використовують активні установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія, як рідина (вода, розчини солей) або газ (повітря).

- Системи пасивного сонячного опалення: Використовують конструкційні елементи споруд як теплоприймачі сонячної енергії.

- Комбіновані системи сонячного теплопостачання: Інтегрують елементи як пасивного, так і активного сонячного теплопостачання.

Приклади прямого використання теплової енергії від сонячного світла:

- Обігрівання будівель через систему пасивного обігріву.
- Нагрівання продуктів харчування в сонячних печах.
- Нагрівання води або повітря для господарчих потреб у геліоколекторах.

- Нагрівання та охолодження повітря із використанням сонячних каменів.

- Кондиціонування повітря.

## 5) Геотермальна енергетика

Геотермальна енергетика передбачає промислове отримання енергії, включаючи електроенергію, з гарячих джерел і термальних підземних вод. Основним джерелом цієї енергії є постійний потік тепла з розжарених надр Землі, спрямований до її поверхні. Земна кора отримує теплоту внаслідок тертя ядра, радіоактивного розпаду елементів і хімічних реакцій.

Розрізняють п'ять основних типів зон розподілу геотермальної енергії:

1. Нормальне поверхнєве тепло Землі на глибині від декількох десятків до сотень метрів.

2. Гідротермальні системи, тобто резервуари гарячої або теплої води, у більшості випадків самовиливні.

3. Парогідротермальні системи — родовища пари і самовиливної пароводяної суміші.

4. Петрогеотермальні зони або теплота сухих гірничих порід.

5. Магма — нагріті до 1300 °С розплавлені гірничі породи.

Практичне значення мають запаси гарячої води і пари в підземних резервуарах на відносно невеликих глибинах та гейзери, які виходять на поверхню.

Основним показником придатності геотермальних джерел для використання є їх природна температура. За цим показником геотермальні води поділяються на:

1. Низькотермальні води з температурою 40-70 °С.
2. Середньотермальні води з температурою 70-100 °С.
3. Високотермальні води і пара з температурою 100-150 °С.
4. Парогідротерми і флюїди з температурою вище 150 °С.
- б) Біопаливо, біоенергетика

Біомаса є одним із найдавніших джерел енергії, хоча до недавнього часу її використання обмежувалося прямим спалюванням у відкритому вогні або в печах і топках з відносно низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД). Під біомасою розуміються органічні речовини, що утворюються в рослинах внаслідок фотосинтезу і можуть бути використані для отримання енергії. Це включає всі види рослинності, рослинні відходи сільського господарства, деревообробної та інших галузей промисловості, а також побутові відходи.

Найпоширенішими технологіями використання біомаси в біоенергетиці є:

- Фізичний метод — пряме спалювання.
- Хімічні методи — піроліз, газифікація, виробництво спиртів і масел для отримання моторного палива.
- Мікробіологічний метод — анаеробна ферментація з утворенням метану.

Значний ресурс для відновлюваної енергетики представляє використання хімічної енергії біомаси. Перевагою біомаси є можливість її безпосереднього перетворення на паливо для автомобілів та інших машин.

Біомаса може спеціально вирощуватися для потреб енергетичного виробництва (так звана біомаса третього покоління) або використовуватися у вигляді відходів біологічної маси, призначеної для інших потреб (біомаса другого покоління).

Біопаливо, яке може використовуватися в транспортних засобах, виготовляють з олії, тваринних жирів і жирних відходів. За даними на 2011 рік, воно забезпечило 2,7 % споживання палива транспортом.

### **1.1.2 Вибір для автоматизування**

Вибираючи між різними відновлюваними джерелами енергії - обрано теплові насоси з кількох важливих причин.

По-перше, теплові насоси дуже ефективно використовують доступне тепло з навколишнього середовища, наприклад повітря, води або землі, для опалення приміщення тощо. Це означає, що вони можуть ефективно працювати навіть у регіонах з помірним кліматом.

По-друге, теплові насоси вважаються дуже екологічними, оскільки вони використовують відновлювані джерела енергії та не викидають шкідливих викидів в атмосферу, як у випадку з системами, що працюють на вугіллі чи газі. Крім того, теплові насоси мають відносно тривалий термін служби та потребують мінімального обслуговування, що є вигідним з точки зору витрат на експлуатацію та обслуговування. Ще однією перевагою теплових насосів є гнучкість установки та можливість інтеграції в існуючі системи опалення та кондиціонування.

Теплові насоси можуть працювати як в опалювальний, так і в охолоджуючий сезон, забезпечуючи комфорт у приміщенні в будь-яку пору року.

## 1.2 Тепловий насос

Тепловий насос — це пристрій, який відбирає низькопотенційну теплову енергію з навколишнього середовища, перетворює її у високопотенційну і передає на контур системи опалення. Принцип його роботи базується на циклі Карно — зворотному термодинамічному циклі.

Низькопотенційне тепло присутнє у довкіллі навіть за мінусових температур завдяки руху молекул, який можливий до  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0\text{ K}$ ). Таким чином, тепловий насос здатен забезпечувати тепло навіть у морозну зиму.

Основні компоненти теплового насоса включають випарник, компресор, конденсатор, розширювальний клапан (дросельну заслінку) і холодоагент, що циркулює в системі:

a) У випарнику холодоагент у рідкому стані відбирає теплову енергію з зовнішнього контуру системи (грунту, води чи повітря), яку подає вентилятор.

b) Підігрітий теплом холодоагент переходить у газоподібний стан і надходить у компресор.

c) Компресор стискає газ, збільшуючи його температуру під дією тиску.

d) Нагрітий і стиснутий холодоагент надходить у конденсатор, де передає теплову енергію в контур опалення або повітря в приміщенні. Під час цього процесу температура холодоагенту знижується, і він знову переходить у рідкий стан.

e) Рідкий холодоагент проходить через розширювальний клапан і знову потрапляє у випарник.

Цикл повторюється безперервно, утворюючи теплову енергію з нетеплових (механічних) форм енергії. Для роботи усіх складових системи необхідний електричний струм, але споживаючи 1 кВт енергії, тепловий насос виробляє до 6 кВт тепла. Це і є основною перевагою використання теплових насосів для опалення будинків.

Тепловий насос можна впевнено назвати універсальним джерелом тепла для багатьох споживачів теплової енергії, таких як:

- Система опалення;
- Гаряче водопостачання;
- Система охолодження приміщень;
- Нагрівання води у басейні.

Крім того, теплові насоси набувають популярності в аграрному секторі для опалення теплиць. Однак, основне застосування теплових pomp — економний та екологічний обігрів помешкання, який має багато переваг перед традиційними методами опалення:

**Економічність:** Початкові витрати на встановлення залежать від типу насоса. Грунтові та водні моделі дорожчі, повітряні — дешевші. Вже з першого дня використання ви економите на електроенергії, адже з 1 кВт струму отримуєте 6 кВт тепла. Моделі з функцією «реверс» дозволяють економити на охолодженні будинку влітку, оскільки не потрібно купувати додатковий пристрій.

**Екологічність:** Джерелом тепла є поновлювані природні ресурси — тепла енергія повітря, води чи ґрунту. Тепловий насос не виробляє шкідливих викидів під час роботи.

**Безпека:** Якісні теплові насоси, встановлені фахівцями компанії "Теплосфера", відповідають усім стандартам безпеки. Обладнання не використовує паливо, що знижує ризик пожежної небезпеки.

**Універсальність:** Обігрів, охолодження та нагрівання води для побутових потреб об'єднані в одному пристрої. За необхідності можливий також підігрів басейну.

**Зручність:** Тепловий насос дуже простий у використанні. Фахівці проводять детальний інструктаж для власників і беруть на себе всі турботи щодо сервісного обслуговування.

### 1.3 Елементи автоматизації

Автоматизація в тепловому насосі відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, зручності та надійності його роботи. Розглянемо аспекти, які можна автоматизувати в таких системах.

**Регулювання температури:** Автоматична система контролю може забезпечити постійний та комфортний рівень температури в приміщенні, регулюючи роботу теплового насосу.

**Адаптація до погодних умов:** З використанням сенсорів та алгоритмів прогнозування, система може автоматично адаптувати свою роботу до змін у погодних умовах.

**Оптимізація роботи:** Автоматичні алгоритми можуть оптимізувати роботу теплового насосу з урахуванням показників споживання енергії, тарифів на електроенергію та інших факторів.

**Система моніторингу та діагностики:** Вбудовані сенсори та програмне забезпечення можуть автоматично виявляти та діагностувати будь-які несправності або проблеми в роботі системи.

**Режими енергозбереження:** Автоматичне переключення в режими енергозбереження може зменшити споживання електроенергії в періоди низького попиту на опалення.

**Віддалене керування:** Застосунки для смартфонів або веб-інтерфейси дозволяють власникам віддалено керувати тепловим насосом, забезпечуючи зручний доступ та контроль над системою.

**Автоматичне вивчення режимів роботи:** Системи навчаються звичкам користувачів та можуть автоматично адаптувати свою роботу для забезпечення оптимального комфорту.



Управління зонами: Системи можуть автоматично керувати температурою в окремих зонах будинку з урахуванням пріоритетів та вимог користувача.

Автоматичне оновлення програмного забезпечення: Забезпечення системи може автоматично оновлюватися для забезпечення безпеки та ефективності роботи.

Звітність та аналіз: Система може автоматично створювати звіти про енергоспоживання та аналізувати дані для покращення ефективності.

Ці автоматичні функції допомагають забезпечити ефективну, надійну та економічну роботу теплових насосів, зменшуючи зусилля та витрати користувачів.

## 2 ВИБІР АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Контроль напруги

Ефективна робота теплового насоса залежить від багатьох факторів, у тому числі від правильного регулювання напруги. Напруга в системі теплового насоса впливає на роботу та надійність, а також на споживання енергії.

Для вимірювання напруги обрано датчик PZEM-004T (рисунок 2.2). Наш вибір впав на нього не тільки через його переваги, але й через те, що він уже був у наявності і не було необхідності купляти щось інше.

Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.1

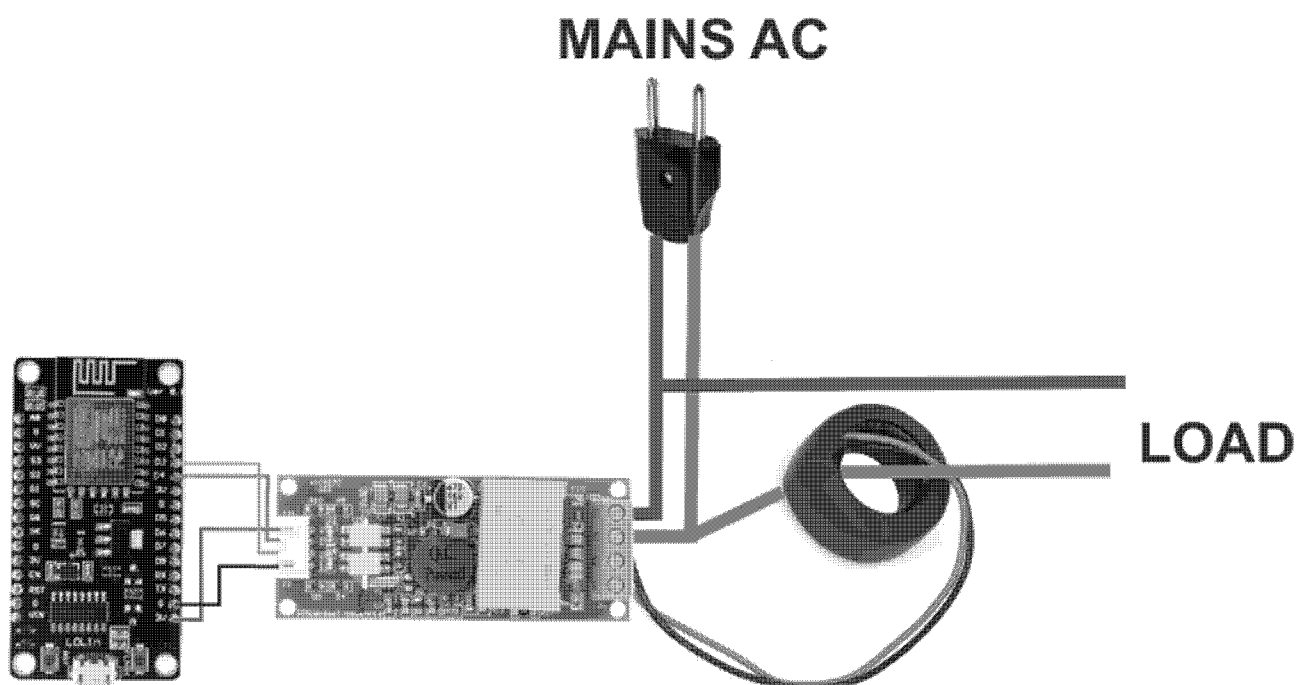


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд датчика PZEM-004T

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики давача PZEM-004T

Діапазон вимірюваної напруги	80-260 В
Дозвіл щодо напруги	0.1
Діапазон вимірюваних струмів	0-100 А
Дозвіл за струмом	0.001А
Діапазон вимірюваних потужностей	0-22 кВт
Дозвіл за потужністю	0.1Вт
Точність виміру	0.5%
Інтерфейс	UART
Установки UART	9600, 8bit, 1 stop bit, no parity
Протокол	Modbus-RTU
Діапазон робочих температур	-20...+60°C

## 2.2 Контроль струму

Без належного контролю потужності, що подається в систему, теплові насоси не можуть працювати ефективно. Контроль продуктивності є одним із важливих аспектів безперервної роботи та ефективної енергоефективності теплових насосів. Цей контроль дозволяє системі оптимально використовувати електричну енергію та забезпечувати потужність, необхідну для перетворення тепла з навколишнього середовища. У відповідь на мінливі зовнішні умови та потреби користувача регулювання потужності регулюється для забезпечення оптимального балансу між споживаною потужністю та тепловіддачею.

Такий підхід дозволяє знизити витрати на електроенергію та забезпечує ефективну роботу системи при різних режимах навантаження.

Виходячи з нашої мети завдання, для точного та якісного вимірювання струму в системі обрано той же датчик PZEM-004T, який вимірює напругу. Його переваги включають високу точність вимірювання струму, що дає

надійні та точні результати. Компактний розмір і легке встановлення роблять його ідеальним для вимірювань у вузьких місцях. Крім того, PZEM-004T має стабільну структуру та надійність роботи, і може використовуватися в різних умовах.

## 2.3 Контроль температури

Правильний контроль температури теплових насосів відіграє важливу роль у підтримці оптимального та комфортного середовища в будівлі. Підтримка постійного рівня опалення чи охолодження в приміщенні є важливим завданням для здоров'я та комфорту працівників чи студентів.

У нашому проєкті ми використовуємо велику кількість датчиків температури для ефективної роботи насосу. Це дозволяє системі постійно моніторити температурні умови навколишнього середовища та в приміщенні, щоб точно визначати потребу в опаленні чи охолодженні. Дані з цих датчиків дозволяють насосу автоматично регулювати свою роботу, забезпечуючи оптимальний рівень комфорту для користувачів при мінімальному споживанні енергії. Такий підхід допомагає знизити витрати на опалення та підвищити загальну ефективність системи.

Для контролю температури обраний цифровий датчик DS18B21(рисунок 2.3) через його переваги перед аналоговими датчиками температури, зокрема наявності цифрового інтерфейсу, який дозволяє швидко і точно передавати дані в широкому діапазоні температур. Крім того, цифровий інтерфейс дозволяє легко зчитувати дані з датчика за допомогою мікроконтролера або іншого пристрою. Датчик DS18B21 має унікальну адресу, що дозволяє підключати кілька датчиків до мікроконтролера без конфліктів адрес. Це робить його ідеальним вибором для додатків, які потребують вимірювання температури в кількох точках одночасно.

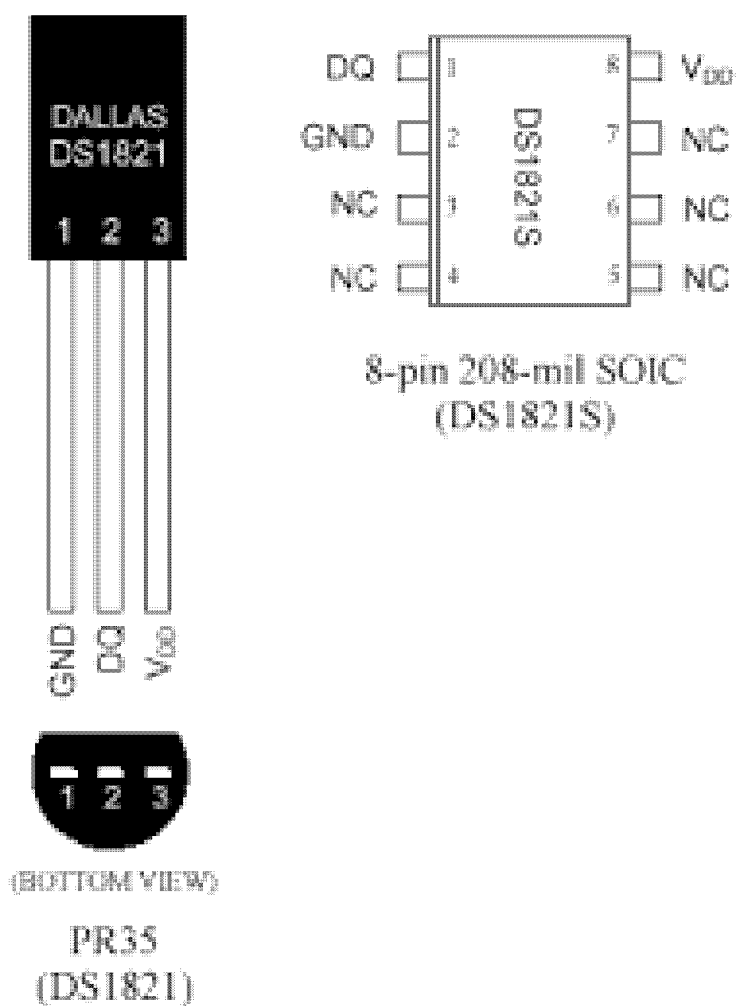


Рисунок 2.3 -- Зовнішній вигляд датчика температури DS18B21

Таблиця 2.3 -- Технічні характеристики датчика температури DS18B21

Напруга живлення	3.0..5.5V
Діапазон температур	-55°C..+125°C
Точність показань температури	0.5°C
Крок свідчення	0.0625°C
Інтерфейс	1-Wire
Споживаний струм	1 mA

## 2.4 Елементи управління

Для керування електричними навантаженнями обрано твердотільне реле G3MB-202P(рисунок 2.4). Твердотільні реле характеризуються повною відсутністю рухомих або загальних контактів. Це пояснюється його надзвичайною надійністю та тихою роботою.

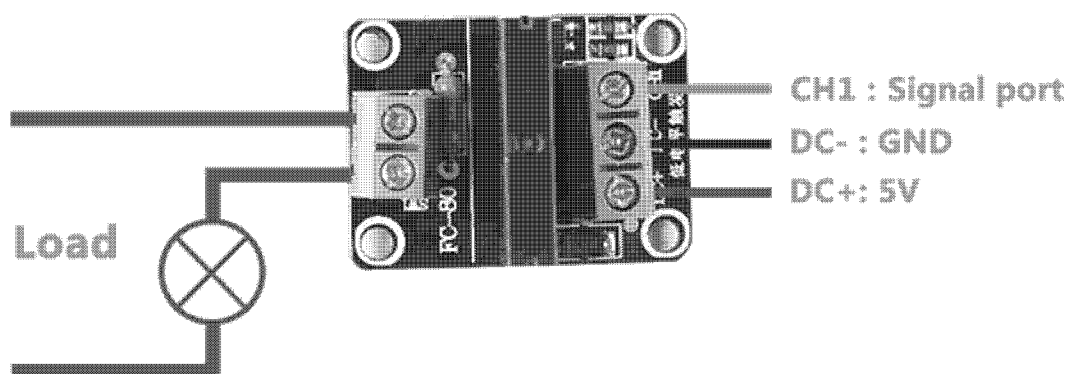


Рисунок 2.4 -- Зовнішній твердотільне реле G3MB-202P

Технічні характеристики реле G3MB-202P наведено нижче в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 -- Технічні характеристики твердотільне реле G3MB-202P

Твердотільний модуль	G3MB-202P
Комутована напруга	від 100 до 240 В
Комутований струм	макс. 2А
Напруга керування	від 0 до 5В
Активний рівень сигналу управління	низький
Максимальний струм керування	12.5 мА
Робочий струм керування	2мА
Розміри	24 * 32 * 21 мм

Для управління реле досить подати цифровий сигнал з мікроконтролера. Струмообмежувальний резистор знаходиться в самому реле, а крім того в реле є схема, яка контролює перехід вихідної напруги через 0. Це позитивно впливає як на надійність, так і на дуже низькі рівні перехідних перешкод.

## 2.5 Модуль бездротового зв'язку

Для дистанційного моніторингу параметрів датчика обрано модуль WIFI ESP8266(рисунок 2.5).

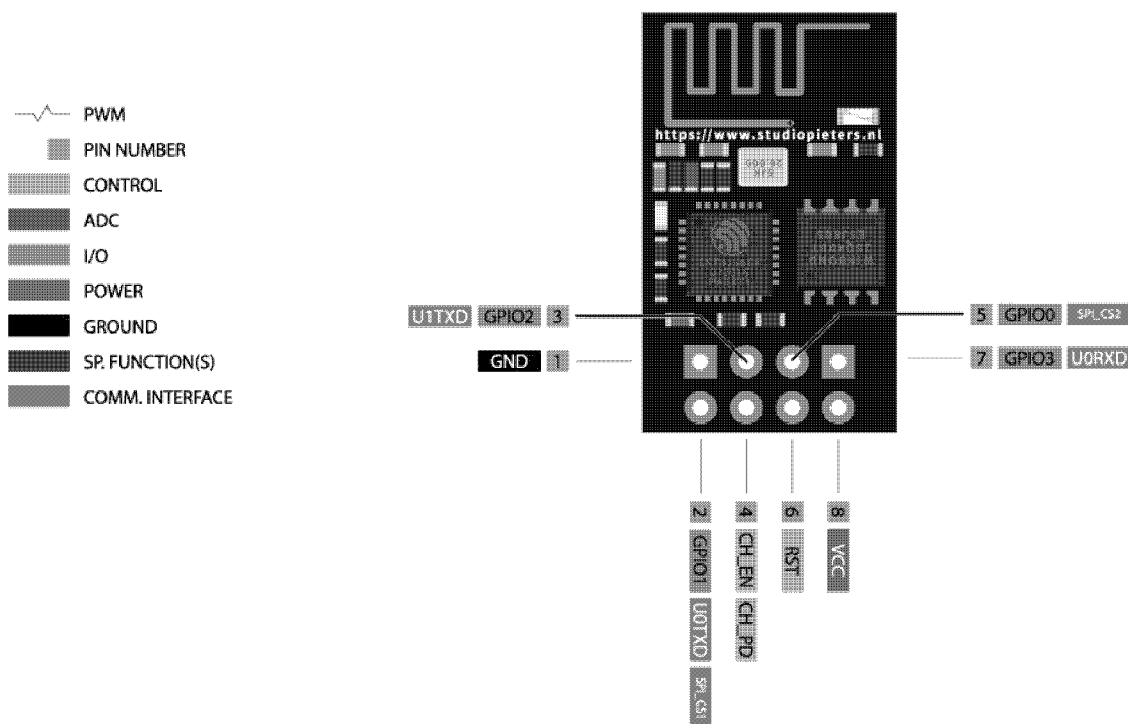


Рисунок 2.5 -- Зовнішній вигляд WiFi модуля ESP8266

Цей модуль має вбудовану підтримку протоколів WIFI, що дозволяє вам спілкуватися з іншими пристроями та серверами через мережу. ESP8266 дозволяє легко встановити мережеве підключення та отримати дані від

датчиків для подальшої обробки або відображення на віддаленому сервері чи іншому пристрої. Це забезпечує зручний і ефективний спосіб моніторингу параметрів навіть на відстані.

Зареєструвавши акаунт на веб-сайті Blynk, було створено інтерфейс додатку для смартфонів. Завдяки цьому та модулю ESP8266, з'явилася змога не тільки переглядати параметри системи в реальному часі і отримувати повідомлення про аварійні ситуації, коли параметри виходять за межі доступного, але й вмикати чи вимикати систему.

Таблиця 2.5 -- Технічні характеристики ESP8266 модуля

Підтримувані мережі	802.11 b/g/n
Швидкість UART	9600
робоча напруга	3.3В
Максимальний струм споживання (при передачі)	240 мА
Розміри	24.75 x 14.5 мм

## 2.6 Витратомір

Щоб вимірювати кількість води, яка проходить в нашому процесі було обрано датчик води на ефекті Холла – Sea YF-DN40.

Цей датчик встановлюється вздовж водопровідної труби та має обертовий датчик, який вимірює кількість рідини, що проходить через нього. Він має вбудований магнітний датчик Холла, який посилає електричні імпульси з кожним оборотом. Датчик Холла герметично ізольований від водопровідних труб, зберігаючи його в безпеці та сухості.

Датчик поставляється з трьома проводами: червоний (живлення 5-24 В постійного струму), чорний (заземлення) і жовтий (вихід імпульсу Холла).



Підраховавши імпульси на виході датчика, ви можете легко розрахувати швидкість потоку води. Він чудово підходить для базових завдань вимірювання. Оскільки сигнал пульсу є простою прямокутною хвилею, його можна легко записати та перетворити в літри на хвилину за такою формулою:  
Частота пульсу (Гц) / 4,5 = швидкість потоку (л/хв)

## Water Flow Sensor with Arduino

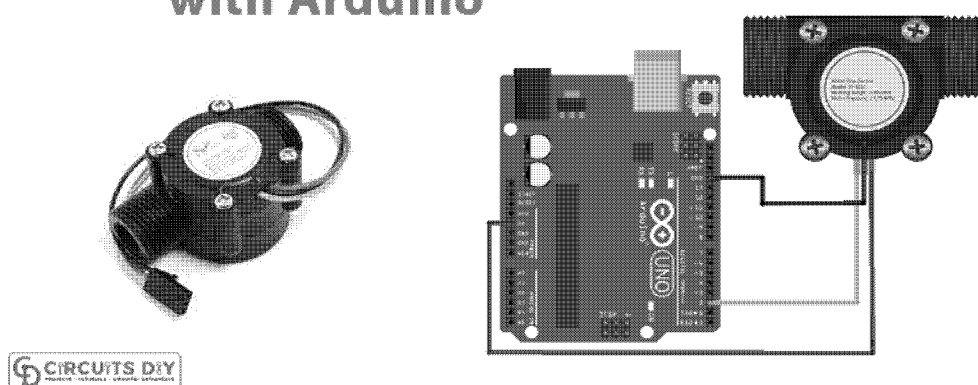


Рисунок 2.6 -- Зовнішній вигляд датчика води Sea YF-DN32

Таблиця 2.6 -- Технічні характеристики датчика води Sea YF-DN32

Міні. Напруга Working	DC 4,5 V
Макс. Робочий струм	15 mA (DC 5 V)
Робоча напруга	5 V ~ 24 V
Діапазон витрат	1 ~ 120 л/хв
Навантажувальна здатність	≤10 mA (DC 5 V)
Робоча температура	≤80 °C
Температура рідини	≤120 °C
Робоча вологість	35% ~ 90%RH
Тиск води	≤1,75 МПа
Температура зберігання	-25°C ~ +80°C
Вологість при зберіганні	25% ~ 95%RH

## 2.7 Дисплей

Для того, щоб наглядно бачити та контролювати всі параметри, які відбуваються у нашому процесі обрано дисплей LCD 1602, який зображений на рисунку 2.7.

Він часто зустрічається в різних проектах Arduino і готових пристроях. Звичайно, кількість інформації, яку він дозволяє виводити одночасно, не так вже й велика - всього 32 символу, тобто 2 рядки по 16 символів в кожній, проте часто і це надає такі можливості, обійтися без яких буває складно. Дисплей дозволяє виводити свідчення з датчиків, наприклад, але крім цього він може використовуватися для виведення налагоджувальної інформації, стану пристрою, напруги на пінах Arduino, що в загальному-то дозволяє виробляти повноцінну діагностику вашого пристрою або проекту.

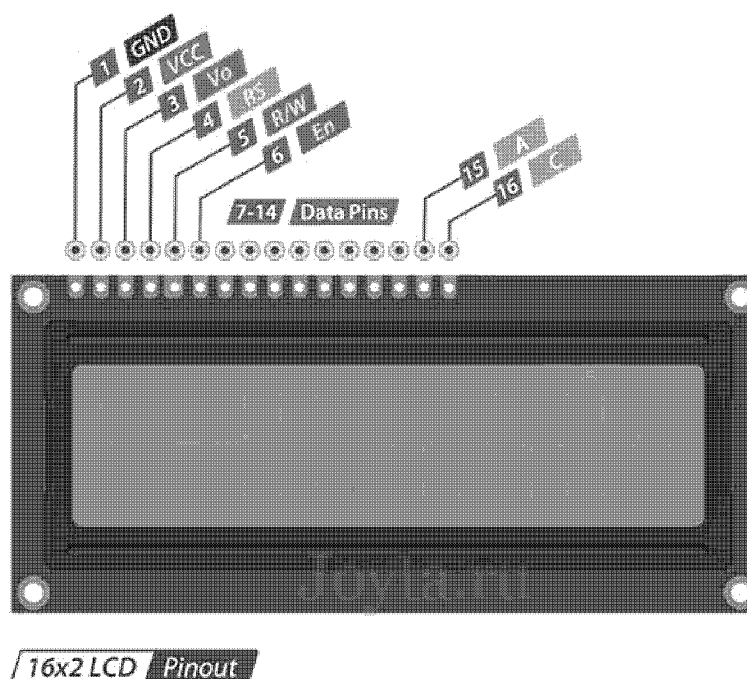


Рисунок 2.7 -- Зовнішній вигляд дисплея LCD1602

Дана модель дисплея вже оснащена модулем ІС, що робить роботу з дисплеєм вельми комфортною - вся передача інформації на дисплей відбувається по шині ІС, а значить, займає всього 2 цифрових Піна на Arduino, ну а враховуючи, що на шині ІС може розташовуватися до 120 пристроїв, подсодінєнних паралельно, можна сказати, що підключення дисплея взагалі ніяк апаратно не скорочує можливості Arduino.

Технічні характеристики вказані в таблиці 2.7

Таблиця 2.7 -- Технічні характеристики LCD1602

Розміри	80 x 36 мм
Робоча температура	0 ~ 50 ° С
Підсвітка	блакитна
Колір символів	білий
Розмір символу	4.35 x 2.95мм
Формат	16 x 2
Розміри точки	0.5 x 0.5мм
Інтерфейс	HD44780
Видима область	64.5 x 13.8мм
Живлення	5В

## 2.8 Контролер Arduino Mega

Щоб усі датчики працювали разом, а також щоб виконувалася логіка роботи системи було обрано Arduino Mega 2560.

Arduino Mega 2560 (рисунок 2.8) - це плата на базі мікроконтролера ATmega2560 (див. технічні характеристики). Вона оснащена всім необхідним для зручної роботи з мікроконтролером: 54 цифровими входами/виходами (з яких 15 можуть працювати як ШІМ-виходи), 16 аналоговими входами, 4

UART (апаратні послідовні інтерфейси), кварцовим резонатором на 16 МГц, USB-роз'ємом, роз'ємом живлення, ICSP-роз'ємом для внутрішньосхемного програмування та кнопкою скидання. Додаткові технічні характеристики наведені в таблиці 2.8. Для початку роботи з пристроєм достатньо подати живлення від AC/DC-адаптера або батареї, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Arduino Mega сумісна з більшістю плат розширення, розроблених для Arduino Duemilanove та Diecimila.

Mega 2560 є оновленою версією Arduino Mega. Відмінність Mega 2560 від попередніх плат полягає в тому, що для перетворення інтерфейсів USB-UART використовується мікроконтролер ATmega16U2 (або ATmega8U2 у версіях плати R1 та R2) замість мікросхеми FTDI. У версії R2 плати Mega 2560 доданий резистор, що підтягує до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2. Це спрощує процес оновлення прошивки та переходу пристрою в режим DFU.

Максимальні розміри друкованої плати Mega 2560 складають 10.2 см в довжину та 5.4 см в ширину, з урахуванням USB-роз'єму та роз'єму живлення, що виступають за межі плати. Три монтажні отвори дозволяють закріпити плату на поверхні або в корпусі. Варто звернути увагу, що відстань між цифровими висновками 7 і 8 не є стандартною 2.54 мм, а становить 4 мм.

Arduino Mega 2560 розроблена для сумісності з більшістю плат розширення для Arduino Uno, Diecimila та Duemilanove. Цифрові висновки 0 – 13 (разом з AREF та GND), аналогові входи 0 – 5, роз'єм живлення та ICSP-роз'єм на всіх платах розташовані однаково. Крім того, в цих пристроях лінії основного приймача UART з'єднані з одними і тими ж висновками (0 і 1), як і лінії зовнішніх переривань 0 і 1 (висновки 2 і 3 відповідно). Лінії інтерфейсу SPI виведені на роз'єм ICSP на обох платах - як на Mega 2560, так і на Duemilanove/Diecimila.

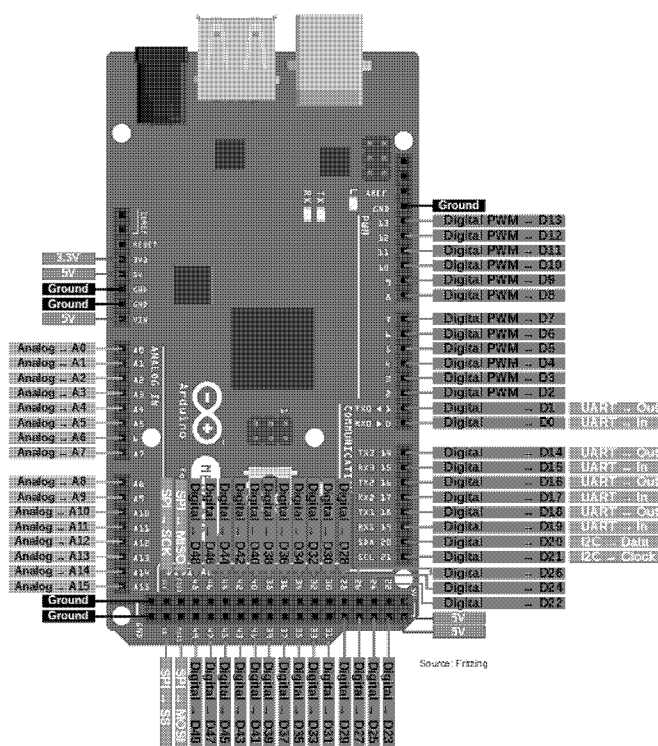


Рисунок 2.8 -- Зовнішній вигляд контролера Arduino Mega

Таблиця 2.8 -- Технічні характеристики контролера Arduino Mega

Мікроконтролер	ATmega2560 - 16AU
Спосіб підключення до USB	конвертер CH340
Робоча напруга контролера	Вхід VCC: 5В
	Вхід Vin: 7,5В-12В
Цифрові входи/виходи	54
Аналогові входи	16
Інтерфейси	I2C
	SPI
	PWM
Постійний струм ліній входів/виходів	не більше 40 мА
Постійний вихідний струм стабілізатору на 3,3В	не більше 50 мА
Флеш-пам'ять програм	256 Кб
Оперативна пам'ять	8 Кб SRAM
Енергонезалежна пам'ять	4 Кб

## 2.9 ПІД-регулятор

ПІД-регулятор є пристроєм з функцією зворотного зв'язку, який використовується в автоматизованих системах управління для забезпечення стабільності заданих технічних параметрів. Він є універсальним і підходить для різноманітних технологічних процесів. Цей пристрій може бути встановлений на щиті автоматизації або безпосередньо на корпусі обладнання. ПІД-регулятори є незамінними інструментами для фахівців з контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації.

У виробничому процесі, якщо необхідно підтримувати постійну температуру обладнання або приміщення, то PID є найкращим вибором. Принцип роботи ПІД наведено на рисунку 2.9

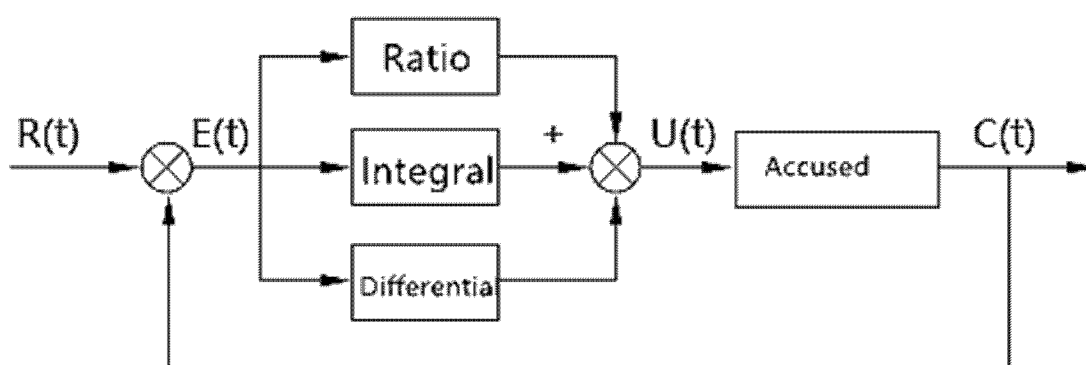


Рисунок 2.9 Принцип роботи ПІД-регулятора

- П: Пропорція, вхідне відхилення множиться на коефіцієнт;
- І: інтеграл, виконати інтегральну операцію над вхідним відхиленням;
- Д: Це диференціювання, яке виконує диференціальну операцію над вхідним відхиленням.

ПІД-регулятор є важливим компонентом контуру зворотного зв'язку, широко використовуваним у промислових системах керування. Він порівнює

зібрані дані з еталонним значенням і використовує цю різницю для обчислення нового вхідного сигналу. Мета нового вхідного сигналу полягає в тому, щоб допомогти системі досягти або підтримувати задане контрольне значення.

ПД-регулятор може коригувати вхідний сигнал, враховуючи історичні дані та частоту виникнення відхилень. Це сприяє підвищенню точності та стабільності системи. Математичні методи підтверджують ефективність такого підходу. У випадках, коли інші методи керування спричиняють нестабільність або повторювані помилки, ПД-регулятор здатний забезпечити стабільну роботу системи завдяки контуру зворотного зв'язку.

На рисунку 2.10 можна побачити зовнішній вигляд ПД-регулятора.



Рисунок 2.8 -- Зовнішній вигляд ПД-регулятора

## 3 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ПОМПИ

### 3.1 Загальна схема

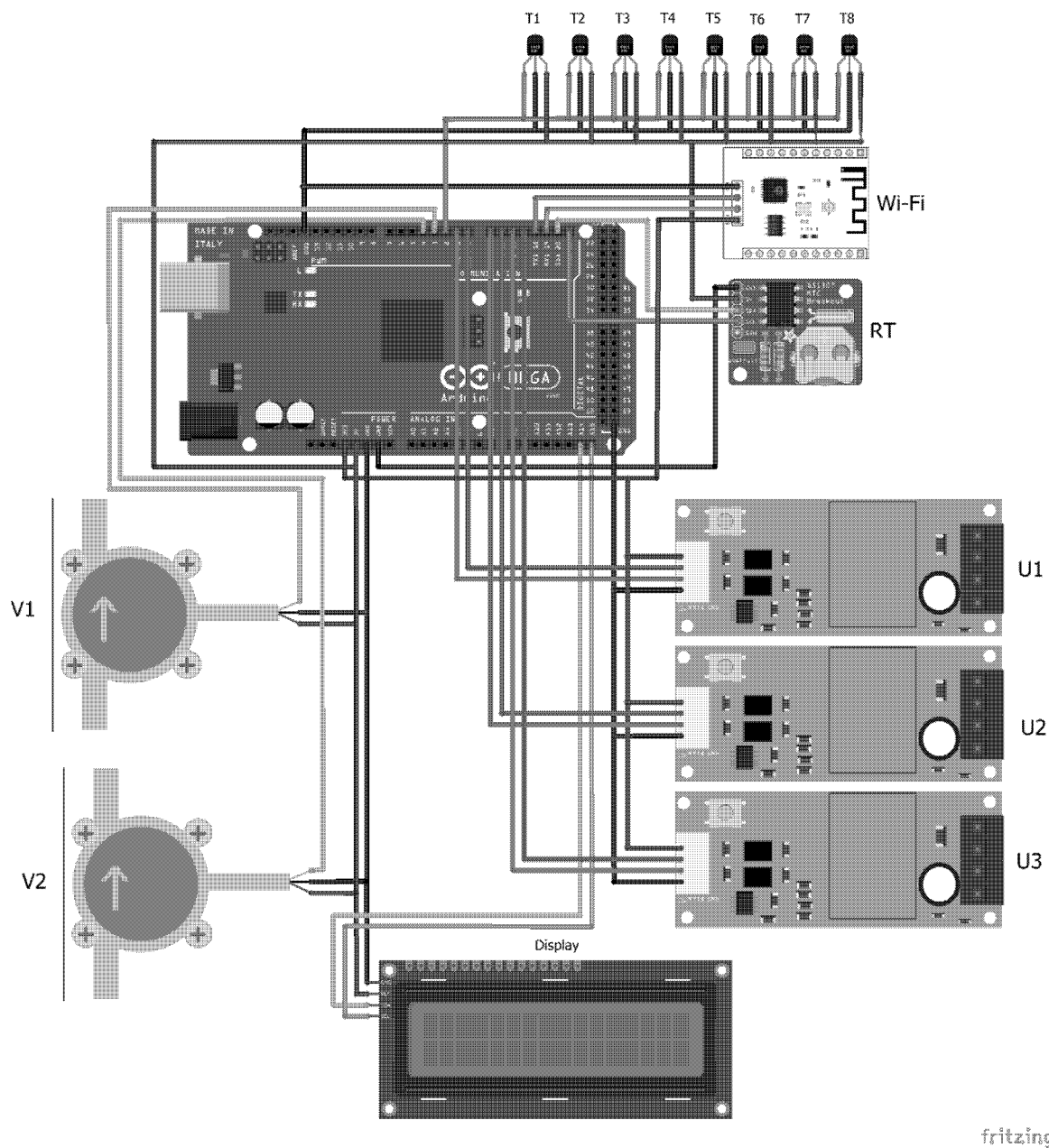


Рисунок 3.1 Загальна електрична схема проекту

Для реалізації поставлених завдань розроблено загальну електричну схему системи (рисунок 3.1).



До контролера Arduino підключено 8 датчиків температури (T1-T8), годинник реального часу (RT), wifi модель (Wi-Fi), датчики напруги та струму (U1-U3), витратоміри (V1, V2) та дисплей (Display).

Датчики температури підключаються до контролера за допомогою однопровідної шини (5V, GND, D2). Використання стандартної бібліотеки дозволяє забезпечити управління усіма датчиками за допомогою одного цифрового контакту, тобто завдяки протоколу 1-Wire. 1-Wire протокол — це серійний протокол зв'язку, розроблений компанією Dallas Semiconductor, який використовує лише один дріт для передачі даних та живлення.

Щоб використати менше пінів на самій платі, дисплей був підключений за допомогою модуля PCF8574T. У такому випадку нам знадобилися лише 4 піни (5V, GND, A14, A15). Завантаживши бібліотеку LiquidCrystal\_I2C можна буде легко, за допомогою функцій, виводити текст на екран, вмикати чи вимикати дисплей тощо.

Модуль Wi-Fi ESP8266 підключається до контролера за допомогою таких контактів: GND, 3.3V, 18, та 19. ESP8266 забезпечує можливість бездротового зв'язку для проектів на базі Arduino Mega. Підключення здійснюється до апаратного серійного порту, що використовує пін 18 (TX1) та пін 19 (RX1) для передачі та прийому даних відповідно.

Використання стандартної бібліотеки для роботи з ESP8266 дозволяє легко керувати бездротовими з'єднаннями, надсилати та отримувати дані через Wi-Fi.

Витратоміри Sea YF-DN40 підключаються за допомогою таких контактів: GND, 5V, та цифрових пінів D3 і D4. Для кожного витратоміра використовується окремий набір контактів. Для роботи з витратомірами Sea YF-DN40 немає спеціалізованих бібліотек, оскільки вони передають дані у вигляді імпульсів, які можна обробляти стандартними методами Arduino, бібліотекою Serial.

Для підключення часово модуля було використано: 5V, GND, 20, 21. RTC DS1307 використовує шину I2C для передачі даних. На платі Arduino

Mega пін 20 відповідає за лінію SDA (Serial Data Line), а пін 21 за лінію SCL (Serial Clock Line). Це забезпечує передачу даних між контролером і годинником у режимі реального часу. Для роботи з годинником реального часу DS1307 зазвичай використовують бібліотеку RTCLib, яка надає зручні методи для взаємодії з RTC.

Для підключення трьох лічильників PZEM-004T 3.0 до Arduino Mega були використані порти 1, 2, 14, 15, 16 та 17, а також 3.3V та GND. Використання бібліотеки PZEM004T значно полегшує процес програмування та зчитування даних з лічильників.

Таблиця 2.9 – Діапазони допустимих значень контрольованих параметрів

Назва датчика	Контрольований параметр	Допустимі значення	Дія при перевищенні	Дія при пониженні
T1	Температура ззовні	-20...+35	-	-
T2	Температура В приміщенні	+16...+25	Ввімкнути охолодження	Ввімкнути нагрів
T3	Температура бака	+30...+60	Ввімкнути циркуляцію опалення, вимкнути ТПУ	Вимкнути циркуляцію опалення, ввімкнути ТПУ
T4	Температура Вхідного потоку К (на випарнику)	+5...+12	-	-
T5	Температура Вихідного потоку К (на випарнику)	+2...+8	-	-
T6	Температура компресора	+40...+120	Вимкнути компресор (перевантаження)	-
T7	Температура Вхідного потоку В (на конденсаторі)	+20...+40	Вимкнути циркуляцію опалення, ввімкнути компресор	Ввімкнути циркуляцію опалення, вимкнути компресор
T8	Температура Вихідного потоку В (на конденсаторі)	+25...+60	Вимкнути циркуляцію опалення, ввімкнути компресор	Ввімкнути циркуляцію опалення, вимкнути компресор
U1	Напруга	180...250	Вимкнути живлення компресора, автоматика має бути ввімкнена	Вимкнути живлення компресора, автоматика має бути ввімкнена

Продовження Таблиці 2.9 - Діапазони допустимих значень контрольованих параметрів

II	Струм	0-20	Вимкнути живлення компресора	-
V1	Витрата Вхідна (грунтовий контур)	2700 л/год	-	При пониженні до 0, вимкнути компресор, сформувати сигналізацію
V2	Витрата Вихідна (контур ТПУ-бак-акумулятор)	500 стабільно	-	При пониженні до 0, вимкнути компресор, сформувати сигналізацію

Таблиця 2.10 - Перелік основних змінних

Параметр	Ім'я змінної	Тип даних	Періодичність оновлення
Температура	tempInRoom	float	раз в 10 хв
Температура	tempInOutside	float	раз в 10 хв
Температура	tCistern	float	раз в 1 хв
Температура	tInput	float	раз в 1 хв
Температура	tOutput	float	раз в 1 хв
Температура	tInput	float	раз в 1 хв
Температура	tOutput	float	раз в 1 хв
Температура	tCompressor	float	раз в 1 хв
Витрата	vInput	float	раз в день(24 г)
Витрата	vOutput	float	раз в день(24 г)
Напруга	voltage	float	раз в 1 сек
Струм	current	float	раз в 1 сек

## 3.2 Алгоритм та його елементи

```

1 // Підключення бібліотек для роботи з датчиком температури
2 #include <OneWire.h>
3 #include <DallasTemperature.h>
4
5 // Провід даних підключений до цифрового піна 2 Arduino
6 #define ONE_WIRE_BUS 2
7
8 // Створення екземпляру OneWire для зв'язку з будь-якими пристроями OneWire
9 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
10
11 // Передача посилання на oneWire в об'єкт сенсора температури Dallas
12 DallasTemperature sensors(&oneWire);
13
14 void setup(void) {
15   // Запуск послідовного з'єднання для налагодження
16   Serial.begin(9600);
17   // Ініціалізація бібліотеки Dallas Temperature
18   sensors.begin();
19 }
20
21 void loop(void) {
22   // створення змінної, яка відповідає індексу потрібного датчика температури
23   int sensorId = 0;
24   // Запит температур
25   sensors.requestTemperatures();
26   // Виведення температури в градусах Цельсія
27   Serial.print("Температура в градусах Цельсія: ");
28   Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
29   // Виведення температури в градусах Фаренгейта
30   Serial.print(" - Температура в градусах Фаренгейта: ");
31   Serial.println(sensors.getTempFByIndex(0));
32   // Затримка перед наступним виміром
33   delay(1000);
34 }

```

Рисунок 3.1 – Лістинг типового алгоритму роботи датчика DS18B21

На даному зображенні бачимо код, який дозволяє отримати температуру з датчика DS18B21. Для його виконання є обов'язковим встановлення 2 додаткових бібліотек OneWire та DallasTemperature, які допоможуть реалізувати OneWire протокол та полегшити роботу, написання менше коду, з датчиками Dallas.

Якщо ми об'єднуємо датчики за допомогою OneWire протокола - потрібно обрати Pin. Цей Pin необхідно вказати у кодї для ініціалізації зв'язку

з датчиком, що дозволить мікроконтролеру правильно обмінюватися даними з датчиком температури. Створивши екземпляр OneWire класу та ініціалізувавши його в методі setup починається робота програми, яка описана в loop методі.

Створюємо змінну, яка вказує на датчик під індексом якого прагнемо отримати температуру. За допомогою метода requestTemperatures виконується запит температури. Щоб вивести його на в термінал використовуємо Serial.print та методи GetTempCByIndex в градусах Цельсія та GetTempFByIndex за Фаренгейтом, яким передаємо індекс датчика. Цей код буде мати затримку в одну секунду, після чого виконається знову.

```
1 const int relayPin = 22; // Пін для підключення реле
2
3 void setup() {
4   pinMode(relayPin, OUTPUT); // Встановлення режиму виводу для пина реле
5   digitalWrite(relayPin, LOW); // Встановлення початкового стану вимкненого реле
6 }
7
8 void loop() {
9   digitalWrite(relayPin, HIGH); // Увімкнення реле
10  delay(2000); // Затримка 2 секунди
11
12  digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимкнення реле
13  delay(2000); // Затримка 2 секунди
14 }
```

Рисунок 3.2 – Лістинг типового алгоритму роботи твердотільного реле G3MB-202P

Цей невеличкий код показує принцип роботи з твердотільним реле G3MB-202P. Створивши нову змінну з піном, до якого ми підключили саме реле та встановивши режим виводу з початковим станом у методі setup, датчик готовий до роботи. Все, що залишається це в основному методі loop обирати коли реле ввімкнути (HIGH) чи вимкнути (LOW).

```
1 #include <DS3231.h>
2
3 // Ініціалізація DS3231 з використанням апаратного інтерфейсу
4 DS3231 rtc(SDA, SCL);
5
6 void setup()
7 {
8     // Ініціалізація послідовного з'єднання
9     Serial.begin(115200);
10
11     // Ініціалізація об'єкта DS3231
12     rtc.begin();
13 }
14
15 void loop()
16 {
17     // Відправлення дня тижня
18     Serial.print(rtc.getDOWStr());
19     Serial.print(" ");
20
21     // Відправлення дати
22     Serial.print(rtc.getDateStr());
23     Serial.print(" -- ");
24
25     // Відправлення часу
26     Serial.println(rtc.getTimeStr());
27
28     // Затримка на одну секунду перед повторенням
29     delay (1000);
30 }
```

Рисунок 3.3 – Лістинг типового алгоритму роботи датчика часу DS3231

Даний код показує принцип роботи з годинником реального часу DS3231. Підключивши бібліотеку для роботи з DS3231 та створивши об'єкт `rtc`, ми ініціалізуємо послідовний зв'язок зі швидкістю 115200 біт/с і встановлюємо з'єднання з годинником у методі `setup`. Все, що залишається, це в основному методі `loop` зчитувати і виводити день тижня, дату та час через послідовний порт кожну секунду, використовуючи функції бібліотеки DS3231.

```

1 #include <PZEM004Tv30.h>
2 #include <SoftwareSerial.h>
3
4 SoftwareSerial pzemSWSerial(1, 0); // Оголошення об'єкту SoftwareSerial для зв'язку з PZEM004Tv30
5 PZEM004Tv30 pzem; // Оголошення об'єкту PZEM004Tv30
6
7 void setup() {
8   Serial.begin(115200); // Ініціалізація послідовного з'єднання з швидкістю 115200 бод
9
10  pzem = PZEM004Tv30(pzemSWSerial); // Ініціалізація об'єкту PZEM004Tv30 з використанням SoftwareSerial
11 }
12
13 void loop() {
14
15   float allData[6];
16
17   GetAllData(allData); // Отримання всіх даних з сенсора
18 }
19
20 void GetAllData(float allData[]) {
21   allData[0] = GetVoltage(); // Отримання напруги
22   allData[1] = GetCurrent(); // Отримання струму
23   allData[2] = GetPower(); // Отримання потужності
24   allData[3] = GetEnergy(); // Отримання енергії
25   allData[4] = GetFrequency(); // Отримання частоти
26   allData[5] = GetPzem(); // Отримання фактора потужності
27 }
28
29 float GetVoltage() {
30   return pzem.voltage(); // Отримання значення напруги з сенсора PZEM004Tv30
31 }
32
33 float GetCurrent() {
34   return pzem.current(); // Отримання значення струму з сенсора PZEM004Tv30
35 }
36
37 float GetPower() {
38   return pzem.power(); // Отримання значення потужності з сенсора PZEM004Tv30
39 }
40
41 float GetEnergy() {
42   return pzem.energy(); // Отримання значення енергії з сенсора PZEM004Tv30
43 }
44
45 float GetFrequency() {
46   return pzem.frequency(); // Отримання значення частоти з сенсора PZEM004Tv30
47 }
48
49 float GetPzem() {
50   return pzem.pf(); // Отримання значення фактора потужності з сенсора PZEM004Tv30
51 }

```

Рисунок 3.4 – Лістинг типового алгоритму роботи датчика PZEM-004T

Цей код демонструє принцип роботи з енергомонітором PZEM004T, що використовується для вимірювання різних електричних параметрів. Створюючи об'єкти для послідовного зв'язку та самого сенсора, ми ініціалізуємо зв'язок у методі `setup` і викликаємо функцію `GetAllData` у методі `loop`, щоб отримувати різні параметри електричної мережі.

Спочатку підключаються бібліотеки PZEM004T та SoftwareSerial. Далі оголошується об'єкт SoftwareSerial для зв'язку з PZEM004T через визначені пін-коди та створюється об'єкт PZEM004T для роботи з сенсором.



У методі `setup` ініціалізується послідовний зв'язок зі швидкістю 115200 біт/с та встановлюється зв'язок із сенсором PZEM004T, використовуючи об'єкт `SoftwareSerial`.

У методі `loop` створюється масив для зберігання всіх параметрів, які будуть зчитані з сенсора. Викликається функція `GetAllData`, яка зчитує та зберігає в масиві всі необхідні дані: напругу, струм, потужність, енергію, частоту та коефіцієнт потужності.

Функція `GetAllData` викликає окремі функції для отримання кожного з параметрів. Кожна з цих функцій взаємодіє з об'єктом PZEM004T для зчитування відповідного значення з сенсора.

```

1 #define ELECTRICITY_SENSOR A0
2
3 float amplitude_current;
4 float effective_value;
5
6 void setup()
7 {
8   Serial.begin(9600); // Ініціалізація послідовного з'єднання для налагодження
9   pins_init(); // Ініціалізація пінів
10 }
11
12 void loop()
13 {
14   int sensor_max;
15   sensor_max = getMaxSensorValueWithinTimeLimit(); // Отримання максимального значення сенсора протягом певного часу
16   Serial.print("Максимальне значення сенсора = ");
17   Serial.println(sensor_max);
18   // Розрахунок амплітуди та ефективного значення струму
19   amplitude_current = (float)sensor_max / 1024 * 5 / 200 * 1000000;
20   effective_value = amplitude_current / 1.414;
21   // Виведення результатів
22   Serial.println("Амплітуда струму (в мА):");
23   Serial.println(amplitude_current, 1); // Тільки одна цифра після десяткової коми
24   Serial.println("Ефективне значення струму (в мА):");
25   Serial.println(effective_value, 1);
26 }
27
28 void pins_init()
29 {
30   pinMode(ELECTRICITY_SENSOR, INPUT); // Ініціалізація піна сенсора
31 }
32
33 int getMaxSensorValueWithinTimeLimit()
34 {
35   int sensorValue; // Значення, прочитане з сенсора
36   int sensorMax = 0;
37   uint32_t start_time = millis();
38   while ((millis() - start_time) < 1000) // Вибірка протягом 1000 мс
39   {
40     sensorValue = analogRead(ELECTRICITY_SENSOR);
41     if (sensorValue > sensorMax)
42     {
43       /* Запам'ятовуємо максимальне значення сенсора */
44       sensorMax = sensorValue;
45     }
46   }
47   return sensorMax; // Повертаємо максимальне значення сенсора
48 }

```

Рисунок 3.5 – Лістинг типового алгоритму роботи аналогового датчика змінного струму

На лістингу вище бачимо код для вимірювання амплітуди та ефективного значення струму. Він включає в себе ініціалізацію сенсора, зчитування даних з нього та обробку отриманих значень.

Оголошення макросу `#define ELECTRICITY_SENSOR A0` визначає пін для підключення електричного сенсора. Змінні `amplitude_current` та `effective_value` використовуються для зберігання розрахованих значень струму.

У функції `setup` ініціалізується послідовний зв'язок зі швидкістю 9600 біт/с для налагодження та викликається функція `pins_init`, яка налаштовує пін сенсора як вхідний.

У функції `loop`, яка виконується в нескінченному циклі, викликається функція `getMaxSensorValueWithinTimeLimit`, щоб отримати максимальне значення сенсора за 1 секунду. Далі розраховується амплітуда струму та ефективне значення струму на основі отриманого максимального значення. Отримані значення виводяться на послідовний порт для налагодження.

Функція `pins_init` налаштовує пін, до якого підключений сенсор, як вхідний.

Функція `getMaxSensorValueWithinTimeLimit` зчитує значення з сенсора протягом 1 секунди (1000 мс), визначає та зберігає максимальне значення, отримане за цей період, і повертає це максимальне значення для подальшої обробки.

Таким чином, цей код зчитує максимальне значення струму з електричного сенсора за визначений період, розраховує амплітуду та ефективне значення струму, і виводить результати на послідовний порт.

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів діючих у робочій зоні

Автоматизація теплової помпи є важливою технологією для підвищення енергоефективності та зниження витрат на опалення. Проте робота з такими системами пов'язана з рядом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть вплинути на здоров'я та безпеку працівників. У даній роботі розглянемо основні фактори, які можуть виникати в робочій зоні під час автоматизації теплової помпи.

Небезпечні фактори:

- Електричний струм:

- Ураження електричним струмом: У процесі роботи з тепловою помпою виникає ризик ураження електричним струмом через несправні проводи, пошкоджені ізоляції або неправильне підключення електричних компонентів.

- Електрична дуга: При несправності електрообладнання або неправильної експлуатації може виникнути електрична дуга, що може призвести до серйозних опіків і пожежі.

- Механічні ризики:

- Травми через рухомі частини: Робота з механічними частинами теплової помпи, такими як компресор або вентилятори, може призвести до травм через випадкове потрапляння кінцівок або інструментів у рухомі механізми.

– Падіння важких предметів: Монтаж та обслуговування теплових pomp може включати переміщення важких компонентів, що створює ризик падіння та травмування працівників.

- Термічні фактори:

– Опіки: Теплова помпа працює з високими температурами, що може спричинити опіки під час контакту з гарячими поверхнями або рідинами.

– Температурні перепади: Різкі зміни температури можуть призвести до термічного шоку, що негативно впливає на обладнання та може спричинити його несправність.

- Хімічні ризики:

– Токсичні речовини: У разі витoku холодоагенту або інших хімічних речовин, використовуваних у тепловій pompі, можуть виникати отруєння або алергічні реакції у працівників.

– Корозійні матеріали: Використання корозійних рідин або реагентів може спричинити пошкодження обладнання та хімічні опіки.

- Шкідливі фактори:

- Шум:

– Постійний шум від роботи обладнання: Теплова помпа та супутнє обладнання можуть створювати постійний шум, який негативно впливає на слух працівників та може спричинити стресові стани.

– Вібрації: Вібрації від роботи компресора або насосів можуть викликати м'язове напруження та загальне погіршення самопочуття.

- Висока температура та вологість:

– Теплове навантаження: Робота в умовах підвищеної температури може призвести до теплового стресу, перегріву та зневоднення працівників.

– Висока вологість: Підвищена вологість може сприяти розвитку цвілі та грибка, що негативно впливає на здоров'я працівників та стан обладнання.

- Мікрокліматичні умови:

– Недостатня вентиляція: Неправильна вентиляція може призвести до накопичення шкідливих речовин у робочій зоні, що негативно впливає на здоров'я працівників.

- Погане освітлення: Недостатнє освітлення робочої зони може спричинити підвищений ризик нещасних випадків та зниження продуктивності праці.

#### **4.2 Технічні та організаційні заходи по зменшенню рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

Зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів є критично важливим завданням для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, особливо при автоматизації теплових pomp. Для досягнення цієї мети необхідно впроваджувати як технічні, так і організаційні заходи, що сприятимуть покращенню умов праці та зменшенню ризиків.

Одним з основних технічних заходів є забезпечення безпеки електричних систем, зокрема, використання високоякісних ізоляційних матеріалів для запобігання ураженню електричним струмом. Встановлення автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення допоможе запобігти коротким замиканням та перевантаженням. Важливим є зменшення шуму та вібрацій від роботи обладнання. Використання віброізоляційних матеріалів та амортизаторів, а також встановлення шумопоглинаючих панелей сприятимуть зниженню рівня вібрацій і шуму.

Контроль температури та вологості є необхідним для підтримання оптимальних умов у робочій зоні. Встановлення ефективних систем вентиляції та кондиціонування дозволить забезпечити комфортні мікрокліматичні умови, а використання теплоізоляційних матеріалів зменшить вплив високих температур. Для забезпечення безпеки роботи з хімічними речовинами слід

використовувати закриті системи для роботи з холодоагентами та іншими хімічними речовинами, а також встановити місцеві витяжні системи для видалення шкідливих речовин з робочої зони.

Покращення освітлення робочих місць досягається шляхом встановлення систем освітлення відповідно до нормативних вимог та використання антивідблискових екранів, що зменшать втомлюваність очей. Організаційні заходи включають регулярне навчання та інструктажі працівників з охорони праці та техніки безпеки. Проведення інструктажів з безпечної експлуатації обладнання та дій у разі аварійних ситуацій допоможе зменшити ризики нещасних випадків.

Розробка та впровадження стандартних операційних процедур (СОП) для виконання робіт з високим рівнем безпеки та аварійних планів для швидкого реагування на нештатні ситуації є важливим кроком у забезпеченні безпеки. Працівникам необхідно забезпечити засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), такими як захисні окуляри, рукавички, каски, навушники, та регулярно контролювати їх використання.

Моніторинг та контроль умов праці включає регулярні перевірки стану робочих місць та дотримання вимог охорони праці, а також встановлення систем моніторингу параметрів мікроклімату, рівня шуму та освітленості. Рациональне планування робочого часу з урахуванням необхідності перерв для відпочинку та відновлення сил допоможе зменшити навантаження на працівників. Забезпечення психологічної підтримки, включаючи можливість звернення до психолога або проведення антистресових тренінгів, сприятиме покращенню загального психоемоційного стану працівників.

Впровадження комплексних технічних та організаційних заходів є необхідним для забезпечення безпечних та здорових умов праці при автоматизації теплової помпи. Використання сучасних технологій, регулярне навчання працівників та дотримання вимог охорони праці допоможуть зменшити вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів, забезпечуючи ефективну та безпечну роботу системи.

### 4.3 Інструкція з охорони праці при обслуговуванні теплового насосу

#### Загальні положення

- Мета і завдання:
  - Забезпечення безпеки працівників при обслуговуванні теплового насосу.
  - Запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням.
- Область застосування:
  - Інструкція поширюється на всіх працівників, які займаються обслуговуванням і ремонтом теплових насосів.
- Вимоги до працівників:
  - Працівники повинні мати відповідну кваліфікацію, пройти навчання та інструктаж з охорони праці.
  - Працівники повинні знати будову теплового насосу, принцип його роботи і можливі небезпеки.

#### Перед початком роботи

1. Підготовка робочого місця:
  - Перевірити наявність і справність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): захисних окулярів, рукавичок, спецодягу, каски, захисних навушників.
  - Оглянути робоче місце на наявність небезпечних факторів (несправне обладнання, розлита рідина, загромаджені проходи).
2. Перевірка обладнання:
  - Переконалися у відсутності видимих пошкоджень обладнання і системи трубопроводів.
  - Перевірити справність електричних з'єднань, ізоляції проводів, стану заземлення.
  - Упевнитися, що всі вимикачі та регулятори знаходяться у вимкненому стані перед початком роботи.

### 3. Документація і дозвіл на роботу:

- Ознайомитися з інструкцією з експлуатації теплового насосу та іншою технічною документацією.

- Отримати дозвіл на виконання робіт від відповідальної особи.

#### Під час роботи

### 1. Використання ЗІЗ:

- Використовувати засоби індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт.

- Уникати контактів з гарячими поверхнями та рухомими частинами обладнання.

### 2. Робота з електричними компонентами:

- Виконувати роботи з електричними компонентами тільки після їх відключення від мережі живлення.

- Не торкатися оголених проводів та контактів, навіть якщо вони здаються знеструмленими.

### 3. Робота з хімічними речовинами:

- Використовувати тільки ті хімічні речовини, що передбачені технічною документацією.

- Дотримуватися правил зберігання і використання хімічних речовин, уникати їх контакту з шкірою і очима.

### 4. Монтаж та демонтаж обладнання:

- Виконувати монтажні та демонтажні роботи відповідно до інструкцій з експлуатації.

- Використовувати відповідні інструменти та обладнання для запобігання пошкодженню системи.

### 5. Контроль параметрів:

- Під час роботи контролювати основні параметри (тиск, температура, струм).



- При виявленні відхилень від нормальних параметрів негайно припинити роботу та повідомити відповідальну особу.

Після завершення роботи

1. Вимкнення обладнання:

- Після завершення роботи вимкнути тепловий насос і інші електричні пристрої.

- Переконавшись, що всі регулятори та вимикачі знаходяться у вимкненому стані.

2. Очищення та прибирання:

- Очистити робоче місце від сміття, залишків матеріалів та інструментів.

- Перевірити, чи немає витоків рідин або газів.

3. Огляд і зберігання інструментів:

- Оглянути інструменти та обладнання на предмет пошкоджень.
- Розмістити інструменти у відведених місцях для зберігання.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці системи автоматизації та віддаленого керування тепловою помпою.

Встановлено, що основними параметрами, що дозволяють контролювати режими роботи об'єкта є температура теплоносія у різних точках контуру, питома витрата теплоносія та параметри електроспоживання у системі. Для вибору апаратних засобів реалізації проєкту автоматизації визначено межі та режими зміни контрольованих параметрів. Встановлено, що більшість параметрів системи мають незначну динаміку зміни, що спрощує вимоги до апаратної бази.

Для здешевлення робіт та спрощення структури системи використано мікроконтролер Arduino Mega. Використання цієї плати дозволяє підключити усі 8 датчиків температури 4 витратоміри та датчики контролю параметрів електромережі. Показано, що розподіл програмного коду на окремі функції та уніфікація датчиків сприяють масштабованості розробленої системи.

Основні функції автоматизації покладено на мікроконтролер, втім для оптимізації процесу регулювання температури у приміщення запропоновано використати апаратний метод ПД-регуляції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-1>
2. <https://arduino.ua/>
3. "Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі" - Бурячок Т.О., Буцьо З.Ю., Варламов Г.Б., Дубовської С.В., Жовтянський В.А., Казанський С.В., Кудря С.О. Київ, 2024
4. "Теплові насоси: принцип дії, розрахунки, проектування" - Черненко А.В., Тернавський О.О., Міненко В.М. Київ: Каравела
5. "Arduino для початківців. Прості проекти" - Мікола Лавриненко. Київ: Національний технічний університет України "КПІ", 2017
6. "Огляд сенсора теплообмінника Sea YF-DN32 для Arduino" - Блог "Електроніка та робототехніка" ([arduino.ua](http://arduino.ua))
7. "Системи автоматизації: Теорія та практика" – Іванченко В.М., Пилипенко А.Г.
8. "Programming Arduino: Getting Started with Sketches" – Simon Monk
9. "Теплові насоси. Теорія та практика" – Борисов А.С., Ткаченко В.П. Харків: ХНАДУ, 2020
10. "Енергоефективні технології в промисловості та житлово-комунальному господарстві" – Ковальчук Ю.М., Соколов В.О. Львів: ЛНУ, 2019
11. "Практика роботи з Arduino. Датчики та модулі" – Євген Кушніренко. Київ: Ліра-К, 2018
12. "Основи автоматизації теплових процесів" – Гончарук В.О., Степанов О.П. Одеса: ОНУ, 2017
13. "Інтернет речей: Вступ до програмування та апаратури" – Девід Хансон. Переклад українською, Харків: Фактор, 2021

14. "Розробка інтелектуальних систем керування на базі Arduino" – Олександр Смирнов. Вінниця: ВНТУ, 2020
15. "Мікроконтролери AVR. Програмування та застосування" – Володимир Кравець. Тернопіль: ТНТУ, 2016
16. "Енергоефективні рішення для будинків з використанням теплових насосів" – Степаненко В.М., Мельник О.І. Київ: Політехніка, 2018.
17. Підкоритов М. І Програмовані логічні контролери та їх застосування. навч. посіб. Київ: Просвіта, 2010. 256 с.
18. Дудка С. І. Системи автоматичного керування теплотехнічними процесами: навч. посіб. Київ: Талком, 2017. 300с.
19. Іванов А. П., Кириленко Ю. І. Технології використання відновлюваних джерел енергії: навч. посіб. Київ: Талком, 2019. 280 с.
20. Основи охорони праці : підручник / О. І. Запорожець та ін. 2-ге вид. Київ : ЦУЛ, 2016. 264 с.
21. Vasykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017). Vienna, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
22. Безродний М.К. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
23. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. Київ: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. 192 с.