

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – перший "бакалаврський" рівень

на тему: **„РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ТЕПЛОПОМПОВОЇ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО БУДИНКУ”**

Виконав: студент 4 курсу групи Акт-22сп
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
Павлюкович Остап Васильович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Пташник В. В.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

“ ____ ” _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Павлюковичу Остапу Васильовичу

1. Тема роботи: „РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ТЕПЛОПОМПОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ”

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література.
Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Характеристика об'єкта проектування.

4.2. Практична побудова системи автоматизації тепломпдової установки.

4.3. Проектування системи автоматизації тепломпдової установки.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстративний матеріал у формі презентації

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І.М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Характеристика об'єкта проектування	10.01.2023 – 31.01.2023	
2	Практична побудова системи автоматизації теплопомпової установки	1.02.2023 – 10.04.2023	
3	Проектування системи автоматизації теплопомпової установки	11.04.2023 – 31.05.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.06.2023 – 10.06.2023	
5	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.06.2023 – 16.06.2023	
6	Завершення роботи в цілому. Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	17.06.2023 – 30.06.2023	

Студент _____ Павлюкович О. В.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
(підпис)

УДК 681.52

Кваліфікаційна робота: 46 сторінок текстової частини, 2 таблиці, 25 рисунків, 20 літературних джерел.

«Розробка автоматизованої системи керування енергетичними потоками теплопомпової установки для енергоощадного тепlopостачання приватного будинку». Павлюкович О. В. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2023 р.

У першому розділі здійснено огляд систем тепlopостачання житлових об'єктів, проаналізовано види і типи теплових pomp цих систем, а також обґрунтовано структурну схему системи тепlopостачання з використанням теплової помпи.

У другому розділі обґрунтовано доцільність застосування системи керування енергетичними потоками теплопомпової установки, проаналізовано види систем керування та засобів, за допомогою яких це може бути реалізовано.

У третьому розділі роботи здійснено проектування системи автоматизації теплової помпи з використанням мікропроцесорної системи платформи Arduino, вибрано основні та допоміжні електронні компоненти, розроблено схемні та програмні рішення, проаналізовано вартісну складову реалізації системи автоматики.

Четвертий розділ містить інформацію щодо охорони праці під час проектування та експлуатації систем автоматизації енергетичних установок.

В роботі використано наукову, навчальну та науково-технічну літературу, а також on-line публікації присвячені системам керування енергетичними установками.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ,
МІКРОКОНТРОЛЕР, ARDUINO.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	8
1.1 Огляд систем теплопостачання житлових будівель	8
1.2 Види і типи теплових pomp для теплопостачання житлових будівель	9
1.3 Обґрунтування структурної схеми системи теплопостачання житлової будівлі з використанням теплової помпи	12
2 ПРАКТИЧНА ПОБУДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОПОМПОВОЇ УСТАНОВКИ	14
2.1 Обґрунтування доцільності керування енергетичними потоками теплової помпи	14
2.2 Аналіз та вибір системи управління	16
2.3 Мікроконтролери сімейства Arduino	17
2.4 Проектні завдання системи автоматизації теплопомпової установки	21
3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОПОМПОВОЇ УСТАНОВКИ	24
3.1 Розробка алгоритму системи керування енергетичними потоками теплової помпи	24
3.2 Вибір датчиків та додаткових пристроїв	29
3.3 Узагальнені схемотехнічні та програмні рішення	33
3.4 Економічна ефективність прийнятих рішень	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
4.1 Аналіз умов праці під час монтажу, обслуговуванні та експлуатації засобів автоматизації систем теплопостачання	39

4.2 Розробка заходів зменшення травматизму під час монтажу, обслуговуванні та експлуатації засобів автоматизації систем теплопостачання	40
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	41
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

Якісний комфорт у житлових об'єктах є першочерговою задачею інженерної служби, яка вирішується застосуванням спеціалізованих технічних засобів, що формують систему енергозабезпечення. Вона може бути побудована на базі засобів, що використовують традиційні енергетичні ресурси – газові, вугільні котли тощо, або ж на базі інноваційних технологій раціонального використання природних енергетичних джерел – тепла навколишнього середовища. Такими засобами є теплові помпи, які можуть вирішити низку технологічних завдань: опалення, гаряче водопостачання та кондиціонування.

Як і будь-які інші технічні засоби, теплові помпи потребують системи керування, особливо, коли такі системи можуть підвищити ефективність їх експлуатації. Тому тематика розробки, а також удосконалення систем керування режимами роботи теплових pomp є доволі актуальною.

Завданням в даній роботі є проаналізувати особливості побудови енергетичних систем на базі теплових pomp, виявити можливості підвищення їх ефективності, а також розробити систему автоматизації, яка це забезпечить. Таким чином, в роботі розглянуто питання організації такого режиму роботи теплової помпи, який дозволить підвищити ефективність за рахунок ощадного використання головного силового агрегату – компресора теплової помпи. Енергоощадність повинна бути досягнута за рахунок запровадження пасивного режиму кондиціонування, що суттєво знизить витрату електроенергії, а також забезпечить необхідний комфорт у приміщенні житлового об'єкта.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Огляд систем теплопостачання житлових будівель

Системи енергозабезпечення житлових та промислових об'єктів містять принаймні дві складові: систему теплопостачання і систему електропостачання. Зважаючи на відсотковий розподіл енергії, які витрачаються кожною із систем, то теплопостачання повинне бути організоване максимально ощадно, оскільки тут споживається близько 80% всієї енергії [19].

Теплопостачання будинку – важлива складова забезпечення мікроклімату, яка забезпечує необхідний комфорт для мешканців.

Система опалення містить декілька компонентів які забезпечують необхідне виконання подачі тепла до помешкання, зокрема це теплогенератор, розподільчі трубопроводи та системи розподілу тепла – радіатори. Система теплопостачання традиційно реалізовувалась із застосуванням теплогенераторів, паливом для яких є природний газ, рідше, вугілля та пічне паливо, деревина тощо.

Залежно від типу теплоносія, яке використовуються в системі опалення вона поділяється на водяне та повітряне опалення. Для водяного опалення необхідно мати теплогенератор, трубопроводи розподілу тепла в приміщення та радіатори для віддачі тепла всередині помешкання. Повітряна система містить теплогенератор та системи трубопроводів для розподілу тепла по приміщеннях житлового будинку.

Найширше застосовуються конвективний спосіб розподілу тепла, який полягає у перенесення теплоти в приміщенні за рахунок переміщення повітря від нагрітих радіаторів. Рідше використовується радіаційний спосіб опалення,

який також називають опаленням за рахунок теплового випромінювання. В даному випадку відбувається обігрів приміщень за рахунок довгохвильових електромагнітних хвиль.

Всі перелічені типи систем опалення характеризується достатньою ефективністю надійністю і довговічністю. Однак єдиною спільною рисою у них є використання традиційних, невідновлюваних енергетичних ресурсів, кількість яких щороку зменшується. Тому необхідно переходити на більш енергоефективні рішення, яким може бути використання теплових pomp.

Їх застосування може істотно вплинути на баланс використання енергетичних ресурсів, зокрема, електричної енергії. Крім того, за рахунок використання теплових pomp можна раціоналізувати ефективність використання енергетичних ресурсів за рахунок більш збалансованого їх використання. Слід також пам'ятати, що теплові помпи є таким видом енергетичного обладнання, яке задовольняє потреби житлового об'єкта не лише в тепловій енергії для опалення та гарячого водопостачання, а й у холоді для системи кондиціонування. Тобто, це найбільш універсальний тепло-холодильний агрегат, який може виконати всі завдання щодо забезпечення мікроклімату в будівлі.

1.2 Види і типи теплових pomp для теплопостачання житлових будівель

Як було зазначено теплові помпи можуть бути у різному технологічному виконанні залежно від призначення та функціональної структури. Зокрема, основним класифікаційним поділом теплових pomp є призначення. Тобто, вони поділяються на агрегати, які призначені для опалення, гарячого водопостачання, вентиляування та охолодження (кондиціонування). Дану

класифікацію теплових pomp наведено на прикладі австрійської фірми Ochsner, яка виготовляє їх починаючи з 1992 року [6, 11]. Наступною класифікаційною ознакою, яка визначає можливості застосування теплових pomp в житловому секторі є їх теплова потужність (рис. 1.1).

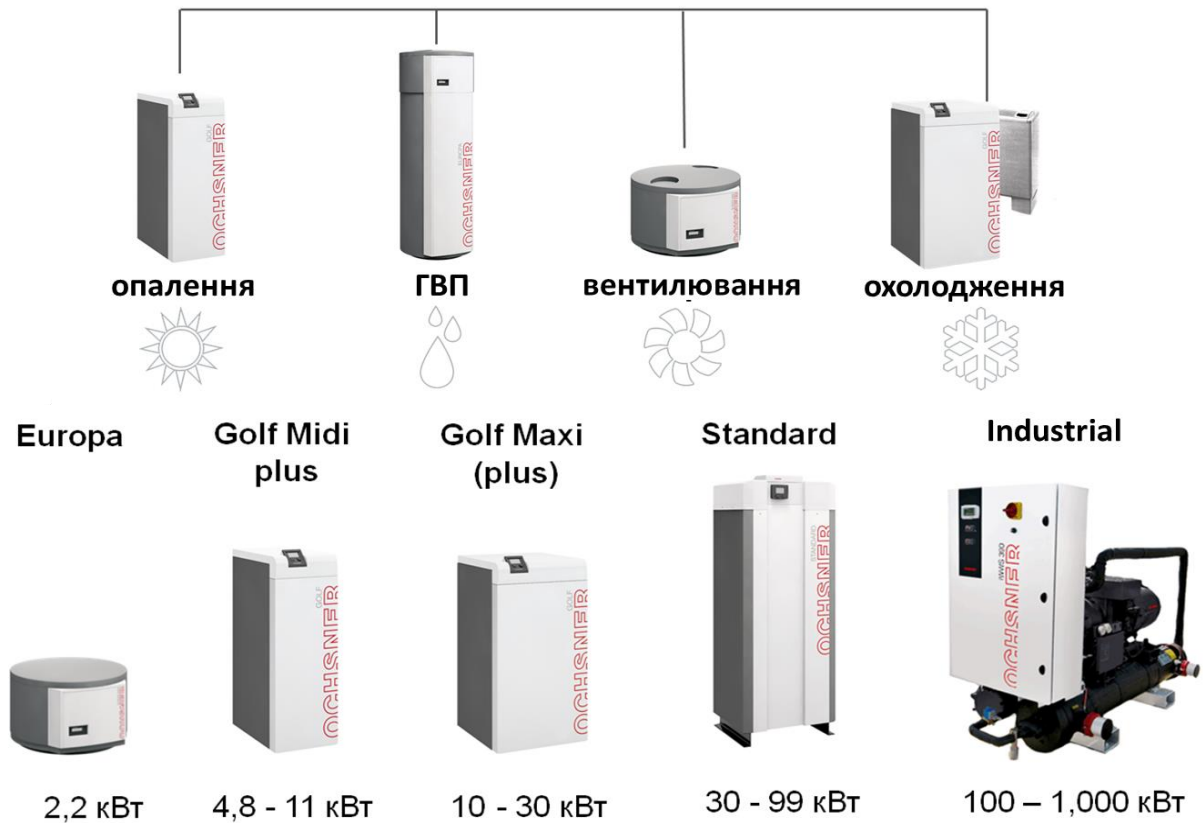


Рисунок 1.1 – Типи теплових pomp за призначенням та тепловою потужністю

Зважаючи на специфіку теплових pomp, які використовують теплоту навколишнього середовища, і у чому є їх основна функціональна особливість, структурним поділом їх можна класифікувати на ґрунтові, водяні та повітряні агрегати. Тобто, це будуть агрегати типу "ґрунт-вода", "вода-вода" і "повітря-вода". Таким чином цей поділ здійснений за видом первинного джерела теплоти, який є визначальним для функціонування теплової помпи, і який формує його структурну будову.

На рис. 1.2, подано схематичні приклади видів теплових pomp, які набули найбільшого поширення, і які є придатними для використання у житлово-побутовій сфері.



Рисунок 1.2 – Схеми теплопомпових установок [6, 11]:

а – з горизонтальним ґрунтовим теплообмінником; б – з водяними колодзями;
в – з повітряним теплообмінником

Одними із найбільш поширених теплових pomp є агрегати з ґрунтовими теплообмінниками (рис. 1.2, а), які можуть бути як з горизонтальними (колектори), так і з вертикальними (зонди) теплообмінниками. Більш ефективними є установки з вертикальними зондами, які менш залежні від сезонної зміни температури ґрунту. Їх влаштовують за територіальної обмеженості, або для гарантованого тепло забезпечення об'єктів. У випадку відсутності територіальних обмежень влаштовують теплові помпи з горизонтальними ґрунтовими колекторами різних типів. До того ж ці установки є дещо дешевшими в монтажі, що також має важливе значення.

Найбільш ефективними тепловими помпами є такі, які використовують як первинний ресурс воду з підземних джерел. Це установки типу "вода-вода" (рис. 1.2, б). Також як первинне джерело енергії підходять зовнішні водойми.

І найменш ефективними з енергетичної точки зору, але найпростішими в монтажі та структурі є теплові помпи повітряного типу (рис. 1.2, в). Такі агрегати менш ефективні через експлуатацію в усьому діапазоні температур в регіоні їх використання, аж до температури повітря $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Більш прийнятним варіантом для теплопостачання житлових об'єктів є, звичайно, теплові помпи ґрунтового типу. Причому не надто важливим є тип ґрунтового теплообмінника, який може бути як вертикальним, так і горизонтальним.

1.3 Обґрунтування структурної схеми системи теплопостачання житлової будівлі з використанням теплової помпи

Для систем теплопостачання житлових об'єктів найбільш доцільно використовувати ґрунтові теплові помпи, або теплові помпи типу «ґрунт-вода», які маю одні із найвищих енергетичні характеристики. Зокрема, це параметр коефіцієнта перетворення, який може сягати шести. Щоправда, це може бути досягнуто в помпах з вертикальними зондами, які характеризуються найбільш стабільним режимом роботи. Таким чином, слід звернути увагу на саме цей тип агрегату.

Зважаючи на розширення виробничого функціоналу слід запроектувати теплову помпу, яка б забезпечила нагрів теплоносія для потреб системи опалення, гарячого водопостачання, а також охолодження теплоносія для системи кондиціювання. Зважаючи на можливу спільну потребу у гарячій воді та в технологічному холоді, систему гарячого водопостачання та опаленні і кондиціювання слід розділити на рівні агрегатів. Тобто, для потреб системи гарячого водопостачання буде використано свій тепловий акумулятор, а для систем опалення та кондиціювання – свій. Таким чином, теплопомпова установка енергозабезпечення житлового об'єкта може бути побудована за схемою, яка подана на рис. 1.3.

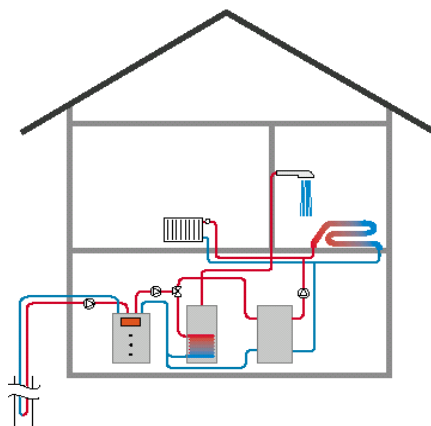


Рисунок 1.3 – Схема теплової помпи для енергозабезпечення житлового об'єкта з розділеними енергетичними потоками

Як видно з рис. 1.3, для гарячого водопостачання застосовано власний бак-акумулятор з внутрішнім теплообмінником, який дозволяє отримати тепло від теплової помпи. Система опалення та кондиціювання також отримує тепло та холод від теплової помпи на тому ж виході, але з розділенням потоків через застосування триходового вентиля. В такому випадку, можливий наступний сценарій роботи установки залежно від сезону та технологічної потреби.

В зимовий період, коли потрібно гарячу воду та опалення, тепла помпа генерує достатній обсяг тепла, який по чергові подається до двох баків. При цьому, до бака-акумулятора системи гарячого водопостачання тепло подається в першу чергу. Теплова помпа в такому випадку працює тільки на вироблення тепла.

В літній період, коли потрібно гарячу воду та холод, тепла помпа генерує достатній обсяг тепла для системи гарячого водопостачання і працює в цьому випадку на генерування тепла. Після нагріву бака-акумулятора гарячого водопостачання тепла помпа переходить в режим генерування холоду. При цьому триходовий вентиль перемикає вихідний контур теплової помпи на бак-акумулятор системи кондиціювання.

Однією із особливостей застосування ґрунтових теплообмінників у теплових помпах, за умови вмикання режиму охолодження, є те, що в такому випадку, за рахунок внутрішніх перемикачів відбувається зміна напрямку теплового потоку. Тобто, зазвичай при роботі на вироблення тепла ґрунтові теплообмінники охолоджують ґрунт, а у випадку режиму роботи на холод, навпаки, подають до них тепло. В такому випадку забезпечується прискорений варіант теплової регенерації ґрунту, що підвищує ефективність функціонування теплової помпи. Причому, цей режим регенерації може бути як активним (із використанням електричної енергії на привід компресора), так і пасивним (без роботи компресора теплової помпи). Однак для цього слід застосувати додаткові триходові вентиля комутації енергетичних потоків. А також розробити системи керування ними.

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНА ПОБУДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОПОМПОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Обґрунтування доцільності керування енергетичними потоками теплової помпи

Зважаючи на загальну структуру теплопомпової системи енергозабезпечення житлового будинку головним об'єктом дослідження є власне тепла помпа, яка забезпечуватиме генерування теплової енергії для потреб системи гарячого водопостачання та опалення, а також генерування холоду для системи кондиціонування. Як було вказано раніше, для стабільної та ефективної роботи теплової помпи доцільно застосовувати ґрунтовий тип, який може бути обладнаний або горизонтальними, або вертикальними ґрунтовими теплообмінниками. В такому випадку, можна уникнути прямої залежності ефективності роботи теплової помпи від температури навколишнього середовища. Одним із впливових параметрів буде сезонна зміна температури ґрунту, яка може бути регульована через оптимальне навантаження на ґрунтові колектори, а також застосуванням системи регенерації тепла. Тому, в керуванні режимами роботи теплової помпи повинна бути присутня система керування енергетичними потоками, яка забезпечуватиме необхідну комутацію приєднання ґрунтових колекторів до теплової помпи.

З іншого боку, структура теплової помпи передбачає окреме приготування гарячої води та тепла для опалення. Тому, при керуванні енергетичними потоками повинна бути комутація вихідних ліній для почергового приєднання до теплової помпи бака-акумулятора системи гарячого водопостачання та бака-акумулятора тепла та холоду.

Застосування такої системи керування енергетичними потоками дозволить реалізувати наступні завдання: нормальне приєднання ґрунтових теплообмінників до вхідних ліній теплової помпи у зимовий період в режимі нагріву гарячої води та теплоносія системи опалення; реверсивне приєднання ґрунтових теплообмінників до вхідних ліній теплової помпи у літній період в режимі нагріву гарячої води та охолодження теплоносія системи кондиціювання, причому забезпечуватиметься регенерація тепла в ґрунті за рахунок подачі до ґрунтових теплообмінників скидного тепла від системи кондиціювання; почергове приєднання вихідних ліній теплової помпи до відповідних баків-акумуляторів в режимі нагріву гарячої води та нагріву теплоносія системи опалення, з пріоритетним ввімкненням бака-акумулятора системи гарячого водопостачання.

Такого типу система керування енергетичними потоками дозволить реалізувати різні режими роботи теплової помпи для забезпечення теплом та холодом житловий об'єкт, а також забезпечити регенерацію тепла в ґрунті. Це, в свою чергу, дозволить збільшити тривалість експлуатації теплової помпи впродовж року, забезпечить її ефективне використання за рахунок процесу регенерації, а також підвищить ефективність системи енергозабезпечення житлового об'єкта за рахунок суттєво менших витрат енергії відносно традиційних енергетичних систем. Крім того, за певних обставин, можлива ще більш ефективна роботи теплової помпи в режимі кондиціювання, який полягає у застосуванні пасивного кондиціювання. Цей режим передбачає застосування байпасної лінії зв'язку системи розподілу тепла та холоду в будинку із ґрунтовими теплообмінниками без примусового охолодження холодоносія тепловою помпою. Тобто, відбуватиметься лише охолодження холодоносія за рахунок його циркуляції в системі розподілу холоду, де він буде нагріватися і в системі ґрунтових теплообмінників, де він буде віддавати тепло ґрунту, і тим самим забезпечувати менш ефективну, але низько затратну регенерацію тепла в ґрунті.

2.2 Аналіз та вибір системи управління

Загалом, запропонована система управління енергетичними потоками може бути реалізована на рівні мікроконтролера теплової помпи. Однак для цього, він повинен бути запрограмований таким чином, щоб мати можливість в перспективі приєднати до нього первинні датчики та виконавчі пристрої для організації зміни напрямку енергетичних потоків. Зважаючи на те, що існує велика різноманітність виконавчих механізмів, які керуються різним способом, а також первинні перетворювачі, які також можуть мати різну архітектуру, то передбачити такий варіант до оснащення теплової помпи є дещо утопічним. Крім того, не завжди вдається реалізувати саме такий алгоритм, який буде закладений в нашій системі керування. Тому, очевидно доцільно застосувати зовнішній пристрій керування енергетичними потоками, який може бути також реалізований на різній елементній базі, виходячи із фінансових можливостей користувача.

В промислових системах управління зазвичай використовують спеціалізовані мікроконтролери, які оснащуються спеціалізованою периферією для забезпечення необхідної кількості цифрових та аналогових входів, залежно від типів первинних датчиків, а також цифрових та аналогових виходів, залежно від типу виконавчих механізмів. Такого типу системи, наприклад LOGO! 24 фірми Siemens, характеризуються високою надійністю, продуктивністю, розгалуженістю входних та вихідних каналів. Однак, вони є доволі вартісними, потребують спеціалізованого програмного середовища для написання програмного коду тощо.

Тому, часто звертаються до більш доступних для широкого загалу мікроконтролерів, які можуть не значно втрачати у функціоналі, кількості входних та вихідних каналів, але характеризуються суттєво меншою вартістю з тим же функціоналом, простою та доступною системою програмування та

відлагоджування тощо. Крім того, навіть суттєво дешевші мікроконтролери мають можливість приєднуватись до персональних комп'ютерів, які містять серйозні програмні комплекси, наприклад, LabVIEW фірми National Instruments. Це дозволяє реалізувати низку додаткових функцій, які можуть бути обмеженими на рівні мікроконтролерів. Серед них є формування архіву даних поточної ситуації за даними первинних датчиків, формування спеціального алгоритму керування виконавчими механізмами, формування високоорганізованої системи візуалізації тощо.

Такими засобами можуть бути мікроконтролери сімейства Arduino, які можуть мати різноманітні варіації як за кількістю каналів вводу/виводу, так і параметрами швидкодії тощо. Головною перевагою такого типу мікроконтролерів є їх дешевизна, яка однак не заперечує добрий функціонал та швидкодію.

Таким чином, для системи керування енергетичними потоками теплової помпи доцільно використати найбільш доступний тип мікроконтролера сімейства Arduino. Однак, для остаточного вибору моделі слід провести оцінку функціональних властивостей наявної бази мікроконтролерів сімейства Arduino, визначитись із кількістю необхідних вхідних каналів первинних перетворювачів і вихідних каналів сигналів керування виконавчими механізмами, необхідною продуктивністю, підібрати відповідні вимірювально-управляючі засоби, засоби погодження вхідних та вихідних сигналів тощо.

2.3 Мікроконтролери сімейства Arduino

Arduino – це сучасне сімейство мікропроцесорних засобів, які сформовані у вигляді плати з різною кількістю каналів вводу/виводу. Програмування таких мікроконтролерів реалізоване в середовищі розробки мовою Processing.

На базі таких мікроконтролерів можна реалізувати велику кількість технічних та технологічних завдань різної складності. Мікропроцесори Arduino можуть отримувати первинну інформацію від датчиків як аналогового, так і цифрового типу. Аналогічним чином вони можуть здійснювати керування виконавчими пристроями як у режимі цифрового дискретного виводу, так і в режимі ШІМ, що дозволяє реалізувати аналоговий вихід з плавним регулюванням сигналу керування. Сімейству Arduino доступні різні види комунікативних каналів, які можуть бути як провідні, так і безпроводні. За рахунок можливості передачі даних по протоколу USB, мікроконтролери можуть паралельно отримувати від зовнішніх засобів живлення, яке також може бути автономним від акумуляторів та батарейок.

Сімейство Arduino базується на мікроконтролерах Atmel AVR, серед яких найбільш поширеними є ATmega328, ATmega168, ATmega2560, ATmega32U4, ATtiny85. Зазвичай параметри тактової частоти та обсяги пам'яті є доволі близькими, однак за кількістю каналів вводу/виводу мікроконтролери сімейства Arduino мають серйозну відмінність.

Однією із особливостей плат вводу/виводу сімейства Arduino є те, що вони містять внутрішній завантажувач, що усуває проблему застосування спеціального програматора. А застосування спеціального конвертера USB-to-Serial FT232R дозволяє безпосереднє приєднання мікроконтролерів до персонального комп'ютера портом USB.

Програмування мікроконтролерів сімейства Arduino здійснюється на мові C++ з використанням спеціального програмного середовища IDE, де також може бути організовано первинну візуалізацію робочого процесу виконання програми, або технологічного завдання. Програмне середовище IDE містить текстовий редактор, менеджер проектів, препроцесор, компілятор та інструменти для завантаження програми в мікроконтролер.

Єдиним обмеженням при програмуванні мікроконтролерів сімейства Arduino є неможливість скопіювання завантаженої програми. Вірніше така

можливість є, однак це складна та громіздка процедура, тому до неї звертаються лише у випадках читання складних та об'ємних важливих програм.

Великою зручністю використання програмного середовища IDE та різного роду первинних давачів і виконавчих пристроїв є те, що існує велика база бібліотек, що суттєво спрощує процес програмування.

Залежно від типу застосовуваного мікроконтролера та організованої кількості каналів вводу/виводу такі засоби маю різну назву. Розглянемо особливості найбільш вживаних плат сімейства.

Arduino Mega2560, Arduino Nano, Arduino Micro тощо (рис. 2.1-2.3).

Плата Arduino Uno (рис. 2.1), вважається базовою в даному сімействі, і яка має доволі хороші показники як за кількістю каналів вводу/виводу, так і за показниками тактової частоти та різних видів пам'яті.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд плати Arduino Uno

Плата Arduino Mega2560 (рис. 2.2), має напевно найбільший функціонал серед плат сімейства. Тут сконцентрована велика кількість аналогових входів-виходів, а також найбільша кількість цифрових входів-виходів, які також можуть бут переналагоджені на ШІМ-вихід.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд плати Arduino Mega2560

Плата Arduino Nano (рис. 2.3), є однією із найкомпактніших з доволі високим функціоналом. Це дозволяє використовувати її в місцях, де необхідно використати мінімум об'єму робочого простору.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд плати Arduino Nano

Для порівняльної оцінки мікроконтролерів сімейства доцільно скористатись табл. 2.1, де вміщено їх основні технічні параметри.

Таблиця 2.1 – Параметри мікроконтролерів сімейства Arduino

Параметр	Назва контролера				
	Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560	Arduino Nano	Arduino Micro
Мікроконтролер:					
тип	ATmega328	ATmega32u4	ATmega2560	ATmega328	ATmega32u4
тактова частота, МГц	16	16	16	16	16
Flash-пам'ять, кВ	32	32	256	32	32
SRAM, кВ	2	2,5	8	2	2,5
EEPROM, кВ	1	1	4	1	1
Аналогові виходи	6	12	16	8	12
Цифрові входи та виходи	14	20	54	14	20
ШИМ	6	7	15	6	7

Як видно з табл. 2.1, найкращими показниками характеризується плата Arduino Mega 2560, яка має 8 аналогових входи та 54 цифрові виходи, 15 з яких можуть бути налагоджені на ШІМ-вихід. Однак вона є й найбільш дорогою та найбільш габаритною. Щоправда слід зазначити, що габарити таких мікроконтролерів є доволі малими. Найменшим функціоналом характеризуються плати Arduino Uno та Arduino Nano, остання з яких має

суттєво менші габарити. Через це вона є доволі популярною. Також значною перевагою її над платою Arduino Uno є низька вартість. Все це зумовлює її широку використання.

Слід зазначити, що є розроблено значну кількість периферійних засобів, додаткових плат (Shield), які є або спеціалізованими та адаптованими до конкретної плати мікроконтролери, або універсальними.

2.4 Проектні завдання системи автоматизації тепломпової установки

Система автоматизації тепломпової установки житлового об'єкта повинна, по замовчуванню, працювати в автоматичному режимі. Її режим визначається потоком вхідної інформації, який формується із системи контролю параметрів та режимів роботи тепломпової установки. Також в системі автоматизації повинна бути передбачена можливість ручного коригування режиму роботи з обмеженим допуском до цієї функції.

Система автоматизації повинна в автоматичному режимі здійснювати адаптацію режимів роботи теплової помпи відповідно до її сезонного та добового циклу експлуатації.

За даними системи контролю параметрів та режимів роботи тепломпової установки повинен формуватись інформаційний потік з відповідним архівуванням результатів вимірювання контрольованих параметрів.

Параметри температури, витрати теплоносія та інші теплотехнічні величини повинні вимірюватися з частотою 0,017 Гц, тобто з періодом опитування 1 хв., а електричні параметри – з частотою 1 Гц, тобто з періодом опитування 1 сек.

Всі первинні перетворювачі повинні мати електричний вихід для можливості приєднання їх до відповідних входів мікроконтролера. Для цього вони повинні бути адаптовані за величиною допустимої вхідної напруги та струму на входах мікроконтролера.

Вихідні параметри системи автоматизації тепломпової установки повинні бути адаптовані до відповідних вхідних параметрів виконавчих пристроїв як за напругою, так і за струмом.

Всі контрольовані теплотехнічні та електричні параметри системи автоматизації повинні вимірюватися з допустимою точністю не нижче $\pm 3\%$. Для цього слід вибирати первинні перетворювачі, які відповідають умовам застосування, в тому числі й за параметром точності.

Для ефективності роботи системи автоматизації тепломпової установки слід здійснити формування та розділення функцій між програмною та апаратною частинами. Це забезпечить чітке розуміння процесу вибору апаратних засобів та обсягу програмної частини системи автоматизації тепломпової установки.

Збір вхідної інформації планується виконувати апаратно-програмним способом. Це означає, що процес перетворення інформації вимірювання неелектричних величин у електричну форму, її адаптація до параметрів вхідних каналів мікроконтролера виконується первинними перетворювачами, частина з яких додатково можуть бути оснащені резидентними апаратними та програмними пристроями.

З врахуванням компактності системи автоматизації тепломпової установки, передача даних від первинних перетворювачів до мікроконтролера та сигналів управління від мікроконтролера до виконавчих механізмів здійснюється тільки провідною технологією, що забезпечить оптимальну швидкодію та надійність потоку інформації.

Вся обробка інформації від первинних перетворювачів, а також формування сигналів управління відповідних виконавчих механізмів

здійснюється за допомогою мікроконтролери сімейства Arduino, відповідно до застосування необхідної кількості вхідних та вихідних каналів.

Електричне узгодження вихідних сигналів мікропроцесора Arduino з вхідними параметрами застосовуваних виконавчих засобів заплановано здійснювати тільки апаратним способом.

Для керування гідравлічними енергетичними потоками, в якості виконавчих механізмів заплановано використання дво- та триходових сервоприводів, а для керування електричними колами – твердотільні реле з відповідними параметрами напруги та струму для передачі електричної енергії.

Зв'язок мікроконтролера з персональним комп'ютером для організації процесу програмування, програмного формування бази даних та зберігання сформованої інформації здійснюється з використанням USB-протоколу.

Отже, розроблена система керування енергетичними потоками теплопомпової установки повинна забезпечувати зміну приєднання каналів ґрунтового теплообмінника до випарника теплової помпи, а також каналів приєднання баків-акумуляторів системи гарячого водопостачання та опалення до конденсатора теплової помпи. Крім того, за потреби необхідно вимикати та вмикати живлення циркуляційним помпам відповідно до гідравлічної схеми енергетичних потоків.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОПОМПОВОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Розробка алгоритму системи керування енергетичними потоками теплової помпи

Для розуміння функціонування системи енергозабезпечення житлового об'єкта за рахунок теплової помпи, а також можливості розробки алгоритму роботи системи керування енергетичними потоками слід побудувати її загальну схему. На рис. 3.1, подано загальну схему системи тепlopостачання житлового об'єкта з використанням теплової помпи, яка оснащена первинними давачами температури, витрати теплоносія та електроенергії, а також виконавчими пристроями.

Загалом тепла помпа повинна мати два режими роботи: літній і зимовий. Кожен з цих режимів має свою особливість, і тому є необхідність формувати два під алгоритми, які відповідатимуть відповідному періоду роботи теплової помпи. Ключовою ознакою літнього режиму роботи теплової помпи є наявність режиму кондиціонування, який вимагатиме спеціального приєднання каналів руху теплоносія. Тобто, зимовий період, фактично означає той період, коли потреби в кондиціонуванні немає. Цей період триватиме від початку осені до кінця весни. За певних обставин може бути захоплений і період кінця та початку літа. Чіткого визначення сезонного початку та кінця одного із режимів роботи теплової помпи немає. Цей режим настає за появи певних значень температур навколишнього середовища та приміщення.

Розглянемо основний режим експлуатації теплової помпи системи енергозабезпечення житлового об'єкта.

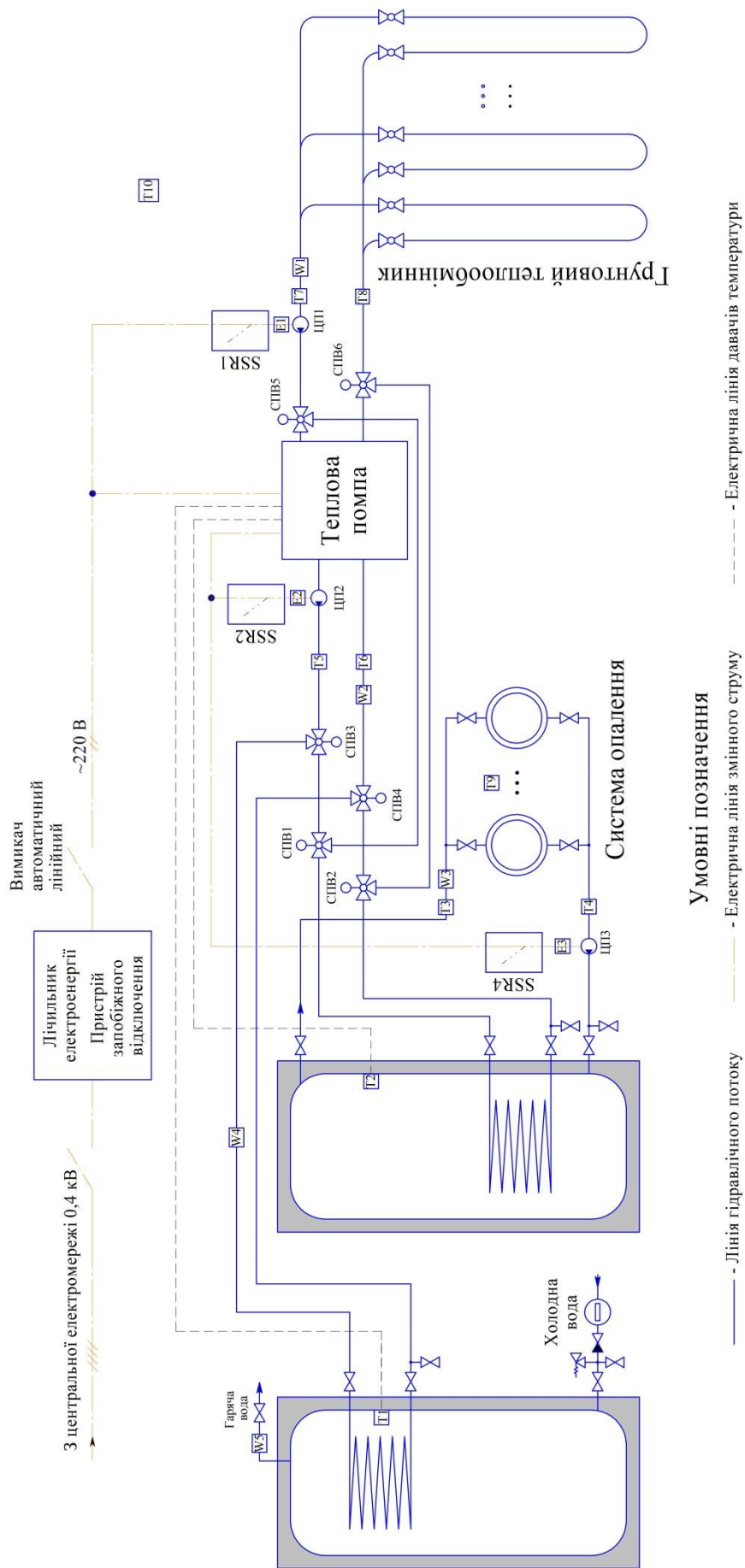


Рисунок 3.1 – Загальна схема системи енергозабезпечення житлового об'єкта

В зимовий період, коли є потреба в теплі для системи гарячого водопостачання та системи опалення, теплова помпа працює в штатному режимі на генерування теплової енергії.

В цьому режимі сервоприводні вентиля *СПВ3*, *СПВ4*, *СПВ5* і *СПВ6* включені на формування прямого потоку теплоносія. Тобто, байпасна лінія теплової помпи заблокована. Залежно від того, якою є температура в баку-акумуляторі системи гарячого водопостачання сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* будуть комутувати потік, або до цього бака, або до бака-акумулятора системи опалення. Це здійснюється за величиною температури в баку-акумуляторі системи гарячого водопостачання, яка повинна бути не менше 50 °С. Оскільки нагрів гарячої води є пріоритетом для системи керування, то по замовчуванню сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* повинні бути ввімкнені на приєднання лінії конденсатора теплової помпи до лінії теплообмінника бака-акумулятора системи гарячого водопостачання. При досягненні температури води в ньому до рівня 50 °С, сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* перемикаються на режим прямого потоку, при якому лінія конденсатора теплової помпи приєднується до лінії теплообмінника бака-акумулятора системи опалення. Повторне перемикавання повинне відбутись, коли температура бака-акумулятора системи гарячого водопостачання понизиться до рівня 40 °С.

В такому режимі твердотільні реле *SSR1* живлення теплової помпи, *SSR2* циркуляційної помпи контуру ґрунтових теплообмінників, *SSR3* циркуляційної помпи контуру теплова помпа – баки-акумулятори, а також *SSR4* циркуляційної помпи системи опалення повинні бути ввімкнені. Контроль роботоздатності циркуляційних помп, а також продуктивності потоку теплоносія здійснюється давачами струму *E1-E3* та вимірювачами потоку рідини *W1-W5* відповідних контурів.

В літній період, коли існує потреба у застосуванні кондиціонування приміщень режим сервоприводних вентилів та твердотільних реле буде змінено. Тут також буде два під режими роботи теплової помпи, і відповідно

схема перемикання сервоприводних вентилів буде мати деякі зміни. Тобто буде активовано режим інтенсивного та пасивного кондиціонування.

Режим інтенсивного охолодження активується у жарку погоду. В цьому випадку, теплова помпа буде примусово здійснювати охолодження бака-акумулятора системи кондиціонування до температури 7 °С. В цьому режимі сервоприводні вентиля *СПВ3*, *СПВ4*, *СПВ5* і *СПВ6* залишаються включені на формування прямого потоку теплоносія. Сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* ввімкнені на прямотік, забезпечуючи зв'язок конденсатора теплової помпи з теплообмінником бака-акумулятора системи кондиціонування, який буде працювати в режимі охолодження. Реверсування контурів всередині теплової помпи (перевід її на режим генерування холоду) здійснюється внутрішньою комутаційною апаратурою. У випадку водо розбору, що спричинить пониження температури бака-акумулятора системи гарячого водопостачання до температури 40 °С, відбудеться перемикання режиму теплової помпи на режим нагріву, а також сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* будуть ввімкнені на з'єднання ліній конденсатора теплової помпи та теплообмінника бака-акумулятора системи гарячого водопостачання. При досягненні температури в баку рівня 50 °С, система перейде до попереднього стану. Теплова помпа перемкнеться на режим генерування холоду, а сервоприводні вентиля об'єднують лінії теплової помпи і бака-акумулятора системи кондиціонування

У випадку помірних температур необхідно активувати режим пасивного охолодження. В цьому випадку, теплова помпа переходить в режим очікування, з якого вона вийде у випадку водорозбору та пониження температури бака-акумулятора системи гарячого водопостачання нижче 40 °С. Циркуляційна помпа *ЦП2* вимикається твердотільним реле *SSR3*. А сервоприводні вентиля *СПВ1* і *СПВ2* перемикаються для зв'язку лінії конденсатора теплової помпи та теплообмінника бака-акумулятора системи гарячого водопостачання. В цьому випадку теплова помпа періодично буде вмикатись для забезпечення тепловою енергією бак-акумулятор системи гарячого водопостачання.

Сервоприводні вентилі *СПВ3*, *СПВ4*, *СПВ5* і *СПВ6* перемикаються таким чином, щоб зв'язати контури ґрунтового теплообмінника та теплообмінника системи кондиціонування. Циркуляційні помпи *ЦП1* і *ЦП3* працюють в штатному режимі.

Схема алгоритму керування енергетичними потоками теплопомпової установки енергозабезпечення житлового об'єкта подано на рис. 3.2.

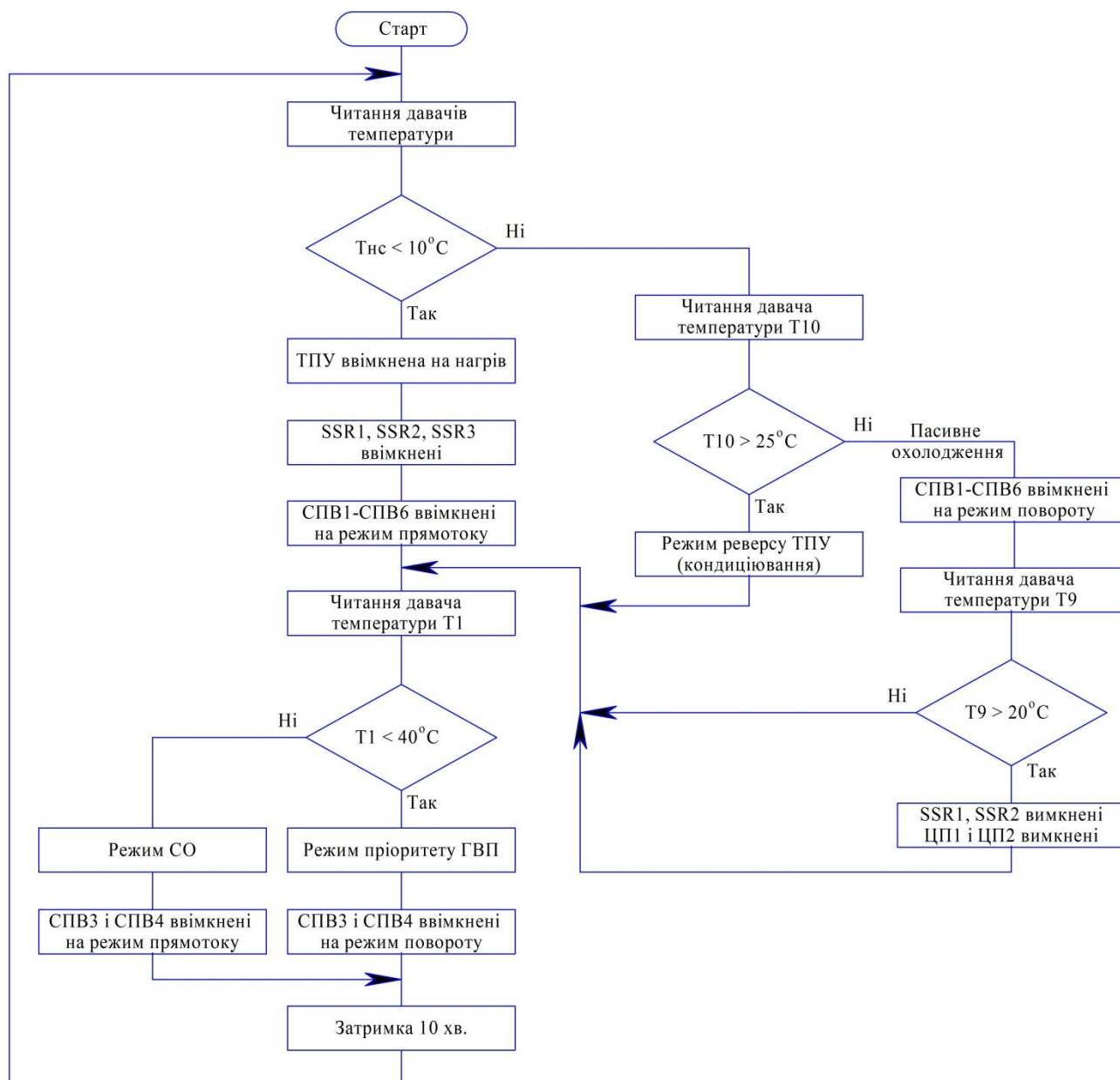


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму керування енергетичними потоками теплопомпової установки енергозабезпечення житлового об'єкта

3.2 Вибір датчиків та додаткових пристроїв

Для отримання первинної інформації про температуру різного середовища, витрату теплоносія, величину струму електричної мережі зручно використовувати первинні перетворювачі платформи Arduino. Це пояснюється тим, що вони максимально адаптовані до використання сумісно з мікроконтролерами сімейства Arduino. Ці засоби є повністю завершеними функціонально, мають готові бібліотеки обслуговування, є каліброваними, а також характеризуються низькою вартістю.

Відповідно до загальної схеми та кількості вимірюваних параметрів доцільно застосувати мікроконтролер типу Arduino Nano V3.0, до якого можна приєднати до 8 каналів аналогових засобів, а також до 14 цифрових засобів. Також важливим є те, що шість каналів можна налаштувати як ШІМ-канали, що дозволить плавно змінювати вихідний сигнал керування (рис. 3.3).

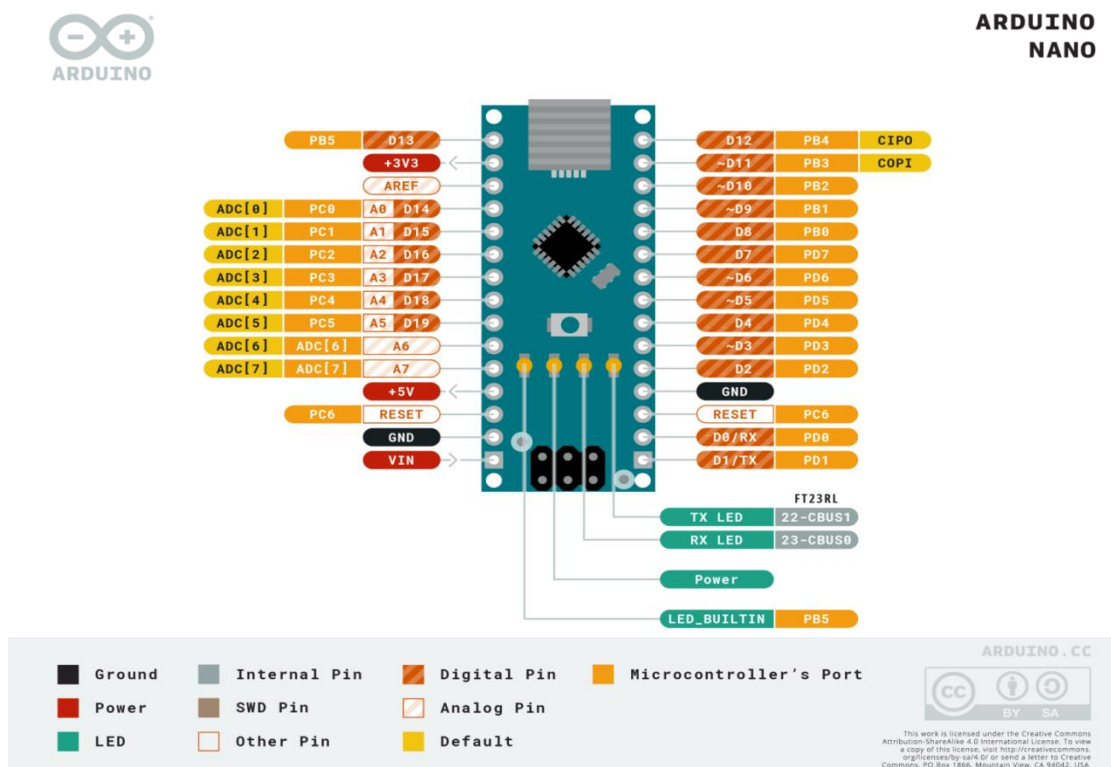


Рисунок 3.3 – Схема розпіновки мікроконтролера Arduino Nano V3.0 [4]

Вимірювання температури енергетичних потоків найзручніше здійснювати за допомогою цифрових вимірювачів типу DS18B20 (рис. 3.4), фірми Dallas (США) [10]. Це пояснюється тим, що можливо всі датчики приєднати до одного цифрового входу, що забезпечить можливість користуватися великою кількістю датчиків з використанням лише одного входу.

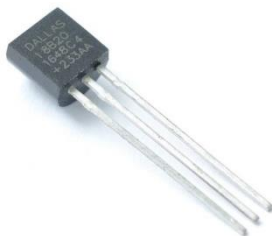


Рисунок 3.4 – Цифровий датчик температури типу DS18B20 фірми Dallas

Щодо його технічних характеристик, то вони повністю відповідають умовам застосування, оскільки діапазон вимірювання складає від -55 до $+125$ °C. Важливим також є те, що датчик готовий до використання, тобто його калібрування вже є виконане на етапі виготовлення. Необхідно лише у програмному коді активувати бібліотеку та призначити відповідний цифровий пін для введення даних.

Контроль параметрів гідравлічних енергетичних потоків відповідних контурів потребує встановлення вимірювачів витрати теплоносія. Зокрема необхідно встановити витратоміри на наступні контури: ґрунтовий теплообмінник, тепла помпа – баки-акумулятори теплової енергії, система опалення, система гарячого водопостачання. Для цих цілей доцільно використати проточні витратоміри мікротурбінного типу FS400A G1" [9] з вмонтованими датчиками Холла, які встановлюються у відповідні гідравлічні трубопроводи (рис. 3.5).

Вихідний сигнал з датчика має меандричний вигляд з частотою, яка відповідає відповідній витраті рідини. Для зручності роботи з датчиками доцільно застосувати систему перетворення меандричного сигналу у

аналоговий, застосувавши DC/AC перетворювачі, які реалізовані на базі одновібратора K155АГ3.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд проточного витратоміра мікротурбінного типу FS400A G1"

Для контролю режимів роботи циркуляційних pomp необхідно вимірювати величину їх споживаного струму. Це дозволить оцінити дійсність їх роботи, а також оцінювати їх швидкісний режим. Для цього достатньо встановити безконтактний вимірювач струму з відповідним допустимим рівнем струму. Оскільки всі циркуляційні помпи є малопотужними, то для вимірювання їх споживаного струму застосуємо компактні модулі струму з порогом вимірювання у 5А, наприклад, TA12-100 (рис. 3.6) [7]. Цей модуль є повністю адаптований для роботи з мікроконтролером сімейства Arduino.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд аналогового давача струму TA12-100

Найзручніше виконувати комутування силових кіл із застосуванням твердотільних реле відповідної потужності. Зокрема, відповідно до схеми системи керування, нам необхідно вмикати та вимикати циркуляційні помпи, потужність яких є невеликою. Тому можна і тут застосувати модулі

твердотільних реле, які адаптовані до роботи з мікроконтролерами сімейства Arduino. Зокрема, для наших цілей раціонально застосувати чотириканальний модуль твердотільних реле типу G3MB-202P (рис. 3.7) [1].

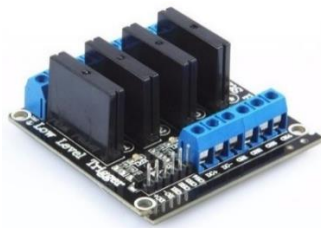


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд чотириканального модуля твердотільних реле типу G3MB-202P

Модуль допускає сигнал керування з величиною напруги від 3 до 32 В. Це уможлиблює його безпосереднє приєднання до цифрових виходів мікроконтролера Arduino. При цьому оптронну розв'язку, яка виконує функцію захисту мікроконтролера застосовувати не потрібно.

Комутація гідравлічних енергетичних потоків забезпечуватиметься триходовими вентилями з електроприводом змінного струму типу BV2012-32 (рис. 3.8) з відповідним приєднувальним розміром.



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд триходового вентиля BV2012-32

Оскільки живлення триходових вентилів є забезпечується змінною напругою 220 В, то для їх комутації застосовано восьмиканальний блок твердотільних реле типу G3MB-202P [2].

З урахуванням того, що до мікроконтролера буде приєднано велику кількість зовнішніх пристроїв, кожен з яких вимагає живлення для роботи та також для формування надійної опорної напруги, доцільно встановити зовнішній блок живлення. Таким пристроєм може бути регульоване джерело живлення Fnirsi DC-580 CC CV 1.8-32V 5A (рис. 3.9) [18]. завдяки функції регулювання вихідних параметрів ним можна забезпечити налаштування як напруги, так і струму живлення електронних пристроїв.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд джерела живлення Fnirsi DC-580 CC CV 1.8-32V 5A

Вихідний струм на рівні 5A забезпечить необхідний сумарний струм споживання живлення всіх електронних засобів системи керування енергетичними потоками теплопомпової установки.

Таким чином, нами було вибрано необхідне контрольно-вимірювальне та управляюче обладнання, яке забезпечити виконання поставленого завдання керування енергетичними потоками.

3.3 Узагальнені схемотехнічні та програмні рішення

Для організації приєднання всіх електронних компонентів, а також організації комутації засобів застосовано набір проводів, плата адаптера та макетниця (Shield).

Для практичного виконання розробленого алгоритму управління енергетичними потоками необхідно: забезпечити збір даних з первинних перетворювачів, Обробити їх згідно з логікою побудови гібридних систем, а також сформувати необхідний набір команд керування виконавчими пристроями. Додатковою функцією, яка буде реалізована із застосуванням персонального комп'ютера є накопичення та архівування всіх типів даних про роботу енергетичної системи.

Для написання програмного коду, відповідно до розробленого алгоритму було розроблено електричну схему (рис. 3.10) системи автоматизації приєднанням первинних датчиків температури, витрати теплоносія, сили струму електричних кіл та виконавчих механізмів, з додатковим оснащенням твердотільними реле та засобами перетворення інформації.

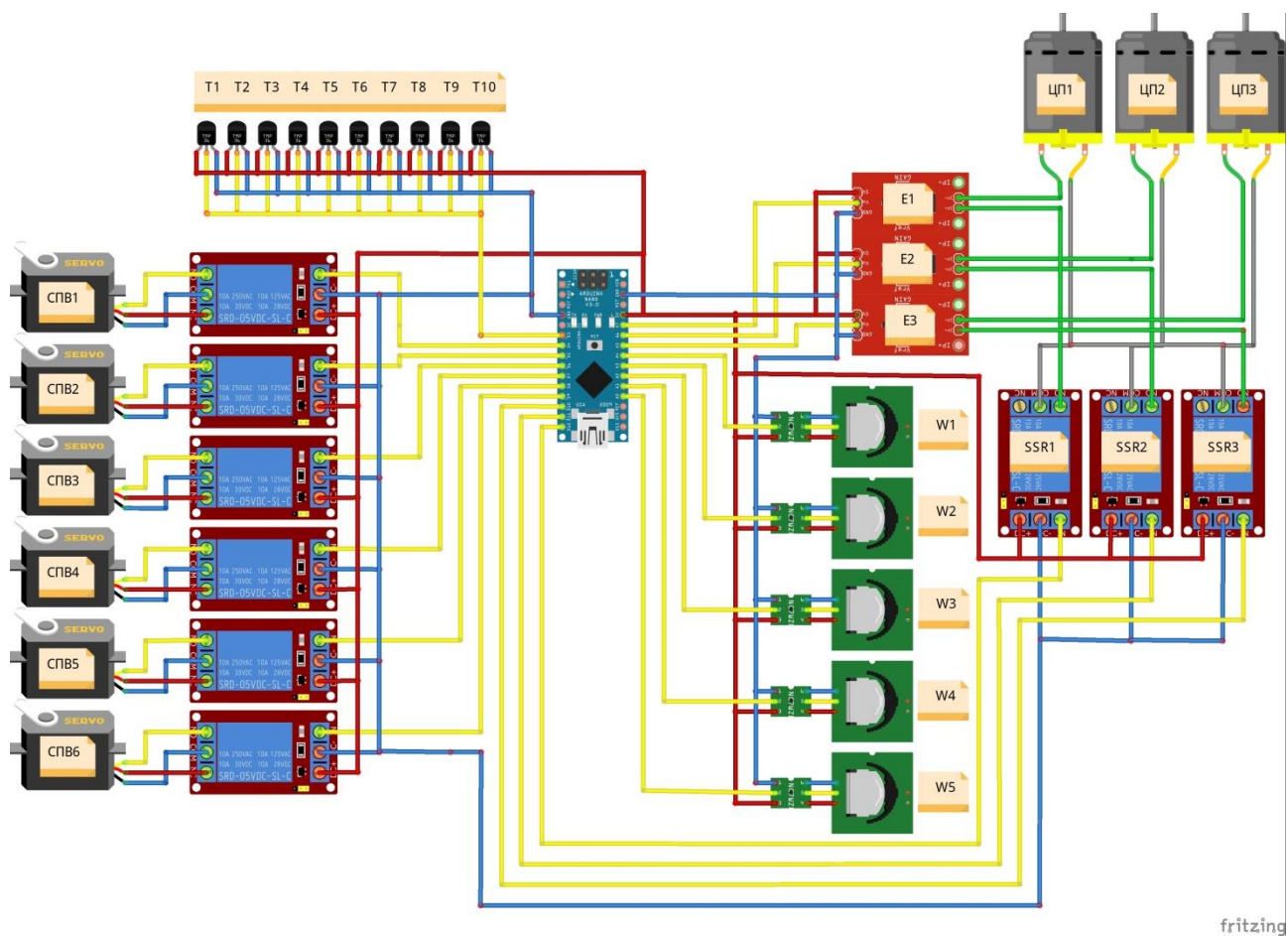


Рисунок 3.10 – Схема системи автоматизації теплопомпової установки

Всі вимірювачі температури приєднані до одного піна D3 з паралельним приєднанням підтягуючого резистора номіналом 4,7 Ом з асинхронним інтерфейсом OneWire. Таке приєднання дозволяє приєднати до мікроконтролера до 127 датчиків такого типу. Підтримки функціонування інтерфейсу OneWire забезпечується стандартною бібліотекою OneWire.h. Процедура опитування датчиків температури здійснюється з використанням бібліотеки DallasTemperature.h.

Керування твердотільними реле ввімкнення циркуляційних pomp здійснюється через цифрові піни D10-D12. А вимірювання споживаного ними струму забезпечується аналоговими вимірювачами з приєднанням до пінів A5-A7.

Керування триходовими вентилями, які живляться змінною напругою 220 В, здійснюється з використанням твердотільних реле, які керуються цифровими пінами D4-D9.

Вимірювання витрати теплоносія здійснюється із застосуванням DC-AD перетворювача, виходи якого подаються на піни A0-A4.

Передача вимірних сигналів здійснюється з використанням USB-кабелю з періодичністю, відповідно до попередньо заданих вимог користувача.

З врахуванням того, що частина даних, які отримуються в результаті постійного опитування первинних датчиків має різну кількість значень, то для синхронізації подальших розрахунків вони повинні бути усереднені з контролем та вибракуванням випадкових значень та імпульсних завад. Тобто, формуватиметься контрольне число, результат якого не може містити значення -127, 0, 25, а також 85. Таким чином, забезпечуватиметься не лише усереднення даних, а також і первинна їх фільтрація.

Відповідно до типів твердотільних реле, які потребують для керування електричними колами низького рівня, то для керування на їх інформаційні входи будуть подаватись значення, яке відповідає закороченому на землю потенціалу. З метою уникнення випадкового зворотного ходу виконавчих

пристроїв, твердотільні реле працюватимуть у тригерному режимі, з постійним підтримання того рівня сигналу, який відповідає поставленому завданні відривання/закривання або подача живлення/вимкнення живлення.

Фрагмент програмного коду системи керування енергетичними потоками подано на рис. 3.11.

```

Prog_System | Arduino 1.8.16
Файл Правка Скетч Інструменти Допомога
Prog_System
//Програма автоматичного керування//
#include <SPI.h> //бібліотека для роботи с шиною SPI
#include <Wire.h> //бібліотека інтерфейсу I2C
#include <OneWire.h> //бібліотека однопровідної передачі даних
#include <DallasTemperature.h> //бібліотека роботи з давачам температури Dallas
#define ONE_WIRE_BUS 3 //Призначення пін вводу в Ардуіно
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //організація читання по одному каналу
DallasTemperature sensors(&oneWire); //налаштування давача температури
int SPV1 = 0; //Сервоприводний вентиль 1
int SPV2 = 0; //Сервоприводний вентиль 2
int SPV3 = 0; //Сервоприводний вентиль 3
int SPV4 = 0; //Сервоприводний вентиль 4
int SPV5 = 0; //Сервоприводний вентиль 5
int SPV6 = 0; //Сервоприводний вентиль 6
int CP1 = 0; //Циркуляційна помпа 1
int CP2 = 0; //Циркуляційна помпа 2
int CP3 = 0; //Циркуляційна помпа 3
int SSR1 = 0; //Твердотільне реле 1
int SSR2 = 0; //Твердотільне реле 2
int SSR3 = 0; //Твердотільне реле 3
int E1 = 0; //Вимірювач струму 1
int E3 = 0; //Вимірювач струму 2
int E2 = 0; //Вимірювач струму 3
float W1 = 0; //Вимірювання витрати рідини 1
float W2 = 0; //Вимірювання витрати рідини 2
float W3 = 0; //Вимірювання витрати рідини 3

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}
void loop()
{
  sensors.requestTemperatures();
}
Збереження виконано.
33 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) на COM3

```

Рисунок 3.11 – Фрагмент програмного коду системи керування енергетичними потоками

3.4 Економічна ефективність прийнятих рішень

В даному пункті спробуємо виявити вартісну оцінку застосування системи автоматизації теплової помпи, оскільки це є один із визначальних параметрів, за яким може бути здійснено висновок про можливість та доцільність застосування засобів автоматики. Для цього необхідно мати розуміння, що вартісна оцінка матиме дві складові. Перше – це вартість всіх компонентів, які повинні бути закуплені для апаратної реалізації системи автоматики. В табл. 3.1, подано загальну номенклатуру електронних компонентів та їх вартість, що дозволить оцінити затрати на їх купівлю.

Таблиця 3.1 – Номенклатура та вартість електронних засобів системи керування енергетичними потоками тепlopомпової установки

Назва та марка виробу	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P	1	298	298
Регульоване джерело живлення Fnrsl DC-580 CC CV 1.8-32V 5A	1	742	742
Датчик температури DS18B20-PAR цифровий (1-wire) °C	10	27	270
Датчик витрат води, діаметр 1" від Elecrow	5	348	1740
Аналоговий датчик змінного струму 5A на TA12-100 для Arduino	3	133	399
4-х канальний модуль твердотільного реле 5В 2А (Low level)	1	256	256
Моторизований триходовий вентиль типу BV2012-32	6	1240	7440
8-ми канальний модуль твердотельного реле 5В 2А (Low level)	1	496	496
Шлейф 10-жильний 28AWG різнокольоровий 100 см (1.18мм)	1	35	35
Макетна плата мікро безпаєчна SYB-170 170 точок	1	14	14
Плата адаптера для Arduino Nano V3.0	1	67	67
РАЗОМ			11757

Друге – це вартість робіт із виконання фізичного приєднання електронних компонентів у єдину систему, а також вартість часу, витраченого на розробку програмного коду. З врахуванням того, що дана система автоматизації розробляється з теоретичної точки зору, і немає можливості на даний момент часу її реалізувати, то визначимо вартість затраченого часу на створення програмного коду без вартості монтажу електронних компонентів системи автоматизації. Цю вартість можемо визначити як добуток затраченого часу на вартість людино-години за формулою

$$B_{mp} = B_{лг} \cdot N_{лг}, \quad (3.1)$$

де $B_{лг}$ – вартість однієї людино-години, грн.;

$N_{лг}$ – кількість затрачених людино-годин, год.

Вартість людино-години можна визначити, виходячи із середньої місячної заробітної плати працівників ІТ-сфери, які перебувають на стажування (відповідає рівню студента, стажера тощо), тобто

$$B_{лг} = \frac{B_{зн}}{n_{рд} \cdot t_{рд}}, \quad (3.2)$$

де $B_{зн}$ – середня заробітна плата, грн.;

$n_{рд}$ – кількість робочих днів;

$t_{рд}$ – кількість робочих днів.

Отже, підставивши числові значення у формули отримаємо

$$B_{лг} = \frac{15000}{23 \cdot 7} = 93 \text{ грн./год.}$$

$$B_{mp} = 93 \cdot 84 = 7812 \text{ грн.}$$

Тоді сумарна вартість розробки системи автоматизації становитиме 19569 грн.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз умов праці під час монтажу, обслуговуванні та експлуатації засобів автоматизації систем тепlopостачання

Експлуатація будь-якого, а особливо теплогенерувального обладнання вимагає чітко визначеної процедури його використання, запуску в роботу, виведення з режиму роботи тощо. Всі заходи, які повинні бути виконані під час експлуатації повинні бути безпечними для обслуговуючого персоналу. Відповідно до цього повинні бути сформовані вимоги до використання енергетичного обладнання, а також правила поведінки обслуговуючого персоналу з метою попередження травматичних ситуацій.

Технологічний процес енергопостачання тепlopомповою установкою проводиться в такій послідовності. Робота теплової помпи по замовчуванню використовується для потреб гарячого водопостачання, тоді, коли температура бака-акумулятора буде достатньою, вона перемикається на режим роботи з системою опалення (при роботі в опалювальний період). В літній період теплова помпа продовжує працювати на систему гарячого водопостачання за замовчуванням. У випадку потреби в кондиціюванні приміщень, розроблена система керування здійснює перемикання теплової помпи на вироблення холоду.

Так чи інакше, застосування вказаного теплогенерувального обладнання може містити потенційно небезпечні умови, які слід попередити всіма можливими способами. Одним із методів попередження виробничого травматизму є метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій.

Зокрема, при монтажі, експлуатації та обслуговуванні теплогенерувального обладнання, яким є теплова помпа особливих травмонебезпечних ситуацій виникати не повинно, оскільки тут немає високотемпературних джерел. Єдиним винятком є електробезпека, оскільки теплова помпа містить електрообладнання, яке може містити потенційну небезпеку ураженням електричним струмом. Це можливе при недотриманні вимог техніки безпеки, використанні обладнання не за призначенням, зі знятими огорожами, з пошкодженими силовими та інформаційними кабелями тощо.

Під час монтажу можливе механічне ураження, яке може виникнути під час необережного поводження з слюсарним інструментом. В такому випадку слід дотримуватись заходів індивідуальної безпеки при монтажі трубопровідної апаратури.

4.2 Розробка заходів зменшення травматизму під час монтажу, обслуговуванні та експлуатації засобів автоматизації систем теплопостачання

При експлуатації теплопомпової установки необхідно керуватися "Правилами технічної експлуатації теплопомпових установок" та іншими нормативними документами, що регламентують монтаж та експлуатацію теплогенерувального обладнання.

Обслуговуючий персонал установки повинен бути ознайомлений з інструкцією з експлуатації всіх видів використовуваного обладнання. Кожен працюючий з теплопомповою установкою повинен бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років допускати до обслуговування установки заборонено. Забороняється також допускати сторонніх осіб до робочого місця. Робоче місце слід підтримувати в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань гібридної установки вологими руками.

При роботі з теплогенерувальним обладнанням, яке знаходиться під дією високої температури необхідно слідкувати за наявністю і цілісністю теплової ізоляції та огорожуючи конструкцій.

Ремонтні роботи та роботи з обслуговування теплопомпової установки, проводяться тільки коли вона вимкнена і робочі частини установки не мають високої температури.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки користувачі несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Актуальність проблеми щодо природно-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

У разі виникнення стихійних лих та надзвичайних ситуацій необхідно своєчасно оповістити населення, провести комплекс заходів, які повинні забезпечити укриття населення в захисних спорудах, його евакуацію,

медичний, радіаційний і хімічний захисти, а також захист від впливу біологічних засобів ураження.

Навчання з ЦО є загальним для усіх громадян і організовується як за місцем роботи, так і за місцем проживання. Воно включає підготовку керівного складу, робітників і службовців, населення, яке не зайняте у сфері виробництва та обслуговування, підготовку учнів та студентів. Навчання здійснюється за погодинними програмами.

При ліквідації наслідків аварій, стихійних лих проводяться рятувальні та інші невідкладні роботи щодо усунення безпосередньої загрози життю та здоров'ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або зменшення матеріальних збитків.

ВИСНОВКИ

Забезпечення мікроклімату у житлових будівлях є однією із найважливіших завдань інженерно-технічної служби. Мікроклімат відіграє особливу роль у забезпеченні комфортного проживання мешканців у будинках. Існує велика різноманітність енергетичних систем, які забезпечують відповідний комфорт мешканців у приміщеннях, однак найефективнішим на даний момент часу є варіант з використанням теплових pomp.

Побудова високоефективних енергетичних систем потребує розробки універсальних та простих систем керування енергетичними потоками, які забезпечать виконання енергетичних завдань з мінімальною кількістю використаного палива, електроенергії тощо. Такі системи можуть бути побудовані як на базі високопродуктивних та потужних промислових мікроконтролера, так і на базі простих та доступних для широкого загалу мікроконтролера сімейства Arduino.

В роботі запропоновано застосувати саме такий варіант побудови системи керування енергетичними потоками теплової помпи, який забезпечить високоефективну її експлуатацію. Для цього розроблено загальну схему системи енергозабезпечення житлового об'єкта із відповідними засобами автоматизації. Підібрано тип мікроконтролера, який забезпечить отримання первинної інформації з давачів температури, витрати теплоносія, та споживаного струму структурними елементами теплової помпи, а також формування сигналів керування виконавчими пристроями, які забезпечать роботу пасивного кондиціонування приміщень. Цей режим має особливість, яка полягає у тому, що тепла помпа на цей період не використовується, а отже й не споживає електроенергії, що суттєво підвищує ефективність функціонування енергетичної системи.

Для запропонованого варіанта системи автоматики теплової помпи розроблено алгоритм роботи, побудовано електричну схему приєднань, а також розроблено програмний код реалізації розробленого алгоритму.

За даними вартості вибраних електронних компонентів системи автоматики теплової помпи, а також за фактичними трудозатратами здійснено розрахунок загальної вартості цієї системи. Зважаючи на вартість промислових контролерів, які характеризуються близькими техніко-технологічними параметрами із запропонованими контролерами, і які оцінюються від 5000 грн. без допоміжної периферії, можна вважати, що розроблена система керування енергетичними потоками є доцільною, і її розробка є економічно вигідною.

Розглянуто питання охорони праці при експлуатації систем енергозабезпечення житлових об'єктів, монтажу та експлуатації систем автоматики, електрообладнання тощо. Запропоновано заходи з підвищення рівня безпеки під час монтажу та експлуатації електрообладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 4-х канальний модуль твердотільного реле 5В 2А (High level): <https://arduino.ua/prod1418-4-h-kanalnii-modyl-tverdotelnogo-rele-5v-2a>. (Дата звернення: 05.05.2023).
2. 8-ми канальний модуль твердотільного реле 5В 2А (Low level): <https://arduino.ua/ru/prod1415-8-mi-kanalnii-modyl-tverdotelnogo-rele-5v-2a-low-level>. (Дата звернення: 05.05.2023).
3. Arduino Home Page. <https://www.arduino.cc>. (Дата звернення: 05.05.2023).
4. Arduino Nano: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. (Дата звернення: 05.05.2023).
5. Kryvonos O. M., Kuzmenko Y. V., Kuzmenko S. V. Survey and prospects of ArduinO Nano 3.0 platform use in high school. ITLT, 2016. Vol. 56. № 6. pp. 77–87.
6. OCHSNER products: <https://www.ochsner.com/en/ochsner-products/>. (Дата звернення: 04.04.2023).
7. Аналоговий датчик змінного струму 5А на ТА12-100 для Arduino: <https://arduino.ua/prod2982-analogovii-datchik-peremennogo-toka-5a-na-ta12-100-dlya-arduino>. (Дата звернення: 05.05.2023).
8. Глухов О. В., Кравчук О. О., Левченко Є. В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. 192 с.
9. Датчик витрат води, діаметр 1" від Elecrow: <https://arduino.ua/prod655-datchik-rashoda-vodi-diametr-1>. (Дата звернення: 05.05.2023).
10. Датчик температури DS18S20 цифровий (оригінал): <https://arduino.ua/prod2318-datchik-temperatyri-ds18s20-cifrovoi>. (Дата звернення: 05.05.2023).

11. Джерела тепла: <http://www.geoteplo.com.ua/ua/functions/source.html>. (Дата звернення: 04.04.2023).
12. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: Довідник. «НДІпроектреконструкція», Deutsche EnergieAgentur GmbH (dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2006. 144 с.
13. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
14. Князевський Б. А., Долін П. А., Марусова Т. П. та інші. Охорона праці. підручник. Київ: ЦУЛ, 2003. 321 с.
15. Корчемний М. О., Клендій П. Б., Потапенко М. В. Теоретичні основи автоматики : Навч. посібн. Тернопіль : Навчальна книга Богдан, 2011. 304 с.
16. Мартиненко І. І., Лисенко В. П., Тищенко Л. П., Болбот І. М., Олійник П. В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник. К.: НМЦ Мінагропрому України, 2008. 330 с.
17. Пістун Є. П., Стасюк І. Д. Основи автоматики та автоматизації. Навчальний посібник. Друге вид., зм. і доп. Львів : В-во Львівської політехніки, 2018. 336 с.
18. Регульоване джерело живлення Fnrсі DC-580 CC CV 1.8-32V 5A: <https://arduino.ua/prod4300-regyliryemii-istochnik-pitaniya-fnrсі-dc-580-cc-cv-1-8-32v-5a>. (Дата звернення: 05.05.2023).
19. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
20. Ткачов В. В., Чернишев В. П., Одновол М. М. Технічні засоби автоматизації: Навчальний посібник. Д.: Національний гірничий університет, 2007. 177 с.