

Пташник Роман Ярославович

Розробка та дослідження автоматизованої системи управління  
тепловим насосом

Керівник: доц. Голотенко Олександр Сергійович





## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить \_\_\_ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає \_\_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_\_ друкованих сторінок формату А4.

Дипломна робота складається з восьми розділів, в яких нараховується \_\_\_ рисунків та \_\_\_ таблиць з даними.

В роботі використано \_\_\_ літературних джерел.

В результаті виконання роботи було проаналізовано актуальність питання застосування теплових насосів та їх перспективність порівняно з іншими генераторами тепла.

Також було обгрунтовано методи застосування теплових насосів різних типів та вказано на їхні недоліки та переваги.

Було розроблено систему керування тепловим насосом при модернізації комплексної системи опалення будівлі.

Систему керування розроблено на базі програмованого логічного контролера Arduino Mega, який володіє хорошим функціоналом, низькою вартістю та потрібною надійністю.

Використання такої системи забезпечило оптимізацію системи теплопостачання будівлі та забезпечило суттєву економію енергоресурсів.

Ключові слова: ТЕПЛОВИЙ НАСОС, КОНТРОЛЕР, КОНТРОЛЬ, КЕРУВАННЯ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	8
1.1. <i>Поняття теплового насоса, класифікація і область застосування</i> .....	8
1.2. <i>Огляд найбільш розповсюджених видів теплових насосів</i> .....	10
1.3. <i>Вибір приладу обігріву для обігріву приміщення у власному регіоні</i> .....	15
1.5. <i>Сфери використання енергії яку акумулює пристрій</i> .....	23
1.6. <i>Огляд недоліків та переваг теплових насосів</i> .....	24
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	26
2.1. <i>Технологічний цикл теплового насосу</i> .....	26
2.2. <i>Різні типи теплових насосів</i> .....	30
2.3. <i>Історія геотермальних теплових насосів</i> .....	31
2.4. <i>Принципові схеми геотермальних колекторних систем теплових насосів</i> .....	33
2.5. <i>Холодильні агенти</i> .....	36
2.6. <i>Використання теплої води з теплового насоса для опалення підлоги та радіаторів: переваги та недоліки.</i> .....	36
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	37
3.1. <i>Модернізація системи опалення із застосуванням теплового насосу</i> .....	37
3.2. <i>Розробка системи управління тепловим насосом</i> .....	43
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....	56
4.1. <i>Огляд моделі</i> .....	56
3.2. <i>Термофізична модель тепла насосного агрегату</i> .....	57
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	65
5.1. <i>MQTT. Загальна характеристика</i> .....	65
5.2. <i>Типи повідомлення в MQTT</i> .....	71
5.3. <i>Семантика топіків</i> .....	75
5.4. <i>Захист передачі даних</i> .....	77
5.5. <i>Якість обслуговування</i> .....	78
<b>6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b> .....	80
6.1. <i>Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи</i> .....	80
6.2. <i>Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи</i> .....	81
6.3. <i>Розрахунок матеріальних витрат</i> .....	84
6.4. <i>Розрахунок витрат на електроенергію</i> .....	85

<i>6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань .....</i>	<i>86</i>
<i>6.6 Обчислення накладних витрат.....</i>	<i>87</i>
<i>6.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи.....</i>	<i>88</i>
<i>6.8 Розрахунок ціни розробки системи.....</i>	<i>89</i>
<i>6.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень .....</i>	<i>90</i>
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>92</b>
<i>7.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .....</i>	<i>92</i>
<i>7.2 Електробезпека .....</i>	<i>94</i>
<i>7.3 Розрахунок заземлення .....</i>	<i>97</i>
<b>8 ЕКОЛОГІЯ.....</b>	<b>101</b>
<i>8.1 Екологізація виробництва .....</i>	<i>101</i>
<i>8.2 Зниження енергоємності та енергозбереження. ....</i>	<i>102</i>
<i>8.3 Джерела електромагнітних полів, іонізуючого випромінення та методи їх знешкодження. ....</i>	<i>104</i>
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>106</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>107</b>

## ВСТУП

Тепловий насос, пристрій для перенесення теплової енергії від теплоотдавача з низькою температурою (найчастіше - навколишнього середовища) до теплоприймача з високою температурою. Для роботи Теплового насоса необхідна витрата зовнішньої енергії (наприклад, механічної, електричної, хімічної). Процеси, що відбуваються в тепловому насосі, подібні до процесів, які здійснюються робочим тілом в холодильній машині, з тією різницею, що призначення холодильної машини - виробництво холоду, а теплового насосу - виробництво теплоти. Робочим тілом в тепловому насосі зазвичай є рідина з низькою температурою кипіння (наприклад, фреон, аміак). Конденсатор є теплообмінним апаратом, що виділяє теплоту для споживача, а випарник - теплообмінним апаратом, який утилізує низькопотенційну теплоту: вторинні енергетичні ресурси і (або) нетрадиційні поновлювані джерела енергії. Теплоприймач теплового насоса отримує, крім теплоти, еквівалентну теплоту від здійснення зовнішньої роботи, теплоту, перенесену від теплодавача, наприклад річкової води; отже, коефіцієнт перетворення енергії в теплових насосів завжди більше одиниці і такий процес більш вигідний, ніж безпосереднє перетворення електричної, механічної або хімічної енергії в теплоту. Іноді теплові насоси застосовуються для опалення в районах з жарким кліматом, так як в літній період ця ж установка охолоджує подане в будівлю повітря.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Поняття теплового насоса, класифікація і область застосування

Отже, що ж це таке тепловий насос, що він собою являє і де ж він використовується?

Тепловий насос - термодинамічна установка, в якій теплота від низькопотенційного джерела передається споживачеві при більш високій температурі. При цьому витрачається механічна енергія.

Велику перспективу представляє використання теплових насосів в системах гарячого водопостачання (ГВП) будівель[5].

Основу експлуатованого сьогодні у світі парку теплонасосного обладнання складають парокompресорні теплові насоси, але застосовуються також і абсорбційні, електрохімічні та термоелектричні. Ефективність теплових насосів прийнято характеризувати величиною безрозмірного коефіцієнта трансформації енергії.

Коефіцієнт трансформації теплового насоса, або теплонасосної системи теплопостачання (ТСТ)  $K_{tr}$  являє собою відношення корисного тепла, що відводиться в систему теплопостачання споживачеві, до енергії, що витрачається на роботу теплонасосної системи теплопостачання, і чисельно дорівнює кількості корисного тепла, одержуваного при температурах  $T_{out}$  і  $T_{in}$ , на одиницю енергії, витраченої на привід ТН або ТСТ. Реальний коефіцієнт трансформації відрізняється від ідеального, на величину коефіцієнта, що враховує ступінь термодинамічної досконалості ГТСТ і незворотні втрати енергії при реалізації циклу. В наведені залежності реального та ідеального коефіцієнтів трансформації ( $K_{tr}$ ) теплонасосної системи теплопостачання від температури джерела тепла низького потенціалу  $T_{in}$  і температурного потенціалу тепла, що відводиться в систему опалення  $T_{out}$ . При побудові залежностей, ступінь термодинамічної



досконалості ТСТ ч була прийнята рівною 0,55, а температурний напір (різниця температур хладону і теплоносія) у конденсаторі і в випарнику теплових насосів дорівнював  $7^{\circ}\text{C}$ . Ці значення ступеня термодинамічної досконалості год і температурного напору між хладоном і теплоносіями системи опалення та теплосбора представляються близькими до дійсності з точки зору обліку реальних параметрів теплообмінної апаратури (конденсатор і випарник) теплових насосів, а також супутніх витрат електричної енергії на привід циркуляційних насосів, систем автоматизації, запірної і керуючої арматури. У загальному випадку ступінь термодинамічної досконалості теплонасосних систем теплопостачання ч залежить від багатьох параметрів, таких, як: потужність компресора, якість виробництва комплектуючих теплового насоса і необоротних енергетичних втрат, які, в свою чергу, включають: - втрати теплової енергії в сполучних трубопроводах; - втрати на подолання тертя в компресорі; - втрати, пов'язані з неідеальною теплових процесів, що протікають в випарнику і конденсаторі, а також з неідеальністю теплофізичних характеристик хладонів; - механічні та електричні втрати в двигунах та інше.

Як і холодильна машина, тепловий насос споживає енергію на реалізацію термодинамічного циклу (привід компресора). Коефіцієнт перетворення теплового насоса - відношення теплопродуктивності до електроспоживання - залежить від рівня температур у випарнику і конденсаторі. Температурний рівень теплопостачання від теплових насосів в даний час може варіюватися від  $35^{\circ}\text{C}$  до  $62^{\circ}\text{C}$ . Що дозволяє використовувати практично будь-яку систему опалення. Економія енергетичних ресурсів досягає 70 %. Промисловість технічно розвинених країн випускає широкий асортимент парокомпресійних теплових насосів тепловою потужністю від 5 до 1000 кВт.

## 1.2. Огляд найбільш розповсюджених видів теплових насосів

### Теплові насоси з CO<sub>2</sub>

У теплових насосах даного типу джерелом тепла виступає ґрунт. На ділянці буриться необхідну кількість свердловин глибиною 75 метрів, в які опускаються зонди. Але, на відміну від розсільних зондів, CO<sub>2</sub> контур виконаний з міді і оснащений захисною оболонкою РЕ, а не пластику, і заправлений не водою (антифризом), а газом CO<sub>2</sub> (рис. 1.1).

У чому переваги такої системи? По-перше, коефіцієнт перетворення у системи CO<sub>2</sub>- вода вище, ніж у системи розсіл - вода на 20 % і більше. По-друге, скорочується кількість свердловин за рахунок підвищення теплообміну мідного зонда (65-70 Вт / мм.). Відсутність циркуляційного насоса первинного контуру - додаткова економія: газ в такій системі циркулює сам за рахунок перепаду температур. До того ж природна робота первинного контуру надійніша: немає циркуляційного насоса - немає поломок.

### Переваги теплового насоса CO<sub>2</sub>- вода

- Потрібно менше місця для буріння.
- Більш низькі експлуатаційні витрати, ніж у теплових насосів типу розсолу.
- Висока надійність за рахунок автономної роботи зовнішнього контуру.
- Тривалий термін служби.
- Найвищий потенціал економії CO<sub>2</sub> з усіх систем теплових насосів.



Рисунок 1.1 - Схема теплового насоса з CO<sub>2</sub>

### Тепловий насос прямого геообміну

Тепловий насос прямого геообміну (або прямого випаровування рис.2) називається так, тому що процес випаровування фреону відбувається безпосередньо в землі.

У зрошувальних теплових насосах тепло землі відбирається земельним колектором і транспортується в тепловий насос. У розсільному тепловому насосі є теплообмінник розсіл - фреон, в якому і відбувається передача тепла від землі до фреону і, в результаті, випаровування самого фреону.

Тобто традиційний тепловий насос складається з трьох контурів:

- первинний (передача тепла від розсолу фреону)
- холодильний (процес випаровування-стиснення - конденсації фреону)

- вторинний (передача тепла від фреону системі опалення)

У тепловому насосі прямого випаровування є тільки два контури

- первинний, він же холодильний (випаровування фреону в землі і стиснення його компресором)
- вторинний (передача тепла від фреону в систему опалення)

Конструктивно це реалізовано наступним способом: з компресора теплового насоса виходить дві мідні трубки (лінії всмоктування), за якими

фреон в газоподібному стані під низьким тиском проходить із землі до компресора. Ці трубки ведуть до колектора або гребінці випарника. Іпарітелем є мідні або алюмінієві труби, укладені на глибині 2 метри. Кількість контурів залежить від теплової потужності теплового насоса.

У чому переваги теплового насоса прямого геообміну ?

Такі теплові насоси ефективніше системи з глибинними вертикальними зондами на 20 % за рахунок:

- Властивостей міді та алюмінію, які передають тепло набагато краще поліетилену
- Товщини стінки труби (0,8 мм у міді і 3-5 мм у поліетилену)
- Теплоємності фреону, яка вище теплоємності води, що покращує відбір тепла із землі
- Відсутності проміжного теплообмінника, отже, втрат тепла
- Відсутності циркуляційного насоса первинного контуру, який споживає електроенергію і потребує сервіс.

До всього іншого теплові насоси прямого геообміну дешевше теплових насосів розсіл - вода або ґрунт- вода.

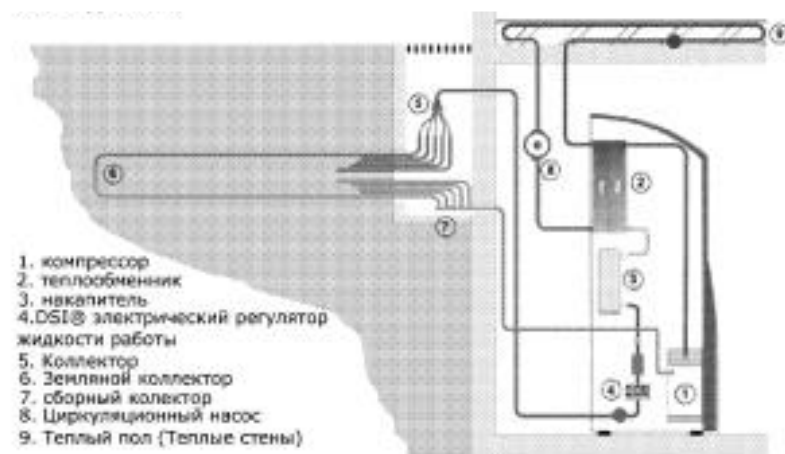


Рисунок 1.2 - Тепловий насос прямого геообміну

## Геотермальні теплові насоси ґрунт-вода

Тепловий насос типу розсолу витягує тепло з ґрунту за допомогою пластикових труб (т.зв. геотермальний зонд або ґрунтовий колектор), заповнених екологічно чистим антифризом (рис. 1.3).

Є два основних способи монтажу первинного контуру:

- горизонтальний
- вертикальний

При горизонтальному монтажі потрібну кількість труб (один метр труби здатний відбирати в середньому 20 Вт тепла) укладається на глибину 1,5-2 метра. При вертикальному монтажі зонди опускаються в пробурені свердловини потрібної глибини (1 метр вертикального зонда відбирає в середньому 50 Вт тепла).

Переваги горизонтального монтажу - мінімальні початкові витрати. Недоліки - потрібна вільна від забудови територія.

Перевага вертикального укладання зондів - більш стабільний COP, мінімум місця для буріння. Мінус - відносна дорожнеча бурильних робіт.

Теплові насоси типу зрошення здатні працювати на опалення і кондиціонування (як активне, так і пасивне), а також гріти гарячу воду.

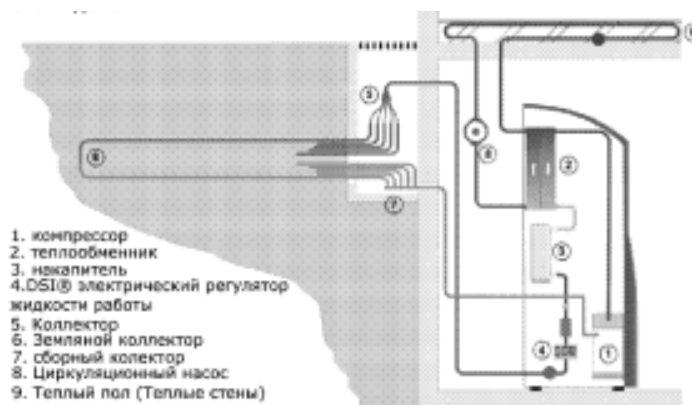


Рисунок 1.3 - Геотермальний тепловий насос ґрунт-вода

Теплові насоси вода-вода

Теплові насоси з використанням тепла ґрунтових вод (рис. 1.4).

Теплові насоси вода-вода використовують як джерело тепла підземні води. Такі системи є найбільш раціональними в нашому регіоні. Адже на території України дуже багато підземних джерел води, зокрема весь Київ "стоїть" на воді.

Теплові насоси вода-вода мають найвищі показники COP (до 7,2), адже температура підземних вод незмінна і тримається на рівні 10-12 ° С. Для реалізації системи потрібна подає і дренажна свердловина. Наша компанія надає послуги з буріння свердловин для подачі води і дренажу нашим клієнтам.

Крім самого високого і стабільного показника COP, система вода-вода має ще один величезний плюс: початкові витрати на цю систему в кілька разів менші системи ґрунт- вода. Це дозволяє знизити витрати на зовнішній контур до мінімуму.

Теплові насоси вода-вода працюють на опалення, кондиціонування та підігрів води. Номінальна теплова потужність від 10 до 100 кВт.

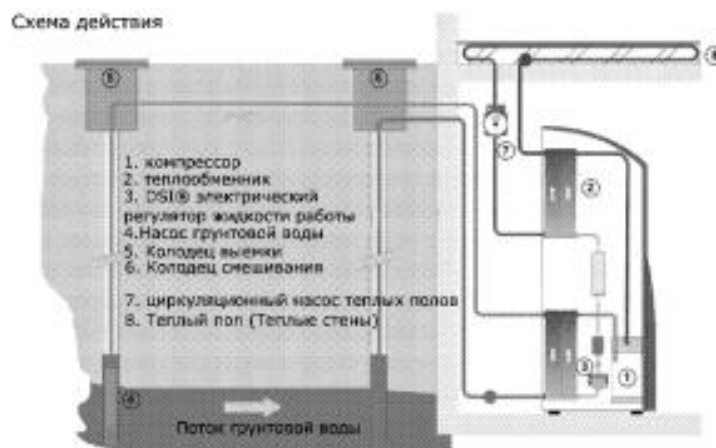


Рисунок 1.4 - Тепловий насос з використанням тепла ґрунтових вод

### **1.3. Вибір приладу обігріву для обігріву приміщення у власному регіоні**

Оскільки ми живемо на Тернопіллі, то враховуючи наше географічне місце розташування, природні та кліматичні умови проживання нам доцільно буде використати такі системи обігріву як:

#### **Тепловий насос ґрунт-вода**

Ґрунт - це найбільш універсальне джерело розсіяного тепла. Він акумулює сонячну енергію та цілий рік підігрівається від земного ядра. При цьому він завжди "під ногами" та здатен віддавати тепло не залежно від погоди. Адже вже на глибині 5-7 м температура практично постійна на протязі всього року. Для більшої території України вона складає 8-12°C. Більше того, в верхніх шарах землі мінімум температури досягається на декілька місяців пізніше від піків морозів - потреба в інтенсивному обігріві за допомогою геотермального теплового насоса до того часу зменшується. В цілому ж ґрунт достатньо надійно постачає калорії до теплонасосної системи. Необхідна енергія збирається теплообмінником, заглибленим в землю, та акумулюється в теплоносії, який потім подається у випарник та повертається назад за новою порцією тепла. В якості такого носія використовується незамерзаюча, екологічно безпечна рідина (її ще також називають "розсолем" чи антифризом). В більшості геотермальних теплових насосів використовується розчин води та пропіленгліколю чи етиленгліколю.

Є й інша схема відбору тепла, коли замість "розсолу" в контурі циркулює фреон, який перетворюється в пару безпосередньо в трубах теплозбірника. Хоч ця схема застосування теплових насосів трішки підвищує ККД, але її експлуатація складна та негативно впливає на навколишнє середовище.

Сьогодні найбільш популярним в Україні є теплови насоси ґрунт-вода (рис. 1.5) з "розсолем". В ньому використовується два види теплообмінників: ґрунтовий колектор та ґрунтовий зонд. Обидва виконуються із поліетиленових труб діаметром 40 мм з добавками теплопровідного пластифікатора.

Ґрунтовий колектор (горизонтальний) являє собою довгу трубу, горизонтально вкладену під шаром ґрунту. Головна перевага - універсальність та простота монтажу. Недолік - велика потрібна площа під ґрунтовий колектор - 25-50 м<sup>2</sup> на 1 кВт потужності геотермального теплового насоса (причому площадку можна використовувати лише під газон чи однорічні квіти). Є багато схем укладання труби: петля, змійка, зигзаг, плоскі та гвинтові спіралі різних форм, так званий спосіб "Slinky" та ін. Вибір способу визначається теплопровідністю ґрунту та геометрією ділянки.

Продуктивність теплозбірника більша на зволжених суглинках та менша на сухих пісчаних ділянках. В середньому 1 м<sup>2</sup> поверхні ґрунту може забезпечити "постачання" 10-35 Вт потужності в теплонасос. Довжину труби в одній петлі, причому суцільній, без з'єднань, прагнуть обмежити (не більше 600 м), в іншому випадку зросте витрата електричної енергії на циркуляційний насос ґрунтового контуру. Якщо потрібна більша потужність ґрунтового колектора, то петель роблять декілька.

Ґрунтові зонди (вертикальні колектори) - це система довгих труб, які опущені в глибоку свердловину (40-150 м). Тепловий насос ґрунт-вода з використанням вертикальних колекторів потребує лише клаптик землі, але також потрібні дорогі роботи по бурінню. На глибині завжди однакова температура - близько 10°C, тому зонди потужніші від горизонтальних колекторів. Один метр їх довжини постачає від 30 до 100 Вт теплової енергії, залежно від ґрунту. Відомо біля десяти різних конструкцій зондів, навіть досить незвичайних (наприклад, в вигляді труб, забетонованих в палі фундаменту будинку). Але найбільш застосовуваними є дві: труба в трубі та



U-подібна. По одній лінії "розсіл" подається циркуляційним насосом вниз, а по іншій їм же піднімається вгору, до випарника. У глибоких свердловинах трубопроводи теплообмінника завжди захищають обсадною трубою, в дрібних не завжди.

Для поліпшення теплопередачі і підвищення міцності ґрунтового зонда зазор між землею або обсадною трубою і робочими трубами заповнюється бетоном або бетоном. Якщо потрібно отримати велику потужність, таких теплозбірників роблять декілька. Відстані між вертикальними теплообмінниками теплового насоса ґрунт-вода складає 5-7 м.

У вертикальних колекторів, окрім дороговизни, є ще одне слабе місце, про яке нічого не говориться у фірмових буклетах. Як показали дослідження вертикальних ґрунтових колекторів, рівновага процесів відбору тепла та відновлення "живлячої" здатності ґрунту (навколо ґрунтового зонду земля охолоджується) настає лише через 4-5 років експлуатації теплонасосної системи. Тому ще на стадії проекту потрібно враховувати всі особливості експлуатації. Наші фахівці проводять відповідні розрахунки, використовуючи програмні продукти, аналогів яким в Україні не існує, для врахування всіх вище перерахованих особливостей теплових насосів ґрунт-вода.

А ось що дійсно може принести багато клопоту, то це здобуття від служби Держводнагляду дозволу на буріння глибокої свердловини під ґрунтовий зонд. Тому що, вірогідне обмерзання ґрунту здатне порушити поведінку водоносних шарів. Тому для невеликих котеджів наші фахівці ми, компанія "Прогрес-XXI" радимо закладати замість однієї глибокої декілька дрібніших (30-50 м) свердловин, оскільки на них схвалення чиновників не потрібне.



Рисунок 1.5 - Схема установки грунт-вода

Земні надра є безкоштовним джерелом тепла для теплового насоса, які мають однакову температуру протягом року. Використання тепла земних надр в теплонасосних технологіях є екологічно чистою, надійною та безпечною технологією забезпечення теплом та гарячим водопостачанням всіх типів будівель, великих та малих, громадських та приватних. Встановлення вертикальних колекторів не потребує багато місця та може бути впроваджена на ділянці малою площею. Об'єм робіт по облаштуванню території після буріння незначний, вплив пробуреної свердловини на навколишнє середовище мінімальний. Також під час використання свердловини, як джерела низькопотенційного тепла, не відбувається вплив на рівень ґрунтових вод, так як ґрунтові води не споживаються.

Тепловий насос грунт-вода з горизонтальним теплообмінником

Тепловий насос грунт-вода з горизонтальним теплообмінником (рис. 1.6)

В поверхневому шарі землі накопичується тепло протягом теплового періоду року (весна, літо, осінь). Використання цієї енергії для опалення є доцільним для різних типів будівель. Найбільша кількість енергії забирається з поверхневого шару землі, який має великий вміст вологи.

Тепло з поверхневого шару землі відбирається за допомогою пластикової труби. Екологічно чиста, морозостійка рідина циркулює в трубній системі та переносить тепло до теплового насоса. Дане джерело низькопотенційного тепла потребує значно більших площ, ніж вертикальний колектор, але зменшуються капітальні затрати на облаштування системи [5].



Рисунок 1.6 - Тепловий насос грунт-вода з горизонтальним теплообмінником

#### Тепловий насос вода-вода

Сонце нагріває воду в морях, озерах та інших водних джерелах. Сонячна енергія накопичується в воді та глибинних шарах. Рідко температура води знижується нижче  $+4^{\circ}\text{C}$ . Чим ближче до поверхні, тим більше змінюється температура протягом року, а на глибині вона відносно стабільна. Труба для передачі тепла вкладається на дні чи в ґрунті дна, де температура дещо вища, ніж температура води. Важливо, щоб труба укладалася з вантажем для попередження підняття труби на поверхню. Чим нижче вона залягає, тим менший ризик пошкодження. Водяне джерело, як джерело низькопотенційного тепла для теплонасосної системи дуже ефективно для різних типів будинків.

Є варіант монтажу водяного теплонасоса без використання класичних водяних та ґрунтових колекторів. Можлива організація забору води зі свердловини чи водойми з її подальшим скидом, після проходження теплообмінника теплового насоса, через відповідний канал назад в водойму чи іншу свердловину.

Самі теплонасоси майже не відрізняються від тих, які працюють з "розсоллом". Але завдяки вищій температурі теплоносія взимку річна ефективність їх використання виявляється найвищою. Шкода, що теплонасосні технології вода-вода (рис. 1.7) придатні переважно для промислового використання. Дуже рідко виникають відповідні умови для приватної особи. Але якщо поруч тече незамерзаюча річка, ви можете укласти петлю труби з антифризом на дно (притопивши вантажами) та обігріватися практично за дарма. Звичайно, якщо водозахисна служба дасть дозвіл на такі роботи.

Зі свердловиною складніше. Воду з неї (з розрахунку близько 0,25 м<sup>3</sup>/год на 1 кВт теплової потужності) свердловинним насосом подають прямо у випарник, а зливають у другу свердловину, віддалену від першої вниз за течією води в підземному шарі на 15-20 м. При цьому водоносний шар повинен прийняти і відвести воду, що злиться, інакше маленька повінь вам забезпечена. Ясно, що такі пласти на малій глибині зустрічаються не скрізь, а для артезіанських свердловин отримати дозвіл у нас непросто. І ще потрібно захистити випарник теплонасоса вода-вода від забруднення та корозії. Фільтрування та аналіз води обов'язкові. Якщо в ній надто багато солей, доведеться улаштувати проміжний теплообмінник, між ним і тепловим насосом циркулюватиме деаерована чиста вода чи антифриз, це залежить від системи.



Рисунок 1.7 - Тепловий насос вода-вода

### Тепловий насос повітря-вода

По універсальності вживання в вітчизняних умовах теплонасосні системи повітря-вода займають поки що друге місце. І сам повітряний тепловий насос дешевший, і труб (з незмінними земляними роботами) не вимагається. Недолік в теплонасосі повітря-вода(рис.8) один, але істотний: з морозного повітря багато тепла не відбереш. Стабільно, хоча і із зменшеною потужністю, дані енергозберігаючі технології працюють до мінус 15-20 °С, а потім потрібно вмикати інший теплогенератор.

Коли йдеться про вибір повітряних теплових насосів, корисно враховувати дві важливі обставини, зазвичай замовчуваних в статтях. По-перше, значення номінальної потужності, що приводиться в паспорті, відноситься до певної температури навколишнього повітря. Це може бути і 0, і 2, і 10, і навіть 25°С. Значить, по ефективності кожен тепловий насос повітря-вода потрібно порівнювати при однаковій температурі зовнішнього повітря. По-друге, з посиленням холодів повітряний теплонасос розвиває помітно меншу (інколи вдвічі) потужність, тому додатковий обігрівач потрібний обов'язково, якщо теплонасосна система опалення не розрахована з запасом.

Конструктивно повітряні теплонасоси виконуються за двома компоновальними схемами: спліт та моно. У першому випадку тепловий

насос складається з двох блоків, сполучених комунікаціями. Один, зовнішній, включає потужний вентилятор та випарник (монтується на ділянці недалеко від будинку). Другий, внутрішній, містить конденсатор та автоматику, і встановлюється в приміщенні. Компресор може розташовуватися або зовні, щоб не шумів, або в будинку.

У моноблочних повітряних теплонасосних системах всі елементи збираються в загальному корпусі та монтуються в будинку, а з вулицею з'єднуються гнучким повітропроводом. Існують моноблоки, що допускають як зовнішній, так і внутрішній монтаж.

Останніми роками, у зв'язку з погіршенням вентиляції житла завдяки широкому вживанню нових герметичних вікон із склопакетами, повітряні теплові насоси отримали додатковий розвиток. Окрім опалення та підготовки гарячої води, деякі моделі теплонасосів "навчилися" не лише працювати в системах вентиляції, але й використовувати тепло відпрацьованого повітря приміщень.

Також теплонасосна система повітря-вода може використовувати теплові скиди самого приміщення для опалення та гарячого водопостачання: скидну воду, а також вентиляційні викиди та димові гази. В останньому випадку витяжна система повинна бути обладнана діючим вентиляційним агрегатом. Дана комбінація покращує вентиляцію будинку та зменшує проблеми з цвіллю, сирістю, радоноюю загазованістю.



Рисунок 1.8 - Тепловий насос повітря-вода

## 1.5. Сфери використання енергії яку акумулює пристрій

Особливості використання енергії (тепло або холод) яку акумулює пристрій ми представимо у наступному вигляді:

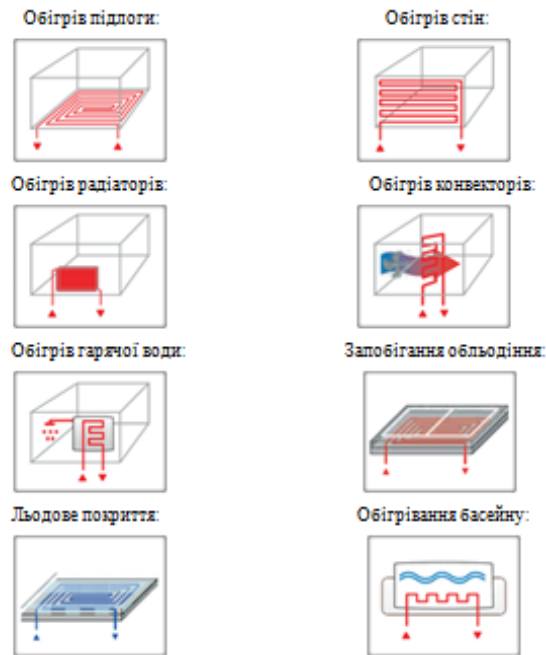


Рисунок 1.9 – Споживачі тепла у будинку

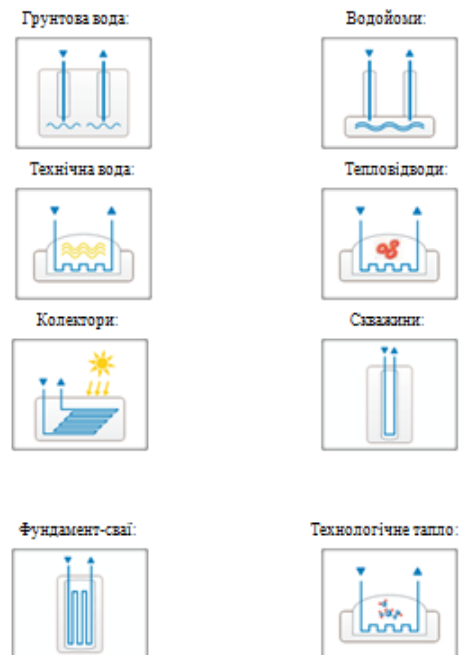


Рисунок 1.10 - Джерела енергії отримання тепла

## 1.6. Огляд недоліків та переваг теплових насосів

Переваги:

- економія до  $\frac{3}{4}$  від всіх витрат у порівнянні з звичайними технологіями опалення та кондиціонування
- повна відсутність викидів CO<sub>2</sub>
- немає потреби в площах для зберігання палива
- низькі експлуатаційні витрати
- розумні інвестиційні витрати
- відсутність витрат на паливо і золовидалення
- немає необхідності в обслуговуванні газового котла та контролі якості палива
- немає потреби в сховищах для палива (деревина, вугілля)
- не потрібен фільтр для відпрацьованого палива
- відсутність шкідливих викидів в процесі експлуатації
- відсутні забруднення мікрочастинками відпрацьованого палива
- не використовується фреон і вогнетривкий холодоагент
- відсутність неприємних запахів
- здоровий мікроклімат приміщення, який оцінять жителі, гості та колеги
- найнижчі, в порівнянні з іншими альтернативними джерелами тепла, капітальні витрати
- можливість використання для охолодження повітря в теплий період року
- простота в експлуатації



- можливість встановлення в "звичайну" систему повітряного опалення
- спрощення у вимогах до систем вентиляції приміщень

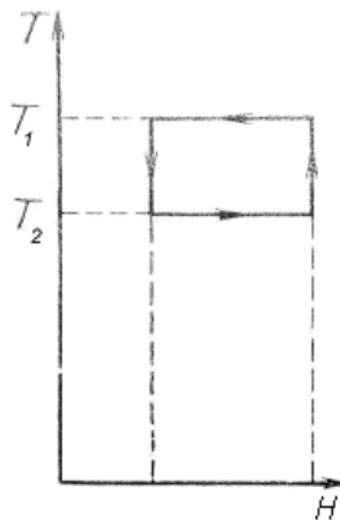
Серед недоліків теплових насосів, які використовуються для опалення приміщень, можна віднести їх велику вартість, однак вкладені в установку цього обладнання кошти окупляться протягом 4-6 років.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Технологічний цикл теплового насосу

Термін "тепловий насос" можна в широкому розумінні визначити як пристрій, де тепловіддача з низьким потенціалом збільшує потенціал до необхідного рівня за рахунок споживання механічної або іншої енергії. Більш вузько «тепловий насос» можна визначити як поршневий компресор, обертовий компресор або турбінний компресор, який стискає пар або газ для підвищення його температури.

У 1824 р. Карно, зазвичай, використовував термодинамічний цикл для, власне, опису цього процесу вперше, і цей цикл, відомий як цикл Карно, нині залишається основоположним принципом для його порівняння та, вочевидь, оцінки ефективності теплових насосів. Ідеальний цикл, на нашу думку, теплового насоса Карно представлений на рис. 2.1 [6]:



Риунок 2.1 – Ідеальний цикл теплового насосу цикл Карно:  $N$  - ентропія;  $T$  – температура.

Тепловий насос можна представити як зворотний (перевернутий) тепловий двигун (машина). У тепловому двигуні за рахунок розширення пари або газу, який має більш високу температуру, ніж навколишнє середовище, ми отримуємо механічну енергію, а температура пари або газу знижується дуже швидко. У тепловому насосі у нас протилежна ситуація. За рахунок споживання механічної енергії пара або газ стискаються, і температура його сильно зростає. Ось чому тепловий насос є зворотнім тепловим двигуном. Діаграми ентropії на рис. 2.2 і на рис. 2.3 дають нам більш наочне уявлення про природу теплового насоса порівняно з тепловим двигуном. Ці цифри показують нам робочі цикли теплового двигуна і, власне кажучи, теплового насоса в ідеальній машині, але з реальними робочими речовинами.

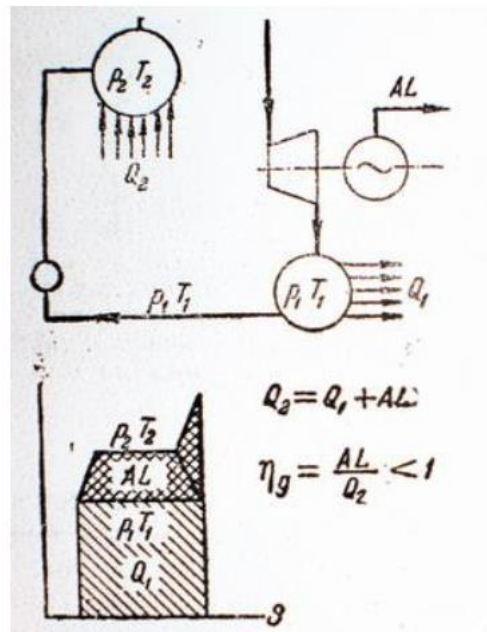


Рисунок 2.2. - Паровий тепловий двигун:  $S$  - ентropія;  $T_1$ ,  $T_2$  - температура;  $p_1$ ,  $p_2$  - тиск;  $Q_1$ ,  $Q_2$  - тепло;  $AL$  - тепловий еквівалент спожитої механічної енергії.

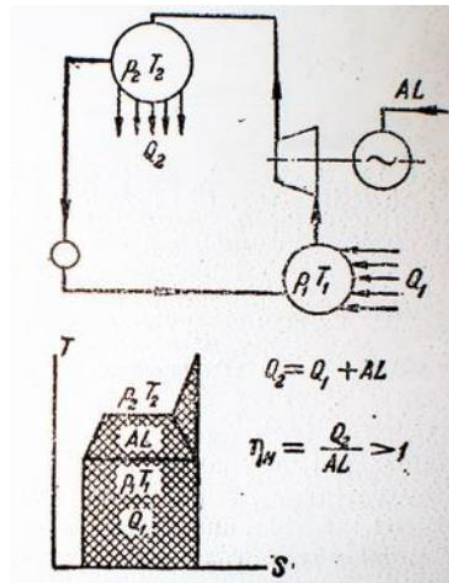


Рисунок 2.3. - Паровий тепловий насос.

На рис. 2.2 і рис. 2.3 представлені схеми ентропії парового теплового двигуна і парового теплового насоса. Шляхом подачі (подачі) низько потенційного тепла при температурі  $T_1$  деяка робоча речовина при тиску  $p_1$  випаровується в випарнику і перетворюється з рідкої фази в пару. За допомогою роботи компресорів пара стискається в адіабатичних умовах до тиску  $p_2$  і температури  $T_2$ , що відповідає цьому тиску. Після цього етапу пара йде в конденсатор, де він втрачає перегрів і починає конденсацію. Під час процесу конденсації пара віддає тепло з більш високою температурою в навколишнє середовище або іншу речовину. Отриманий конденсат з тиском  $p_2$  надходить до дросельного клапана (розширювального клапана), де його тиск зменшується до тиску  $p_1$ , а його температура стає нижчою до температури  $T_1$ . За цих умов невелика кількість (невелика частина) конденсату випарується, але основна частина піде до випарника, де він буде сприймати низький потенціал тепла і випаровуватися. Цикл почнеться знову.

У цьому замкнутому циклі, протилежному циклу потужності теплового двигуна, тепло  $Q_1$  сприймається від джерела енергії з низьким потенціалом, а механічна енергія з тепловим еквівалентом, визначена як площа  $AL$ . Тепло

$Q_2$ , яке визначається як  $Q_2 = Q_1 + AL$ , повертає з більш високою температурою. Це означає, що в тепловому насосі у всіх випадках кількість (кількість) тепла, яке віддається назад, перевищує тепловий еквівалент механічної енергії, який був витрачений. Іншими словами, коефіцієнт корисної дії теплового насоса становить:

$$\eta_{HP} = \frac{Q_2}{AL} > 1 \quad (2.1)$$

Це протилежне коефіцієнту корисної дії теплового двигуна, для якого корисний вихід  $AL$  і витрачається тепло  $Q_2$  і менше 1:

$$\eta_{TE} = \frac{AL}{Q_2} < 1 \quad (2.2)$$

Співвідношення між корисною тепловіддачею  $Q_2$  та тепловим еквівалентом спожитої механічної енергії  $AL$  називається коефіцієнтом продуктивності  $COP_1$ . Ось чому

$$COP_1 = \frac{Q_2}{AL} > 1 \quad (2.3)$$

Цикл Карно на рис. 2.1 показує нам робочий процес ідеального теплового насоса, який працює, у заданому діапазоні (інтервалі) температур. Показчики показують напрямок процесу для теплового насоса. Тепло ізотермічно подається при температурі  $T_1$  і ізотермічно відводиться при температурі  $T_2$ . Стиснення і розширення виконуються при постійній ентропії, а робота надходить від зовнішнього двигуна. Використовуючи визначення законів ентропії та термодинаміки, можна сказати, що коефіцієнт продуктивності ( $COP_1$ ) для циклу Карно має такий вигляд:

$$COP_1 = \frac{T_1}{(T_2 - T_1)} + 1 = \frac{T_2}{(T_2 - T_1)} \quad (2.3)$$

Немає теплових насосів, вироблених на Землі, які мають кращу характеристику, ніж характеристика циклу Карно, і всі практичні цикли

намагаються наблизитись до його характеристики якомога ближче. Зазвичай значення COP1 для теплового насоса знаходиться в діапазоні від 2,5 до 5.

## 2.2 Різні типи теплових насосів

«Теплові насоси використовуються там, де геотермальна температура води або ґрунту лише трохи вище норми, як правило, від 10 до 35 ° С. Звичайні геотермальні системи опалення (і охолодження) не є економічно ефективний при цих температурах. Теплові насоси при цих температурах можуть забезпечити нагрівання та охолодження приміщень, а також з дезінтегратором, гарячою водою для дому. Доступні дві основні системи теплових насосів: джерело повітря та вода або земля ». Теплові насоси, пов'язані з водою та землею, називають геотермальними тепловими насосами, мають кілька переваг перед тепловими насосами з джерелом повітря:

1. Вони споживають приблизно 33% менше річної енергії;
2. Вони відбивають землю або підземні води, більш стабільне джерело енергії, ніж повітря;
3. Вони не потребують додаткового тепла під час надзвичайно високих або низьких зовнішніх температур;
4. Вони мають більш просту конструкцію і, отже, менше обслуговування.

«Основним недоліком є вища початкова капітальна вартість, яка на 33% дорожча, ніж одиниця від джерела повітря. Це пов'язано з додатковими витратами та зусиллями на закопування теплообмінників у землі або забезпечення свердловини для джерела енергії. Однак після встановлення щорічна вартість менша за термін експлуатації системи. Економія пов'язана з коефіцієнтом експлуатації в середньому близько 3 для геотермальних порівняно з 2 для теплових насосів з джерелом повітря. Відповідно до цих

переваг і недоліків прийнято, зазвичай, рішення використовувати, втім, тепловий насос наземного джерела для проектування системи опалення.

### 2.3 Історія геотермальних теплових насосів

Основний принцип теплового насоса описаний у роботах Карно та в описі циклу Карно, який був опублікований у його дисертації (дисертації) у 1824 р. Практичну систему теплового, зазвичай, насоса запропонував Вільям Томсон, власне кажучи, в 1852 р. Ця система отримала назву "множник тепла", і вона показує, як охолоджуючу машину можна використовувати для опалення. Подивіться на рис. 2.4:

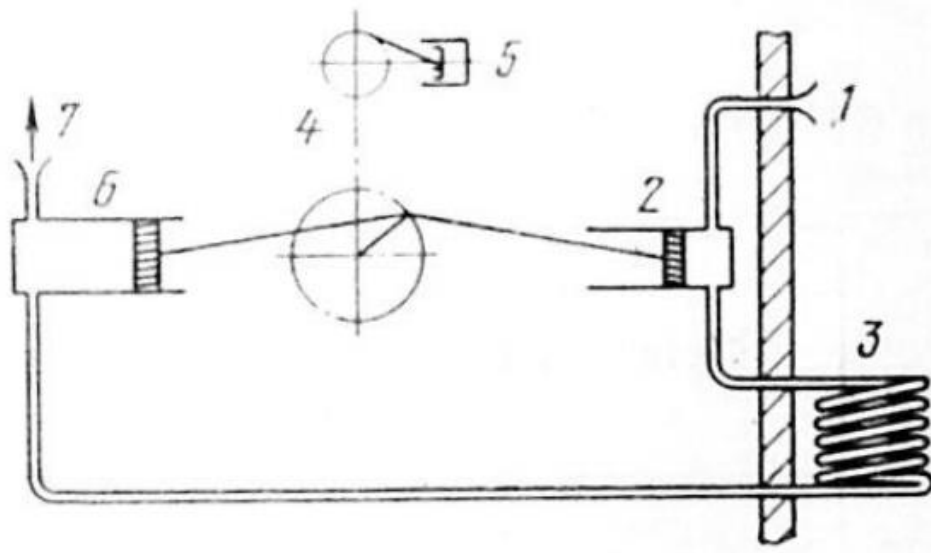


Рисунок 2.4 – Схема мультиплікатора: 1 - навколишнє середовище; 2 – «вхідний» циліндр; 3 - теплообмінник; 4 - привід; 5 - парова машина; 6 – «вихідний» циліндр; 7 – приміщення, яке необхідно опалювати.

Основним недоліком «множника тепла» було використання навколишнього повітря як робочої речовини, що стало причиною меншої ефективності порівняно з тепловим насосом геотермального типу.

«Земля пропонує стабільне і неймовірно велике джерело тепла, тепловідвід і накопичувач тепла для використання теплових енергій, як для геотермального теплового насоса». Діаграма результатів вимірювань температури землі показана на рис. 2.5.

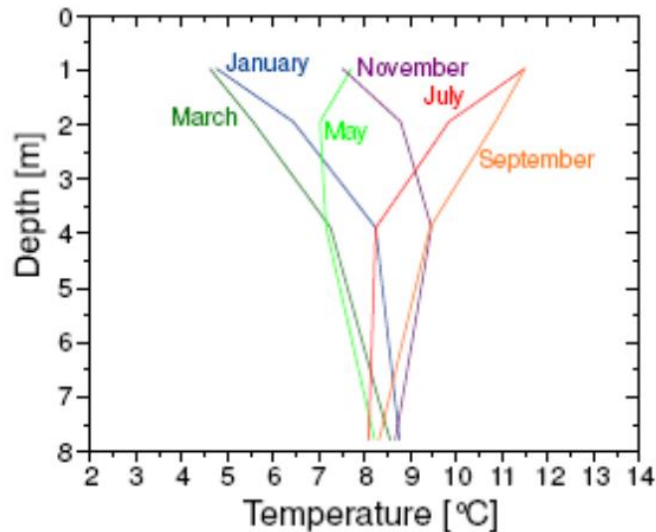


Рисунок 2.5. - «Температура підземної температури в Королівській обсерваторії Едінбурга»

Цікавим фактом є те, що цей величезний і майже нескінченний стійкий запас тепла використовувався як джерело низької потенціальної теплової енергії для теплового насоса наземного джерела лише на початку 20 століття, приблизно через 50 років. Перша задокументована пропозиція використовувати землю як джерело тепла, була в 1912 р. у Швейцарії в патенті, поданому Х. Золлі. Але в той час ефективність теплових насосів була низькою через деякі проблеми технології та низьким рівнем технологій у цій галузі.

Сьогодні теплові насоси геотермального типу - це усталена технологія з понад 400 000 установок, встановлених по всьому світу (близько 62% з яких знаходяться в США) і близько 45 000 нових агрегатів, що встановлюються щорічно.



Загалом використання геотермального теплового насоса є ефективним способом виробництва теплової енергії, оскільки земля є стабільним джерелом низької потенціальної теплової енергії протягом усього року. Це дозволяє тепловому насосу працювати дуже близько до оптимальних проектних значень.

## **2.4 Принципові схеми геотермальних колекторних систем теплових насосів**

Теплові насоси геотермального типу, як уже відомо, використовують енергію, що зберігається в земній корі, як відносно стабільне джерело температури низької потенціальної теплової енергії протягом усього року.

Ось чому дуже важливо дізнатися більше про різні типи колекторних систем та фактори, які мають істотний вплив на передачу тепла від ґрунту до ґрунтового колектора.

Два основні фактори, що впливають на передачу тепла на земляний колектор - це його поверхня (тобто коефіцієнт довжини та діаметра труби) та теплові властивості ґрунту, які визначатимуть довжину теплообмінника, необхідну для задоволення заданого навантаження.

На рисунку 2.6 показано сезонне коливання температури ґрунту протягом року для двох різних глибин 0,02 м та 1 м, що вимірювались [6].

Вологість ґрунту суттєво впливає на його теплові властивості. Коли вода замінює повітря між частинками, вона знижує опір контакту. Теплопровідність може коливатися від 0,25 Вт / мК для сухого ґрунту до 2,5 Вт / мК для вологого ґрунту. Теплопровідність є відносно постійною вище конкретного порогу вологості, який називається критичним вмістом вологи, але нижче провідність швидко падає.

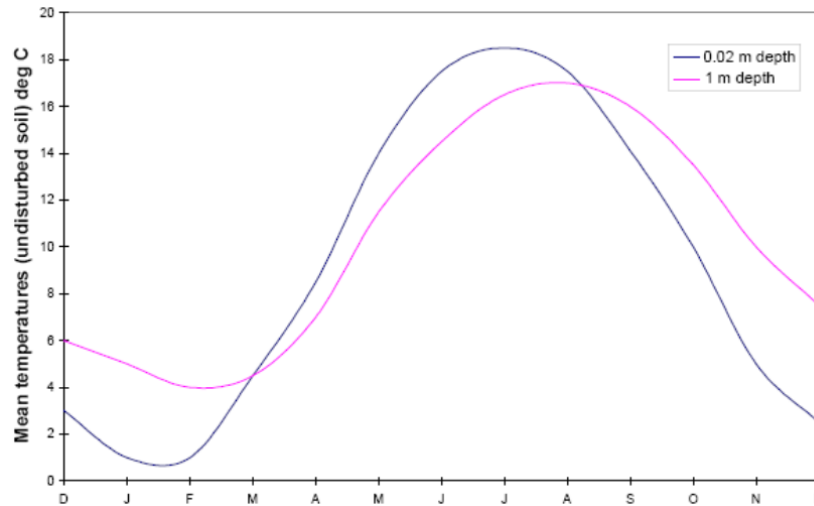


Рисунок 2.6 – Результати вимірювань температури ґрунту в Бельгії

Різні системи горизонтальних і вертикальних наземних колекторів/

Наземний колектор для геотермального теплового насоса можна встановлювати як вертикально, так і горизонтально. Вибір вертикального або горизонтального напрямку установки наземного колектора залежить від наявного простору, місцевого типу ґрунту та витрат на земляні роботи. Після опису основних типів наземних колекторних систем та вивчення детальніше про їх основні схеми, переваги та недоліки буде обрана принципова схема наземного колектора для системи опалення будівлі водопідготовки за технологією теплового насоса.

Існує три основні типи наземних колекторних систем:

1. Відкрита система;
2. Закрита горизонтальна система;
3. Закрита вертикальна система.

Відповідно до геологічних та гідрогеологічних умов на ділянці очисних споруд та витоків вільної площі на ділянці існує дві найбільш розумні системи наземного колектора:

1. Закрита горизонтальна система з траншеєю для колектора, яка представлена на рисунку 2.7;

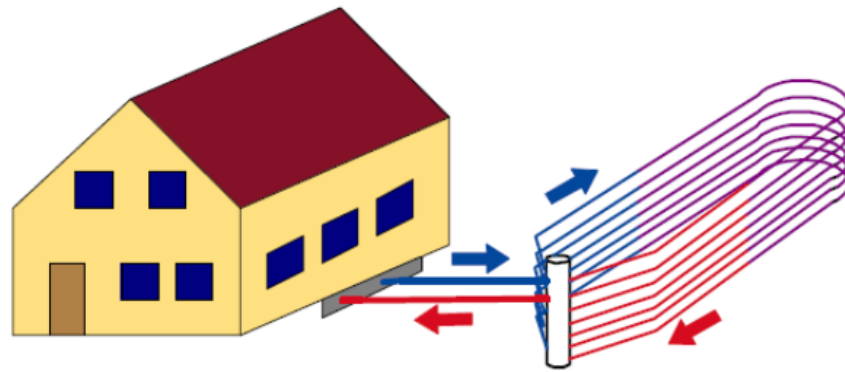


Рисунок 2.7 – закрита горизонтальна геотермальна система

Користуючись меншою площею при однаковому обсязі, ці колектори найкраще підходять для систем теплових насосів для опалення та охолодження, де природне перезавантаження ґрунту землі не є життєво необхідним. Для траншейного колектора до круто похилих стінок траншеї на кілька метрів глибиною прикріплено ряд труб невеликого діаметру.

2. Закрита вертикальна система, яка представлена на рис. 2.8. Особливим випадком вертикальних замкнутих систем є енергетичні труби, тобто фундаментні штифти, обладнані трубами теплообмінника. Можна використовувати всі їх види, а діаметри можуть змінюватись від 40 см до понад 1 м.

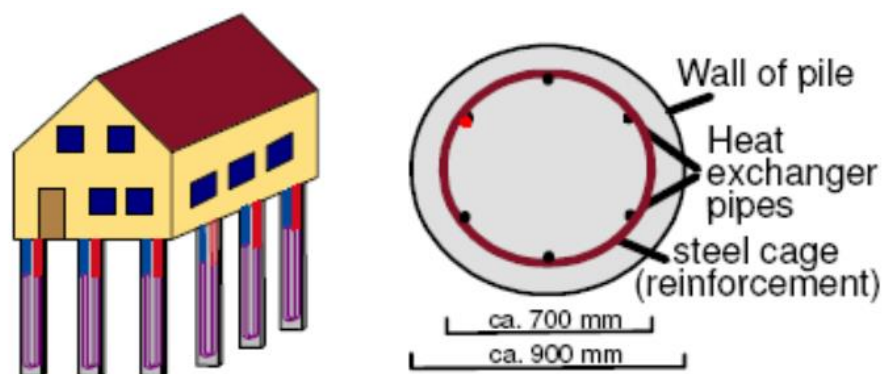


Рисунок 2.8 – Геотермальна система вертикального типу

## 2.5 Холодильні агенти

У цьому параграфі йдеться про найпоширеніші холодоагенти, які використовуються в технології теплових насосів, та короткий огляд їх характеристик.

Сьогодні домінуючими холодоагентами є фторовуглеводні. Однак в результаті Монреальського протоколу 1987 р. Про речовини, що руйнують, безумовно, озоновий шар. Застосування певних речовин припиняються через високий потенціал руйнування озону. Вони також мають високий потенціал, втім, глобального потепління. Відповідно до вимог, які були перелічені в Монреальському протоколі, науково-дослідна робота була зосереджена на дослідженні холодоагентів, що не містять хлору, та зменшенні їх токсичності та запалюваності.

В результаті цієї проблеми робота в Європі по заміщенню холодоагентам сконцентрувалася на природних холодоагентах, у яких наявні аміак, вуглеводні.

## 2.6 Використання теплої води з теплового насоса для опалення підлоги та радіаторів: переваги та недоліки.

Теплові насоси циклу стиснення пари добре підходять для низьких температур системи нагріву підлоги (наприклад, підлогове опалення) та системи з сучасними радіаторами, але вони мають поганий COP1 при використанні зі звичайними системами гідравлічного опалення з циркуляційними температурами 70 ° C і вище.

Для досягнення COP1 від 3,5 до 4,0 і більше буде використовуватися підлогове опалення та сучасні радіатори в якості розподільних систем для системи опалення для будівництва очисних споруд.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Модернізація системи опалення із застосуванням теплового насосу

Вартість опалення із застосуванням електричного котла навіть за тарифом на електричне опалення дуже висока.

Зважаючи на систематичне підвищення тарифу на електроенергію, подальша робота котла економічно не вигідна. Модернізація системи опалення приватного будинку використання такого альтернативного джерела теплогенерації як тепловий насос.

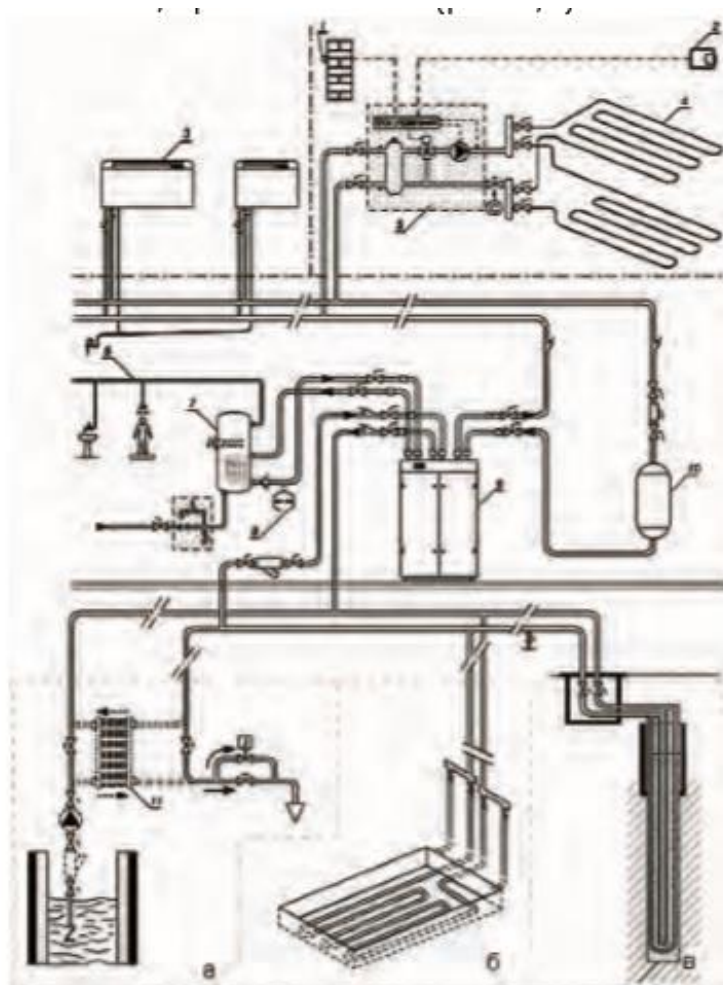


Рисунок 3.1 – Типова схема універсальної теплонасосної установки

Завдання оптимізації системи:

- модернізація системи постачання тепла та гарячого водного середовища.
- забезпечити значну економію витрат із застосування повітряного теплового насоса.
- розробити систему керування тепловим насосом для забезпечення оптимального функціонування
- також забезпечити вже наявне обладнання для опалення в якості резервного джерела теплового агенту.
- При потребі в гарячій воді необхідно використовувати також вже наявний бойлер з електричним нагрівом водного середовища.

Для початку виконання роботи необхідно проаналізувати дані вимірювань та розрахувати тепловтрати. Ми використаємо дані, приведені в [7]:

- при температурі за межами будинку  $-24^{\circ}\text{C}$
- при зовнішній температурі  $-10^{\circ}\text{C}$  - така температура була прийнята як оптимальна для розрахунку потужності теплового насоса при двовалентному режимі роботи, тобто прийнята точка двовалентності становить  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- аналіз сезонних та річних витрат на опалення та гарячу воду.
- перевірка стану системи розподілу тепла за зонами та вибір оптимальних температур теплоносія для радіаторів та підлогового опалення.
- розробка схеми гідравлічного підключення та визначення точок введення в існуючу систему.
- аналіз можливостей електропостачання будинку на основі ліміту потужності, виділеного підстанцією, розробка схеми підключення.
- аналіз компоновки котельні на можливість розміщення в ній теплового насоса та додаткових аксесуарів.

Після теплових розрахунків та аналізу кліматичних умов (середньорічних температур) середня місячна температура взимку  $-7^{\circ}\text{C}$  була визначена в районі установки [7].

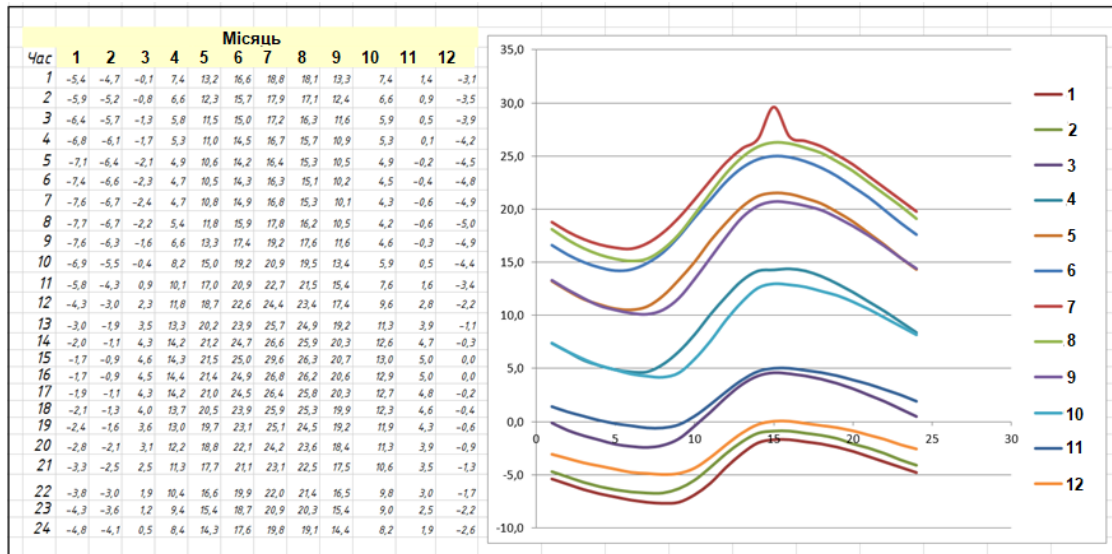


Рисунок 3.2 – Результати замірів температури

Також були визначені розрахункові тепловтрати будинку при різних температурах зовнішнього повітря:  $-24^{\circ}\text{C}$  та  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Ці цифри необхідні для визначення потужності теплового насоса, достатньої для покриття всіх втрат тепла в будинку.

Також була розрахована загальна теплова потужність, вироблена встановленими радіаторами та теплою підлогою за допомогою зовнішнього пакету програм [7].

Якщо взяти розрахункову температуру теплоносія в  $+65^{\circ}\text{C}$ , втрати тепла в будівлі повністю покриваються. Система опалення забезпечить будинок необхідною кількістю тепла.

Для економії коштів на тепло пропонується встановити тепловий насос, як основне джерело тепла. Тепловіддача теплового насоса достатня для покриття 100% тепловтрат будинку в холодну пору року, до зовнішньої температури  $-10^{\circ}\text{C}$ . Якщо зовнішня температура опускається нижче цієї

межі, паралельно підключається електричний котел подавати тепло в оселю. Система управління тепловим насосом автоматично має підключати друге джерело тепла.

Тип теплового насоса: розділена система, що складається з зовнішніх і внутрішніх блоків. Бак для гарячої води вже встановлений.

Итоги - Общие $T_n = -24C$		Итоги - Общие $T_n = -10C$	
Назван. проекта: Индивид. жилой дом Лучевое радиаторное отопление		Назван. проекта: Индивид. жилой дом Лучевое радиаторное отопление	
Расположение. . .		Расположение. . .	
Проектировщик: Сахарчук Андрей		Проектировщик: Сахарчук Андрей	
Дата расчетов: Среда, 26 октября 2016, 12:55		Дата расчетов: Среда, 26 октября 2016, 12:54	
<b>Параметры теплоносителя:</b> Тп, [oC]..... <b>80.00</b> <span style="margin-left: 200px;">То, [oC]: 60.00</span> Треа, [oC]..... <b>59.27</b> Тип носителя... Вода		<b>Параметры теплоносителя:</b> Тп, [oC]..... <b>65.00</b> <span style="margin-left: 200px;">То, [oC]: 45.00</span> Треа, [oC]..... <b>43.54</b> Тип носителя... Вода	
<b>Параметры источника тепла:</b> Сопр. гидр. [Па]: 0 <span style="margin-left: 100px;">Объем [л]: 0</span>		<b>Параметры источника тепла:</b> Сопр. гидр. [Па]: 0 <span style="margin-left: 100px;">Объем [л]: 20</span>	
<b>Информация о типах труб:</b> Тип A: KANPE20S Тип B: Тип C: Тип D: Тип E: Тип F: Тип G: Тип H: Тип I: Тип J: Тип K: Тип L: Тип M: Тип N: Тип O: Тип P:		<b>Информация о типах труб:</b> Тип A: KANPE20S Тип B: Тип C: Тип D: Тип E: Тип F: Тип G: Тип H: Тип I: Тип J: Тип K: Тип L: Тип M: Тип N: Тип O: Тип P:	
Гидр. сопрот. оборудования и источника тепла... dPo, [Па]: 53000 Миним. сопрот. участка с отопит. приб..... dPmin, [Па]: 446 Полный расход воды в оборудовании..... Go, [кг/с]: 0.301 Полная емкость оборудования..... Vo, [л]: 288 Расчетная тепловая мощность оборудования..... Qo, [Вт]: 25219 Теряемая мощность..... Qтер, [Вт]: 2148 Полная мощность, выделяемая оборудованием..... Qпол, [Вт]: 26135		Гидр. сопрот. оборудования и источника тепла... dPo, [Па]: 55000 Миним. сопрот. участка с отопит. приб..... dPmin, [Па]: 393 Полный расход воды в оборудовании..... Go, [кг/с]: 0.204 Полная емкость оборудования..... Vo, [л]: 304 Расчетная тепловая мощность оборудования..... Qo, [Вт]: 17009 Теряемая мощность..... Qтер, [Вт]: 1527 Полная мощность, выделяемая оборудованием..... Qпол, [Вт]: 18253	
<b>Отапливаемые помещения:</b> Перегретые . . . : 7 <span style="margin-left: 100px;">Избыток мощ., [Вт]: 2148</span> Недогретые . . . : 4 <span style="margin-left: 100px;">Дефицит мощ., [Вт]: 1243</span> Мощ. от. пр. [Вт]: 19480 <span style="margin-left: 100px;">Теплопот. от труб, [Вт]: 0</span>		<b>Отапливаемые помещения:</b> Перегретые . . . : 8 <span style="margin-left: 100px;">Избыток мощ., [Вт]: 1527</span> Недогретые . . . : 2 <span style="margin-left: 100px;">Дефицит мощ., [Вт]: 293</span> Мощ. от. пр. [Вт]: 11598 <span style="margin-left: 100px;">Теплопот. от труб, [Вт]: 0</span>	
<b>Помещения неотапливаемые:</b> Мощ. от. пр. [Вт]: 0 <span style="margin-left: 100px;">Теплопот. от труб, [Вт]: 0</span>		<b>Помещения неотапливаемые:</b> Мощ. от. пр. [Вт]: 0 <span style="margin-left: 100px;">Теплопот. от труб, [Вт]: 0</span>	
<b>Отопительные приборы:</b> Перегревающие . . : 8 <span style="margin-left: 100px;">Избыток мощ., [Вт]: 2148</span> Недогревающие . . : 3 <span style="margin-left: 100px;">Дефицит мощ., [Вт]: 1233</span> Расч. мощ. [Вт]: 18574 <span style="margin-left: 100px;">Реальная мощ., [Вт]: 19480</span>		<b>Отопительные приборы:</b> Перегревающие . . : 9 <span style="margin-left: 100px;">Избыток мощ., [Вт]: 1527</span> Недогревающие . . : 1 <span style="margin-left: 100px;">Дефицит мощ., [Вт]: 283</span> Расч. мощ. [Вт]: 10364 <span style="margin-left: 100px;">Реальная мощ., [Вт]: 11598</span>	

Рисунок 3.3 – Результаты розрахунку тепловтрат

Тип системи: двовалентний, Мережа: 3 фази.

Двовалентна схема роботи теплового насоса в поєднанні з електричним котлом економічно вигідна, оскільки дозволяє зменшити загальні інвестиції в обладнання та вибрати оптимальний варіант для прогнозованих поточних витрат. Кількість днів, коли температура повітря опускається нижче 10 градусів, надзвичайно мала порівняно з усім опалювальним періодом, а установка теплового насоса з перегрітим повітрям економічно не виправдана.



В умовах зовнішньої температури  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  розрахункова температура води при подачі / поверненні приймається для подачі в радіатори.  $M_p = +65\text{ }^{\circ}\text{C}$  (тобто  $= +45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Цю температуру можна забезпечити високотемпературним тепловим насосом, який може швидко нагрівати воду до  $T_{prod.} = +80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

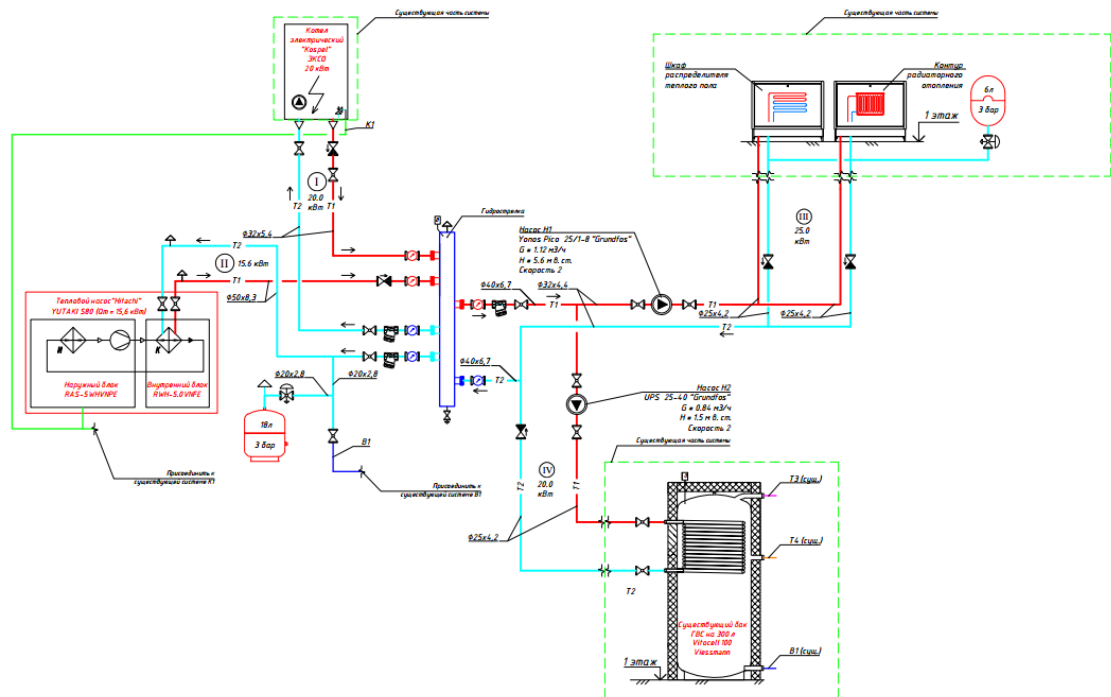


Рисунок 3.3 – Гідравлічна схема оптимізованої системи.

Перевагою обраної моделі є її модульна конструкція, яка дозволяє максимально зручно її інтегрувати в обрану систему теплопостачання. Тут використовується внутрішній теплонасос без вбудованого бака для гарячої води. У схемі також використовується вже встановлена котельна ємність на 300 літрів для обігріву побутової води.

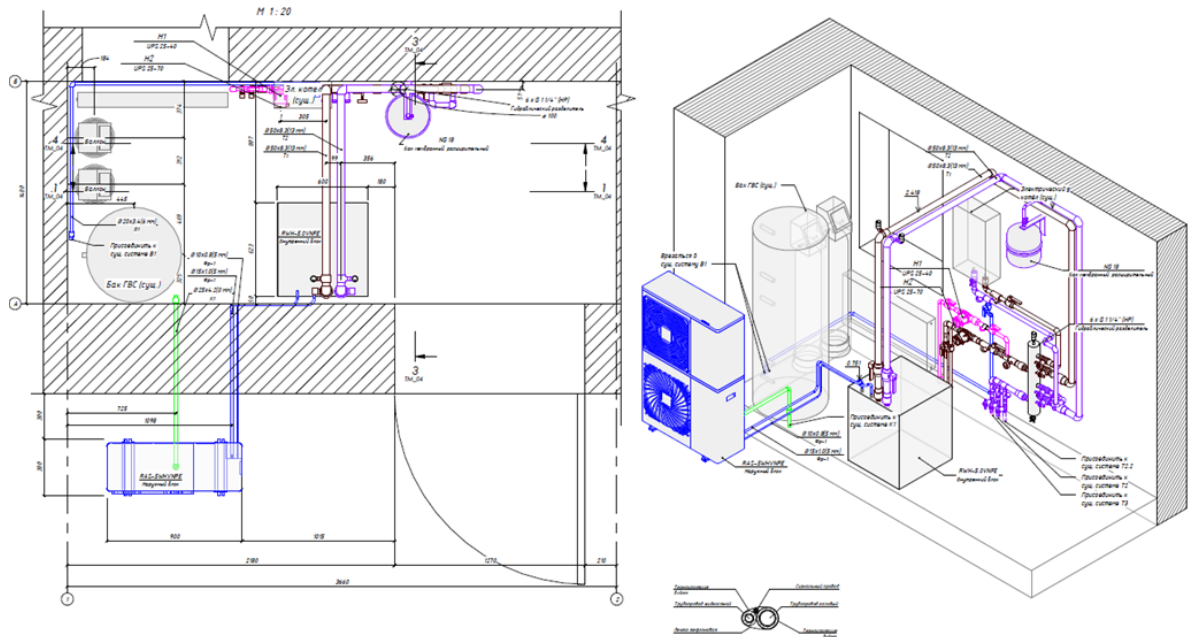


Рисунок 3.4 – План встановленого обладнання

Переваги теплового насоса Hitachi Yutaki S80:

- ідеально підходить для модернізації теплової системи
- подача замість уже встановленого котла, без заміни радіаторів.
- високотемпературна модель може забезпечити нагрівання теплоносія до  $+ 80^{\circ} \text{C}$  при зовнішній температурі до  $-20^{\circ} \text{C}$  без залучення додаткового джерела тепла.
- модульна конструкція, яку можна інтегрувати в існуючі системи.

Ці насоси сумісні з радіаторними системами та системами підлогового опалення.

- Yutaki S80 керує двома контурами опалення.
- Висока енергоефективність: КС до 5,0.
- Інноваційна схема Smart Cascade для енергоефективного нагріву теплоносія.

Система управління компресором інверторного струму постійного струму забезпечує гнучку настройку продуктивності насосу відповідно до зовнішньої температури.

Можливість управління додатковим обладнанням: джерелом тепла (котлом), котлом, сонячними колекторами тощо.

### **3.2 Розробка системи управління тепловим насосом**

Встановивши тепловий насос, наступним логічним кроком є можливість контролювати його продуктивність. Причини цього прості:

- необхідно мати постійний журнал даних та моніторинг процесу;
- стежачи за системою, можна виявити проблеми та вирішити їх;

Попередньо необхідно вирішити такі задачі:

- які параметри контролювати;
- яким обладнанням контролювати усі параметри;
- яким чином проводити архівування даних
- яким чином проводити візуалізацію
- яким чином отримати віддалений доступ до об'єкту

Вирішити, що слід контролювати було відносно просто, для нас найважливішим був моніторинг споживання електроенергії, температури резервуара для гарячої води, температури теплообмінника, що повертається, теплообмінника, температури холодного холодоагенту, температури гарячого холодоагенту з гарячим холодоагентом, виходу холодоагенту з гарячим котлом температура, зовнішня температура.

Наступним важливим кроком було вирішення питання, як слідкувати за обраними параметрами. В нашому випадку для домашнього застосування найбільш економічно вигідним варіантом є використання Arduino. У системі використали цифровий давач температури «ТСN75А». Даний датчик працює на шині «I<sup>2</sup>C», що дозволяє економити виходи системи. Також в системі було використано цифрові термометри «DS18B20» з програмованою роздільною здатністю. Останнім кроком було з'ясування зондування споживання електроенергії.

### Розробка масштабного перетворювача

Для того, щоб не втратити інформативну частину витрати електричної енергії в масштабному перетворювачі не можна застосовувати магнітних елементів (трансформаторів) поскільки вони можуть компенсувати або додавати гармонічні складові, в загальному згладжуючи криву. В зв'язку з цим у якості масштабного перетворювача вибираємо резистивний подільник напруги. Даний подільник складається із двох частин: частина, що працює під високою напругою; частина, що працює під низькою напругою (рис. 3.5)

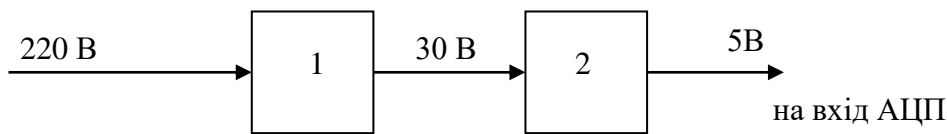


Рисунок 3.5 – Масштабний перетворювач: 1 – блок високої напруги;  
2 – блок низької напруги.

Схема електрична принципова високовольтною частини приведена на рис. 3.6.

Проводимо розрахунок параметрів елементів схеми.

Як відомо для подільника напруги:

$$U_{BX} = I_{BX} * (R1 + R2) \quad (3.1)$$

$$U_{BIX} = I_{BIX} * R2$$

$$I_{BIX} = I_{ex}, \text{ звідки}$$

$$\frac{U_{BX}}{R1 + R2} = \frac{U_{ВИХ}}{R2}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{R1 + R2} * R2 \quad (3.2)$$

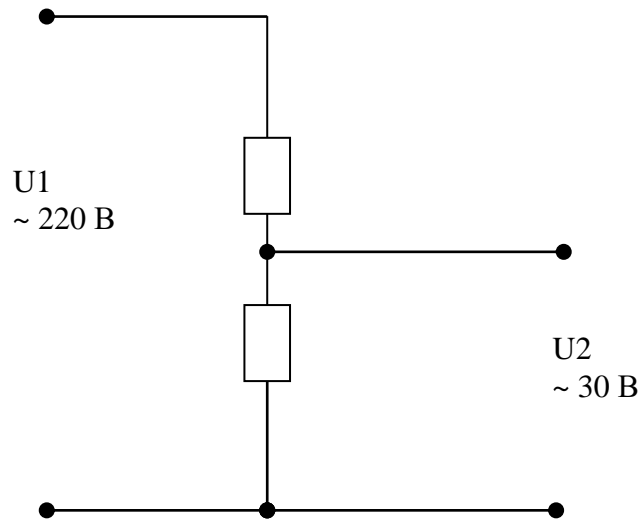


Рисунок 3.6 – Високовольтна частина перетворювача

Приймаючи  $R2 = 10 \text{ кОм}$ , знаходимо  $R1$

$$R1 = \frac{(U1 - U2) * R2}{U2} = 11,66 \text{ кОм}$$

Отже,  $R1 = 12 \text{ кОм}$ ,  $R2 = 10 \text{ кОм}$ . Вибираємо резистори серії УЛИ на номінальні опори  $10 \text{ кОм}$  і  $12 \text{ кОм}$ . Дані резистори характеризуються високою стабільністю параметрів, що не залежать від частоти. До того дані резистори мають високу точність щодо опору  $\pm 0,1 \%$ .

Проводимо розробку низьковольтної частини. Вона повинна мати підстроюваний резистор, для того, щоб можна було точно відрегулювати подільник на даний коефіцієнт поділу. Він розміщується в другій частині подільника в зв'язку з тим, що він має низьку точність щодо стабільності

опору і тому його опір повинен бути якнайменшим, щоб мало впливати на схему. Чим менший опір резистора, тим менше його точність впливає на загальну точність схеми.

Для захисту від ударних напруг, які часто виникають внаслідок різних факторів (наприклад удар блискавки) використовуємо два стабілітрони, протилежно ввімкнених на напругу стабілізації 47 В.

Схема електрична принципова масштабного перетворювача приведена на рис. 3.7.

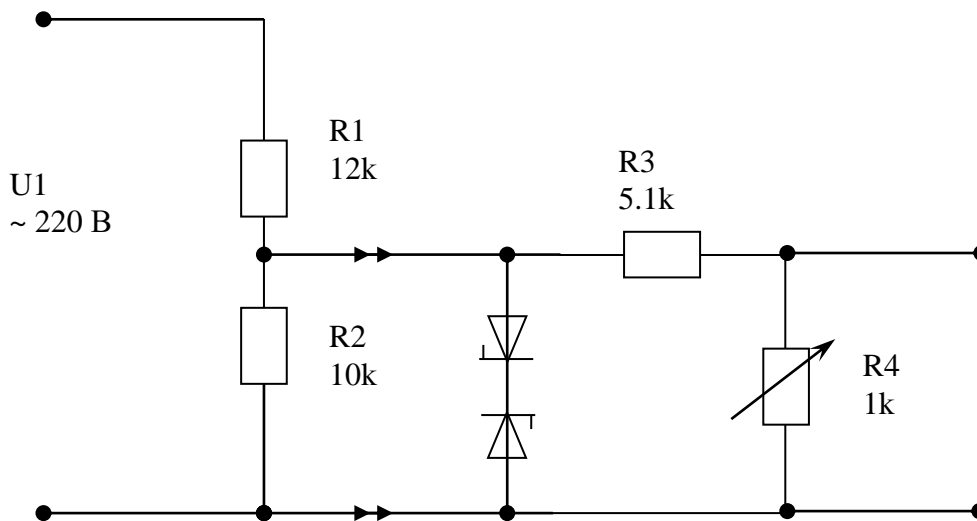


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова масштабного перетворювача

Проводмо розрахунок елементів низьковольтної частини. Приймаючи  $R4 = 1\text{кОм}$ , маємо

$$R3 = 25000 / 5 = 5 \text{ кОм}$$

Приймаємо діоди типу Д816Д, резистори  $R3$  – типу УЛИ на 5,1 кОм,  $\pm 0,1\%$ ;  $R4$  – типу СП5 – 1 кОм,  $\pm 5\%$ .

### Розробка давача миттєвих значень

Для запису миттєвих значень напруги необхідно сконструювати давач із пам'яттю і аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). АЦП перетворює напругу в цифровий код, одночасно з тактовими сигналами в пам'ять буде записуватись код, що відповідає напрузі на вході АЦП. Після заповнення ОЗУ дані передаються в мікропроцесорну систему. Для під'єднання до неї необхідно використати стандартний інтерфейс, для того, щоб при зміні системи не доводилося змінювати давач чи саму систему.

Блок – схема давача приведена на рис. 3.8.

Для запису напруги використаний АЦП, виконаний у вигляді мікросхеми, що підключається до мікропроцесорного блоку через порт КР 580ВВ55 або шляхом під'єднання до локальної шини ЕОМ. Восьмирозрядний АЦП (1102ПВ2А) паралельного перетворення тактується імпульсами керованого генератора КГ. Частота на виході генератора задається при його проектуванні і настройці і рівна 1.5 кГц. Тактова частота поступає на вхід адресного лічильника СТ.

Процес підрахунку тактових імпульсів (9 часова розгортка) запускається сигналом низького рівня на виході S RS тригера, в результаті чого на вхід Е лічильника поступає сигнал дозволу підрахунку з виходу Q RS тригера і закінчується сигналом Р переповнення лічильника. Результат підрахунку по 8-ми розрядній шині поступає на адресні входи ОЗУ (К573 РУ10) одночасно тактовими імпульсами проводиться запис результату перетворення АЦП в ОЗУ через шинний формувач Ш1.максимальна частота дискретизації залежить від генератора Г1.

Для керування шиною адреси ОЗУ при зчитуванні даних з пам'яті лічильник СТ, що має вхід паралельного завантаження L, використовується як восьмирозрядний регістр. Зчитування з пам'яті на шину SD після завершення циклу вимірювання проводиться через формувач Ш2. Для вимірювання в

реальному часі передбачений безпосередній вивід результату аналого-цифрового перетворення на шину SD через формувач ШЗ. Керування

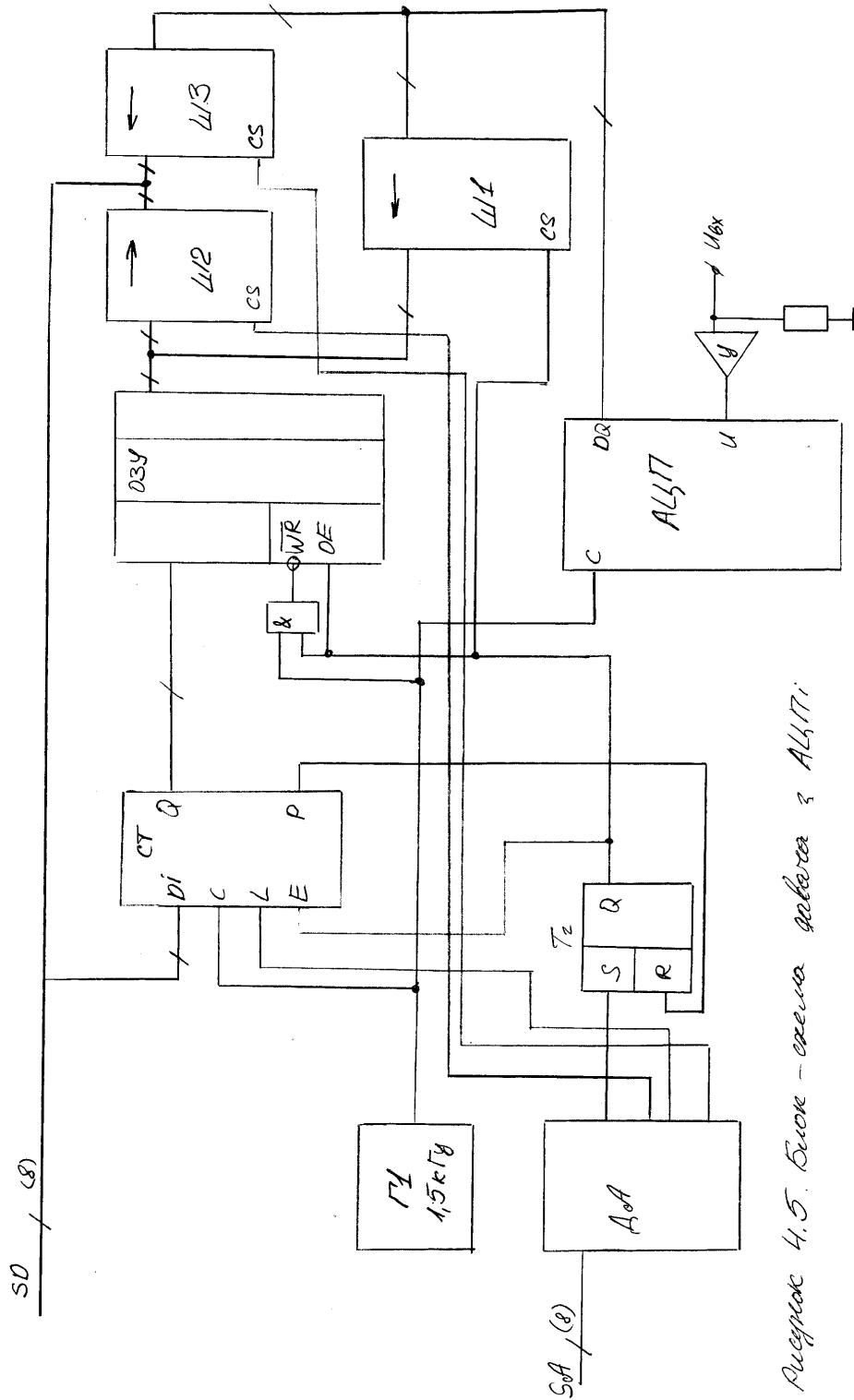


Рисунок 4.5. Блок-схема датчика з АЦП і буферним ОЗУ

Рисунок 3.9 – Блок-схема датчика з АЦП і буферним ОЗУ



вузлами здійснюється сигналами, що виробляються дешифратором адреси ДА.

Отже, вибираємо наступні елементи в даній схемі:

1. АЦП типу 1102ПВ2А. Позначення на схемі електрисній принциповій приведені на рис. 3.10.

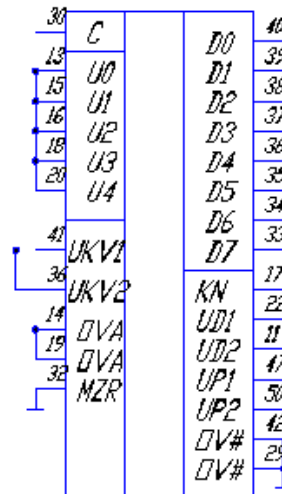


Рисунок 3.10 – Позначення на схемі електрисній принциповій АЦП 1107 ПВ2А

Призначення виводів мікросхеми наступне:

- U0-U4 – аналогові входи;
- C – тактовий вхід;
- D0-D7 – цифрові входи;
- MZR – лінія корекції;
- UP1,UP2,UD1,UD2 – опорні напруги;
- OVA – аналогова земля;
- KNL – корекція нелінійності;

- UKV1, UKV2 – входи керування законом перетворення. Для нашого випадку на дані входи необхідно подати дві логічні одиниці, щоб АЦП працював у двійковому прямому коді.

2. Шинні формувачі – типу КР 580ВА86. Позначення на схемі електричній принциповій приведені на рис. 3.11.

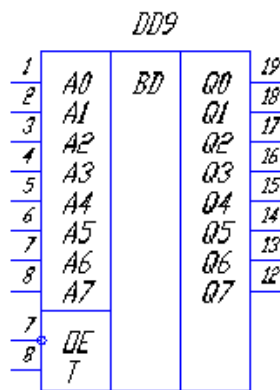


Рисунок 3.11 – Шинний формувач КР 580ВА86.

Призначення ліній:

- A0-A7 – вхідні або вихідні лінії;
- Q0-Q7 – вхідні або вихідні лінії;
- OE – вхід активізації;
- T – вхід напрямку передачі (логічна “1” – передача від А до Q, логічний “0” – передача від Q до А).

-

Оперативна пам’ять типу К537 РУ10. Позначення на схемі електричній принциповій приведені на рис. 3.12.

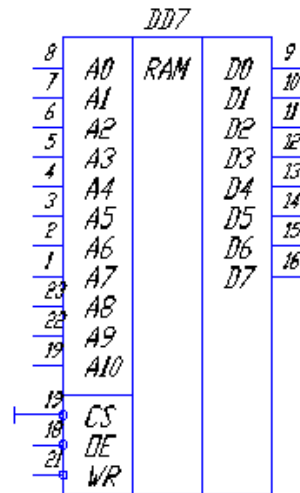


Рисунок 3.12 – Мікросхема пам'яті K537PY10.

Призначення виводів:

- A0-A10 – адресні входи;
- CS – вхід активізації мікросхеми;
- Q0-Q7 – входи виходи даних;
- WR – вхід запису;
- OE – вхід дозволу зчитування.

Адресний лачильник типу K555IE17. Позначення на схемі електричній принциповій приведені на рис. 3.13.

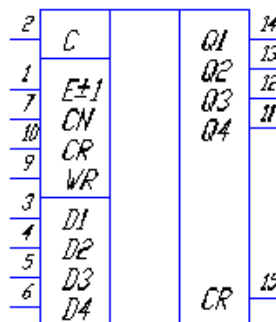


Рисунок 3.13 – Адресний лічильник K555IE17 Призначення ліній:

- C – вхід тактових імпульсів;
- $E \pm 1$  – вхід керування напрямком підрахунку;

- CN – вхід дозволу лічення;
- CR – вхід дозволу переносу;
- WR – вхід дозволу запису;
- D0-D4 – входи даних;
- Q0-Q4 – виходи лічення;
- CR – вихід переносу.

Тригер К555ТМ2. Позначення на схемі електричній принциповій приведені на рис. 3.14.

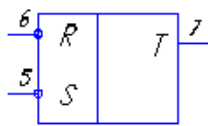


Рисунок 3.10 – Тригер К555ТМ2.

Для роботи даної схеми необхідно забезпечити синхронізацію її роботи. Для цього використовуємо генератор тактових імпульсів. Його будують на трьох логічних елементах І-НЕ типу К555 ЛА4. Схема електрична принципова генератора приведена на рис. 3.15.

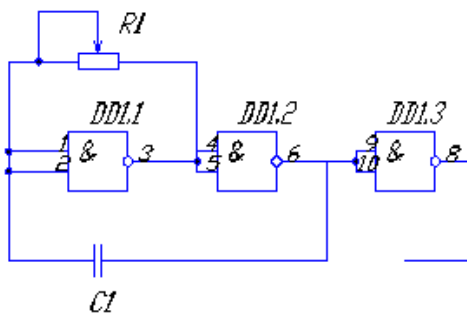


Рисунок 3.15 – Генератор тактових імпульсів.

Прямокутні імпульси формуються на виході мікросхеми DD1.3 за рахунок перезаряду RC ланки. Частота тактових імпульсів рівна сталій часу ланки:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \quad (3.3)$$

звідси, приймаючи  $R1 = 1\text{кОм}$ , отримуємо:

$$C1 = 1/(1500*2000) = 330 \text{ нФ}$$

Приймаємо резистор серії СП5 –  $2 \text{ кОм} \pm 5\%$  і конденсатор серії КСО5  $330 \text{ нФ} \pm 10\%$ .

Дешифратор адреси формуємо на мікросхемах 555 серії.

Вибір режиму проводиться по 4-ох старших розрядах адресної шини:

- запис в адресний регістр – OF;
- зчитування з пам'яті за адресою – OE;
- ініціалізація АЦП – OD;
- прямий запис – OC;

Схема електрична принципова дешифратора приведена на рис. 3.16.

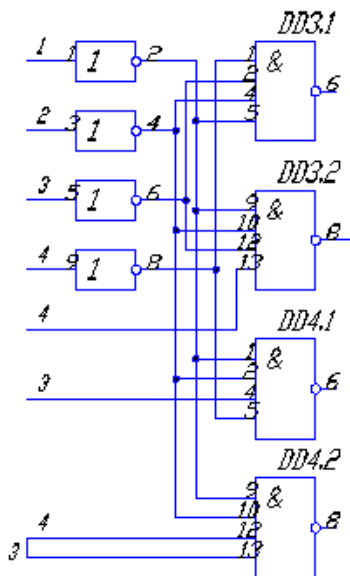


Рисунок 3.16 – Схема електрична принципова дешифратора адреси.

Схема давача миттєвих значень у зовнішньому виконанні приведена на рис. 3.17.

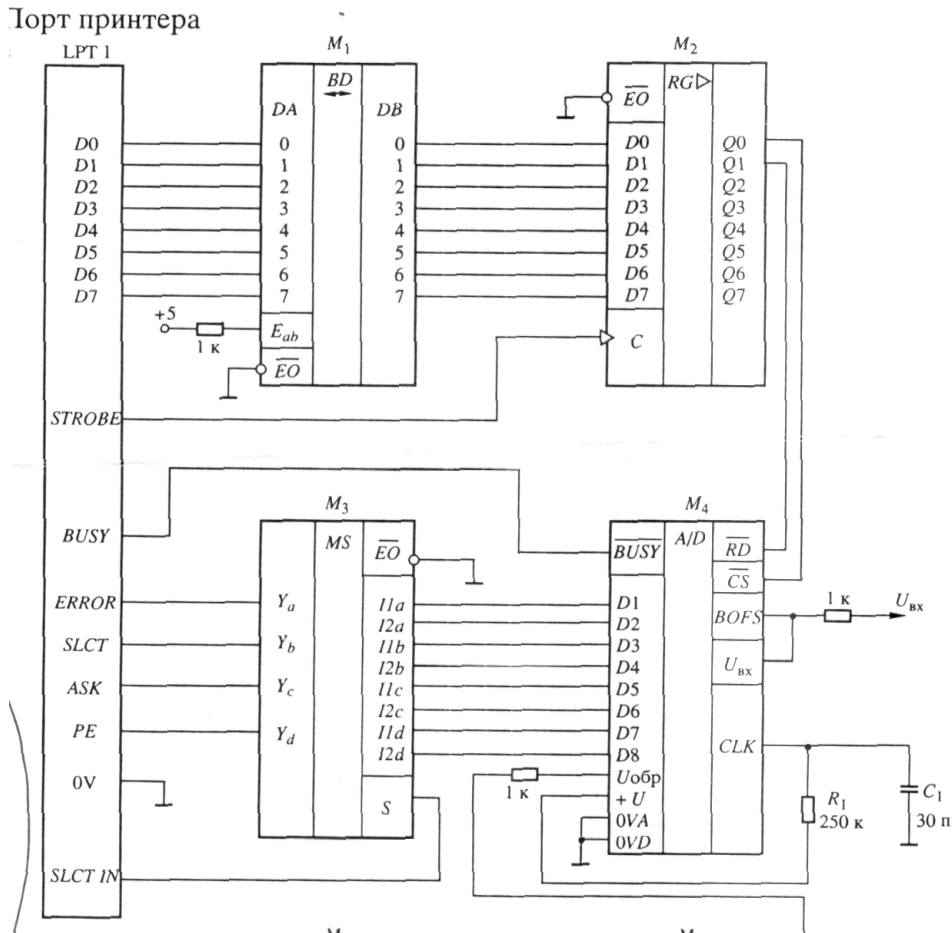


Рисунок 3.17 – Схема електрична принципова давача миттєвих значень у зовнішньому виконанні:  $M_1$  – K1533AP6,  $M_2$  – K1533IP23,  $M_3$  – K1533KP11,  $M_4$  K572PB3,  $C_1$  – KM56.

Дана схема використовує протокол обміну інформацією через інтерфейс Centronics – паралельний порт комп'ютера IBM PC. Максимальна швидкість обміну через цей інтерфейс 100 Кб/с і в більшій степені визначається швидкістю комп'ютера.

Одно каналний АЦП напруги працює в режимі статичного ОЗУ з довільною вибіркою. Основу давача складає 8-ми розрядна мікросхема K572PB3, яка функціонує в режимі автоматичного перетворення змінної в часі аналогової напруги в числовий код. Вхідна напруга в межах від 0 до 10 В перетворюється в двійковий код. Сигнали RD і CS, необхідні для роботи

АЦП формуються програмно і через буферний підсилювач М1 і 8-ми розрядний регістр М2 поступають на М4. АЦП М4 з допомогою внутрішніх логічних пристроїв керування і синхронізації формує сигнали СКИД, ПОЧАТОК ПЕРЕТВОРЕННЯ, сигнали керування буферним регістром і вихідний сигнал BUSY. Після закінчення повного циклу перетворення, Який триває 7,5 мкс, інформація через мультиплексор М3 направляється в ПК.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1. Огляд моделі

Метод скринінгу передбачає конкретні межі системи для теплового насоса, зображені на рис. 4.1. Перший рівень - це блок теплового насоса, що складається з компонентів, необхідних для термодинамічного циклу. Цей рівень відповідає класифікації, і відображається термодинамічною моделлю. Модельні виходи - коефіцієнт теплового насоса, коефіцієнт продуктивності КЗ та потужність  $\dot{Q}$ . Інвестиційні витрати на тепловий насос  $I$ , також формулюються на цьому рівні. Всі варіанти змінних оптимізації, як цілого, так і безперервного типу, впливають на конструкцію, а отже, і на модель блоку теплового насоса.

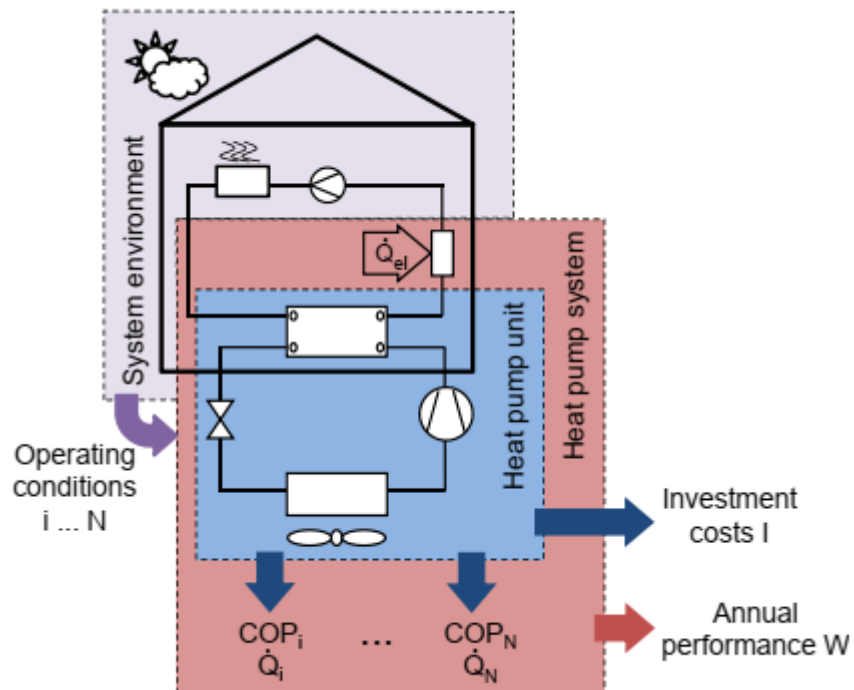


Рисунок 4.1 - Системні межі річної моделі продуктивності.



Другий рівень, система теплового насоса, - це інтерфейс між блоком теплового насоса та будівлею. Як описано в [8], на цьому рівні враховуються відхилення між будівельним попитом та потужністю теплового насоса. На цьому рівні розраховується річний параметр продуктивності, наприклад щорічний вхід  $W$ , що працює. На відміну від визначень, характеристики джерела тепла та системи розподілу тепла тут не включаються, а поєднуються із будівельною системою до рівня системного середовища. Останній рівень характеризується узагальненими робочими умовами експлуатації для споживання тепла в будівлі та температури джерела тепла та раковин. Ці характеристики визначають вхідні параметри для моделювання блоку теплового насоса.

Для змінних безперервної оптимізації виводиться метамоделювання обраного річного параметра продуктивності. Як показано на рис. 4.2, щорічний розрахунок продуктивності на рис. 4.1 повторюється кілька разів із різними значеннями змінних оптимізації. Комбінації значень визначаються вибраним алгоритмом фіксації кривих. Виходячи з результатів, безперервна метамоделювання виводиться як функція оптимізованих змінних  $Z$ . У разі одноосібної оптимізації метамоделювання перетворюється на виражені операційні витрати  $O$  та поєднується з інвестиційними витратами  $I$ . Отримана цільова функція використовується для мінімізації загальної вартості власності та тим самим оптимізує конструкцію теплового насоса.

### **3.2 Термофізична модель тепла насосного агрегату**

Кожна модель циклу стаціонарного стану складається з індивідуальних моделей для кожної з компонентів теплового насосного агрегату. Для моделі описаний базовий цикл, показаний на рис. 4.3, що включає компресор, конденсатор, випарник з вентилятором та пристроєм розширення. Значення для масового потоку, ентальпії та тиску передаються між складовими моделі.

Ця основна модель коригується відповідно до конкретних питань різних прикладів застосування.

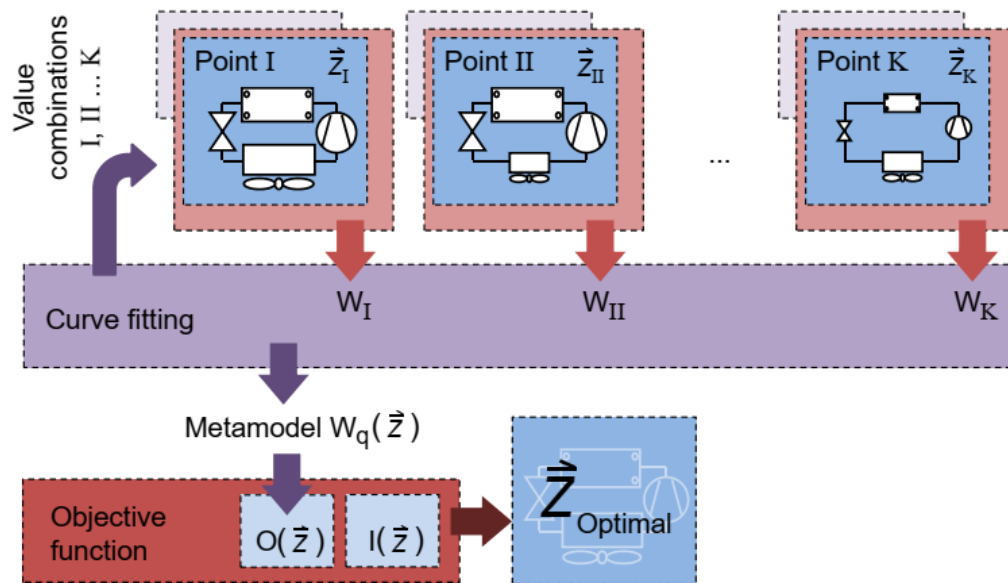


Рисунок 4.2 – Метамоделі для моделювання процесу.

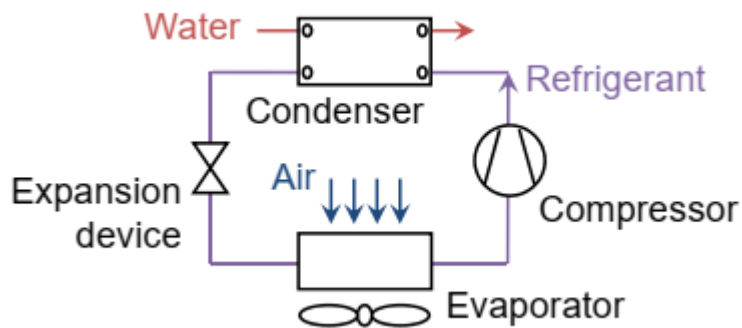


Рисунок 4.4 - Основні компоненти теплового насоса з базовим циклом.

### Циклічні рівняння

Коефіцієнт продуктивності COP обчислюється як відношення потужності, поданої в конденсаторі до води side  $Q$ , і споживаної потужності компресора  $P_r$  і вентилятора з боку повітря  $P_f$ . Споживаною потужністю насоса з боку води нехтують, оскільки він часто не є невід'ємною частиною блоку теплового насоса, а гідронічної системи в будівлі.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}}{P_p + P_f} \quad (4.1)$$

Загальний енергетичний баланс відповідає потужності випарника  $\dot{Q}_e$ , конденсатору та споживаній потужності компресора.

$$\dot{Q}_e = \dot{Q} - P_p \quad (4.2)$$

### Компресор

Виробники компресорів зазвичай описують номінальну потужність компресора  $P_{p,0}$  та номінальну потужність випарника  $\dot{Q}_{e,0}$  з десятикoeffіцієнтними поліноміальними функціями номінальної температури конденсації  $T_{c,0}$  та температури випаровування  $T_{e,0}$  (урівнювання (4.3) та (4.4)). Коefіцієнти  $j_i$  та  $k_i$  цих поліномів визначаються експериментально для конкретного холодоагенту, перегріву та переохолодження. Рівняння (4.3) та (4.4) можна використовувати з тими ж коefіцієнтами  $i$  для інших холодоагентів, ніж зазначено виробником, якщо властивості холодоагенту схожі. У цьому випадку  $T_{c,0}$  і  $T_{e,0}$  являють собою температури насичення номінального холодоагенту при конденсації та тиску випаровування цікавого холодоагенту.

$$\begin{aligned} P_{p,0} = & j_0 + j_1 T_{e,0} + j_2 T_{c,0} + j_3 T_{e,0}^2 + j_4 T_{e,0} T_{c,0} + j_5 T_{c,0}^2 \\ & + j_6 T_{e,0}^3 + j_7 T_{e,0}^2 T_{c,0} + j_8 T_{e,0} T_{c,0}^2 + j_9 T_{c,0}^3 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{e,0} = & k_0 + k_1 T_{e,0} + k_2 T_{c,0} + k_3 T_{e,0}^2 + k_4 T_{e,0} T_{c,0} + k_5 T_{c,0}^2 \\ & + k_6 T_{e,0}^3 + k_7 T_{e,0}^2 T_{c,0} + k_8 T_{e,0} T_{c,0}^2 + k_9 T_{c,0}^3 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Для коригування номінальних значень для фактичного перегріву та переохолодження використовуються такі рівняння

$$P_p = P_{p,0} \frac{\rho \eta_v \Delta h_{is} \eta_{is,0}}{\rho_0 \eta_{v,0} \Delta h_{is,0} \eta_{is}} \quad (4.5)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_{e,0} \frac{\rho \eta_v (h_{e,out} - h_{e,in})}{\rho_0 \eta_{v,0} (h_{e,out} - h_{e,in})_0} \quad (4.6)$$

Номінальні властивості холодоагенту також розраховуються при температурах насичення номінального холодоагенту. Відмінності між  $\eta_v$  і  $\eta_{v,0}$  і між  $\eta_{is}$  і  $\eta_{is,0}$  вважаються невеликими, ці параметри виключаються з рівнянь. (4.5) та (4.6). Для моделювання на основі компонентів корисно безпосередньо розрахувати витрату маси холодоагенту в моделі компресора замість ємності випарника. Рівняння, реалізовані в моделі компресора, таким чином:

$$P_p = P_{p,0} \frac{\rho \Delta h_{is}}{\rho_0 \Delta h_{is,0}} \quad (4.7)$$

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_{e,0} \rho}{\rho_0 (h_{e,out} - h_{e,in})_0} \quad (4.8)$$

У цьому дослідженні компресор R407C використовується в моделях теплового насоса R290. Відношення тиску насичення R290 до тиску насичення номінального холодоагенту R407C коливається в межах від 1,18 при -26 °C і 0,82 при 70 °C, що відповідає абсолютним перепадам тиску 0,3 бар при мінімальних температурах на стороні всмоктування і 5,9 бар для максимальних температур на стороні вивантаження. Оскільки холодоагенти можна розглядати як подібні по відношенню до тиску насичення у всьому робочому діапазоні, передбачається, що ці поправки на холодоагент, перегрівання та переохолодження тут підходять.

Якщо швидкість компресора регулюється за допомогою перетворювача частоти, виникають додаткові втрати. У цьому випадку поліноми-виробники використовуються для обчислення поправочних коефіцієнтів для  $P_{p,0}$  і  $Q_{e,0}$ . Ці поправочні коефіцієнти - це функції  $T_{c,0}$ ,  $T_{e,0}$  і швидкості обертання і враховують як втрати в інверторі, так і в двигуні.

Компресорний ізотропний коефіцієнт корисної дії  $\eta_{is}$  та об'ємний ККД  $\eta_v$  корисні для оцінки та порівняння компресорів. Вони обчислюються за наступними рівняннями, використовуючи ентальпію виходу ізотерпічного компресора, - щільність холодоагенту на вході компресора  $\rho$  та об'єм компресора  $\dot{V}_p$  власний  $\dot{V}_p$ . Об'ємна витрата залежить від об'єму камери компресора та швидкості обертання компресора.

$$P_p = \dot{m}_r \frac{h_{out,is} - h_{in}}{\eta_{is}} \quad (4.9)$$

$$\dot{m}_r = \rho \dot{V}_p \eta_v \quad (4.10)$$

У спрощеній версії моделі компресора, рівняння (4.9) та (4.10) можуть замінити рівняння (4.7) і (4.8).  $\eta_{is}$  і  $\eta_v$  - це вхідні параметри.

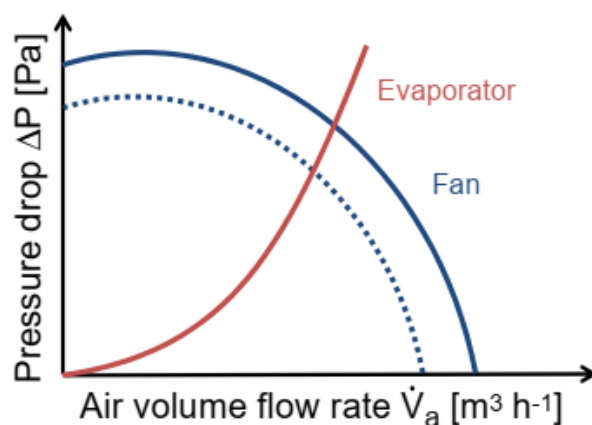


Рисунок 4.5 - Схема кривих перепаду тиску вентилятора та випарника.

Схематичні криві перепаду тиску випарника та вентилятора зображені на рис. 4.4. Використовуючи простий підхід, падіння тиску випарника можна описати за допомогою рівняння (4.11) як квадратична функція швидкості volume власного обсягу повітря  $\dot{V}_a$ . Емпірична константа  $\psi_a$  описує нахил.  $\psi_a$  залежить від численних параметрів, що описують геометрію сторони повітря випарника, наприклад  $f$  і  $n$  інтервал, відстань між трубами та кількість рядів труб та стовпців.

$$\Delta p = \psi_a \dot{V}_a^2 \quad (4.11)$$

Споживана потужність вентилятора  $P_f$  може бути виражена коефіцієнтом корисної дії вентилятора  $\eta_f$  як функція падіння тиску та швидкості об'ємного потоку:

$$P_f = \frac{\Delta p \dot{V}_a}{\eta_f} \quad (4.12)$$

Якщо випарник і вентилятор поєднуються, то точка роботи описується перетином кривої вентилятора та системи. Рівняння рівнянь (3.11) і (3.12) веде до рівняння кубічного рівняння (3.13) для потужності вентилятора. Коефіцієнт  $\psi_f$  - це співвідношення  $\psi_a$  і  $\eta_f$  і, таким чином, описує як випарник, так і характеристики вентилятора.

$$P_f = \psi_f \dot{V}_a^3 \quad (4.13)$$

Базове значення, яке використовується для  $\psi_f$  у цьому дослідженні, дорівнює 1 і змінюється в дослідженнях чутливості.  $\psi_f$  підтримується постійним для всіх умов експлуатації та розглядаються варіанти дизайну.

Відповідно до рівняння (4.13) із збільшенням швидкості  $\text{volume}$  власного потоку повітря витрата вентилятора збільшується. З іншого боку, зростаюча об'ємна потужність  $i$ , отже, швидкість повітря призводить до підвищення коефіцієнта теплопередачі на стороні повітря, а отже, загального коефіцієнта теплопередачі випарника. Цей вплив відображено у моделі випарника за допомогою рівняння (4.36) та співвідношення теплопередачі на стороні повітря. Індуковане підвищення температури випаровування зменшує споживання енергії компресора. Тому швидкість повітряного потоку може бути піддана оптимізації, як вказувало. При значенні  $\psi_f = 1$  рівняння (4.13) оптимізація коефіцієнта потоку повітря з метою мінімізації річного попиту на електроенергію для теплового насоса з базовою швидкістю швидкості призводить до щорічної потреби в потужності вентилятора, що становить близько 6,7% від загальної річної потреби в електроенергії. Це добре відповідає результатам, які визначали у фінальних випробуваннях типові щорічні потреби в потужності вентилятора нижче 7% від загальної потреби в електроенергії. Коефіцієнт вологообігу повітря індивідуально оптимізується для різних змін технологій.

#### Теплообмінники

Фізику теплообмінників складно описати математично. Тривимірний баланс маси та енергії, а також рівняння Нав'є-Стокса повинні бути вирішені для повного опису живої механіки. Але оскільки обчислювальна електронна система для цього підходу є занадто великою, було розроблено ряд різноманітних одновимірних моделей для імітації перехідних двофазних потоків. Вони, як правило, можна розділити, на дві категорії, підхід рухомих граничних чи згуртованих параметрів та розподілені моделі. За останніх, як правило, можна сказати, що вони є більш досяжними щодо геометрії та недоліків розподілу і дають більш детальні та точні результати.

Замість використання великої кількості просторово рівних розподілених осередків рухомі прикордонні моделі ділять теплообмінник на

мінімальну кількість зон відповідно до теперішнього стану рідини, тобто газу, рідини або двофазності, і надають набір рівнянь для кожна з цих зон. Властивості рідини та коефіцієнти тепловіддачі усереднюються у кожній зоні. Отже, кількість рівнянь, які потрібно розв'язати, значно і скорочується.

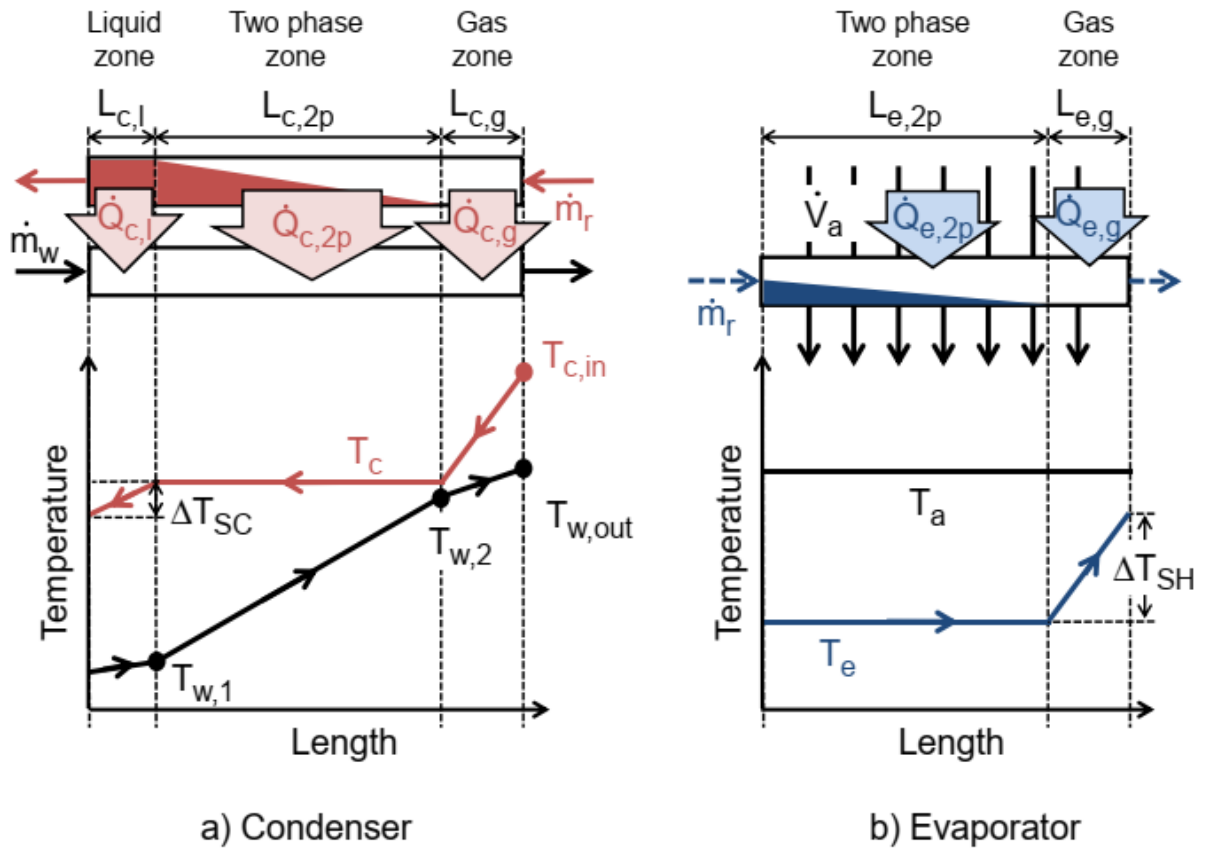


Рисунок 4.6 – Ескізи моделей конденсатора та випарника.

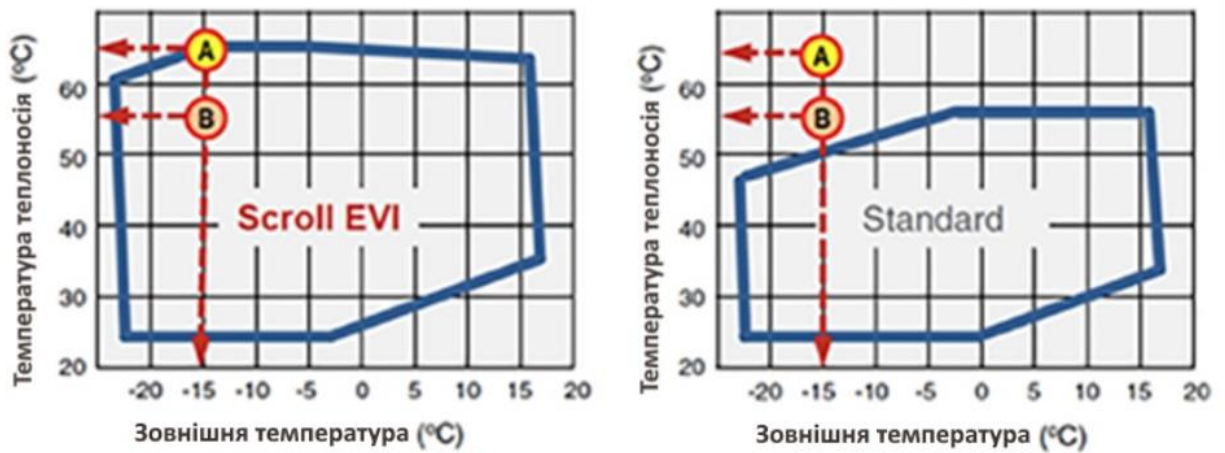


Рисунок 4.7 – Результати оптимізації.



## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1. MQTT. Загальна характеристика

Для використання засобів дистанційного контролю в роботі планується використати протокол MQTT, який дозволяє реалізувати систему дистанційного керування та контролю параметрів мікроклімату в приміщеннях. Оскільки дана система знаходиться в будівлі, а вказаний протокол використовує хмарні сервіси, то отримати доступ до надих об'єкту можна отримати з будь-якої точки земної кулі, де є наявний інтернет.

Стрімкий розвиток Інтернету речей призвело до появи безлічі прикладних протоколів, необхідних для його реалізації. Питаннями стандартизації та практичного впровадження цих протоколів займаються міжнародні організації (ITU-T, IEEE, ETSI, OASIS), неурядові асоціації (oneM2M), альянси виробників і операторів (IERC, ISO / IEC), партнерські проекти (IoT-A). Незважаючи на невелику кількість зацікавлених сторін, зусилля, що робляться в основному носять локальний, роз'єднаний характер і спрямовані на вирішення досить вузьких завдань.

Становлення Інтернету речей значно розширює можливості збору, аналізу і розподілу даних, які для людини перетворюються в інформацію, знання і використовуються для вирішення специфічних завдань. Існує безліч реалізацій мереж Інтернету речей - системи контролю і спостереження на виробничих об'єктах, в приватних будинках, а також в різних інших сферах життя, наприклад в охороні здоров'я. Те, чим буде Інтернет речей для конкретної організації або сфери, безпосередньо залежить від поставлених цілей і завдань.

Архітектура Інтернету речей передбачає наявність таких функціональних рівнів: мережа датчиків, шлюз, управління, додаток.

Оскільки нижній рівень складається з датчиків і сенсорів, то відразу ж виникає необхідність в "особливих" протоколах для забезпечення взаємодії цих пристроїв один з одним і верхніми рівнями. Стандартні прикладні протоколи не підходять через їх непристосованість до умов мережі Інтернету речей. Датчик, зазвичай мініатюрний, з невеликою пам'яттю, вимірює фізичні параметри в режимі реального часу, найчастіше в умовах низького енергозабезпечення. Результати вимірювань обробляються сенсорним вузлом і передаються на сервер. Обсяг інформації, що формується одним сенсорним вузлом, порівняно невеликий, проте більшість сервісів Інтернету речей побудовано на принципі обробки інформації від безлічі вузлів, що принципово відрізняється від архітектур, прийнятих в класичних мережах, типу абонент - вузол зв'язку для телефонії, клієнт-сервер для передачі даних .

Таким чином, ми стикаємося з новою архітектурою: багато джерел - багато одержувачів, крім того, обсяг трафіку від сенсорного вузла може бути як дуже маленьким, так і дуже великим. Звичні прикладні протоколи не розраховані на подібне використання.

Для мереж, що використовують обладнання різних платформ і допускають застосування простого протоколу передачі повідомлень, можна використовувати STOMP.

STOMP – Simple (или Streaming) Text Oriented Message Protocol – простий протокол обміну повідомленнями, що передбачає широку взаємодію з багатьма мовами, платформами і брокерами. Даний протокол підходить під шаблон "видавець-передплатник" і за допомогою повідомлень SEND, SUBSCRIBE, UNSUBSCRIBE, BEGIN, COMMIT, ABORT, ACK, NACK, DISCONNECT організовує зв'язок з брокером за методом "запит-відповідь".

Протокол в цілому схожий на HTTP, використовує транспорт TCP, є простим текстовим протоколом, що дозволяє клієнтам STOMP спілкуватися з будь-яким брокером повідомлень, що підтримує даний протокол. Таким чином, це спосіб взаємодії, розроблений для обміну повідомленнями між

платформою, описуваної на одній мові програмування, і клієнтом, програмне забезпечення якого розроблено на іншій мові. Підтримує велику кількість сумісних клієнтських бібліотек, пов'язаних мов.

Протокол MQTT (Message Queue Telemetry Transport) - як очевидно з назви, призначений для телеметрії і дистанційного моніторингу.

Використовується для обміну сполучення між пристроями за принципом "видавець-передплатник", дає їм змогу надсилати і отримувати дані при виникненні певної події. MQTT - бінарний протокол обміну повідомленнями, що має на увазі публікацію / підписку, що працює з використанням стеку протоколів TCP/IP. Спрощена схема, що ілюструє обмін повідомленнями MQTT. Протокол використовує чотирнадцять повідомлень, які передбачають запит-відповідь: CONNECT, CONNACK, PUBLISH, PUBACK, PUBREC, PUBREL, PUBCOMP, SUBSCRIBE, SUBACK, UNSUBSCRIBE, UNSUBACK, PINGREQ, PINGRESP, DISCONNECT. Згідно зі специфікацією за допомогою перерахованих повідомлень можливо контролювати такий параметр, як QoS, - в даному випадку під цим мається на увазі контроль рівня обслуговування повідомлень за допомогою трьох класів QoS.

Узагальнюючи даний розділ, зазначимо, що для забезпечення роботи брокера в мережі Інтернету речей можливе використання обох протоколів: MQTT і STOMP. Необхідно тільки уточнити, що протокол MQTT забезпечує "наскрізний" зв'язок, як від брокера до сенсорних вузлів, так і від брокера до сервера, тоді як протокол STOMP орієнтований тільки на взаємодію брокера з сервером.

Протокол MQTT - Message Queuing Telemetry Transport - протокол для передачі послідовності повідомлень з телеметричними даними, тобто інформації від датчиків температури, вологості, освітленості і ін.

MQTT був запропонований в 1999 р. Енді Стандфордом-Кларком як протокол, який би слугував для передачі даних про стан нафтопроводу і

газопроводу в реальному часі. Розробка велася компанією IBM для нового трубопроводу найбільшої американської нафтової компанії ConocoPhillips. В рамках створення диспетчерської системи управління та збору даних (SCADA)

необхідно було забезпечити гарантований збір всілякої інформації: стан насосів, температура підшипників, швидкість потоків, стан клапанів, рівні в баках і т.д. При цьому необхідно було врахувати дорожнечу каналів зв'язку і вузьку смугу пропускання. Жоден з існуючих протоколів не підходив під ці завдання, таким чином, сформувалися вимоги до нового протоколу: якість обслуговування, двосторонній зв'язок, ефективне використання смуги пропускання.

Вперше протокол MQTT був опублікований консорціумом OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards) в жовтні 2014 р Даний стандарт знаходиться у відкритому доступі. У червні 2016 р стандарт був визнаний Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO). MQTT Version 3.1.1 був зареєстрований технічним комітетом з інформаційних технологій ISO (JTC1) під номером ISO / IEC 20922. Основні риси протоколу MQTT:

- асинхронний протокол, забезпечує прийом/передачу символів поодиночі, які представлені стартовими і стоповими символами.
- компактні повідомлення, оскільки зазвичай працюємо в умовах вузької смуги пропускання, ми мінімізуємо повідомлення, і лишаємо лише корисну складову.
- це легка інтеграція нових пристроїв, масштабованість
- обмін повідомленнями відбувається за принципом "видавець-передплатник" (Pub-Sub);
- розмір заголовка повідомлення становить 2 байта, а корисне навантаження може варіюватися від 1 байта до 260 Мбайт;

- в протоколі закладена можливість вибору одного з трьох рівнів обслуговування.
- Працює поверх протоколів TCP/IP та використовує 1883 порт для роботи. 8883 порт при роботі з SSL/TSL сертифікатами (рис. 2.2.1).

Відмінною особливістю принципу "видавець-передплатник" від клієнт-серверного підходу є те, що клієнти, що надсилають повідомлення (видавці, Publisher), і клієнти, які отримують повідомлення (підписники, Subscriber), як правило, розділені. Поділ може бути організовано в трьох площинах:

- простір - видавець і підписник не зобов'язані знати один одного;
- час - видавець і підписник не повинні бути включені в один і той же час;
- синхронізація - операції на обох сторонах не повинні припинятися протягом публікації або отримання інформації.



Рисунок 5.1 - Рівні протоколів у моделі OSI

Видавець і підписник не передають один одному повідомлення безпосередньо, не встановлюють прямий контакт, можуть не знати про існування один одного. Координує і керує передачею повідомлень від видавця до підписника і від підписника до видавця брокер (Broker). Розпаралелювання операцій на брокера є другою важливою особливістю принципу взаємодії "видавець-передплатник".

MQTT-клієнт - це пристрій, оснащений мікроконтролером, що підтримує стек TCP / IP. Клієнтські бібліотеки MQTT доступні для великого числа мов програмування, наприклад Android, Arduino, C, C ++, C #, Go, iOS, Java, JavaScript, NET.

Брокер є основним елементом системи "видавець-передплатник". Він відповідає за прийом всіх повідомлень, прийняття рішення про те, кому цікаві ці повідомлення, і, в кінцевому підсумку, за пересилку повідомлень всім клієнтам-передплатникам.

Серед серверних реалізацій брокера можна виділити IBM WebSphere MQ; відкрите ПЗ Mosquitto; рішення, засноване на хмарному сервісі Eurotech Everywhere Device Cloud; легко масштабується і високопродуктивний відкритий сервер emqtt, остання версія (0.17) дозволяє обслуговувати 1,3 мільйона з'єднань; брокер HiveMQ, що забезпечує корпоративну безпеку і максимальну масштабованість.

Для розробки макету ми обрали брокер Mosquitto через те що він перебуває у відкритому доступі і має хорошу документацію. Хоч його конкурент HiveMQ має кращі налаштування що дозволять простіше масштабувати нашу систему, проте цей брокер є комерційним і перебуває у закритому доступі.

## 5.2 Типи повідомлення в MQTT

Обмін повідомленнями в протоколі MQTT здійснюється між клієнтом (client), який може бути видавцем або підписником (publisher / subscriber) повідомлень, і брокером (broker) повідомлень (рис. 5.2).

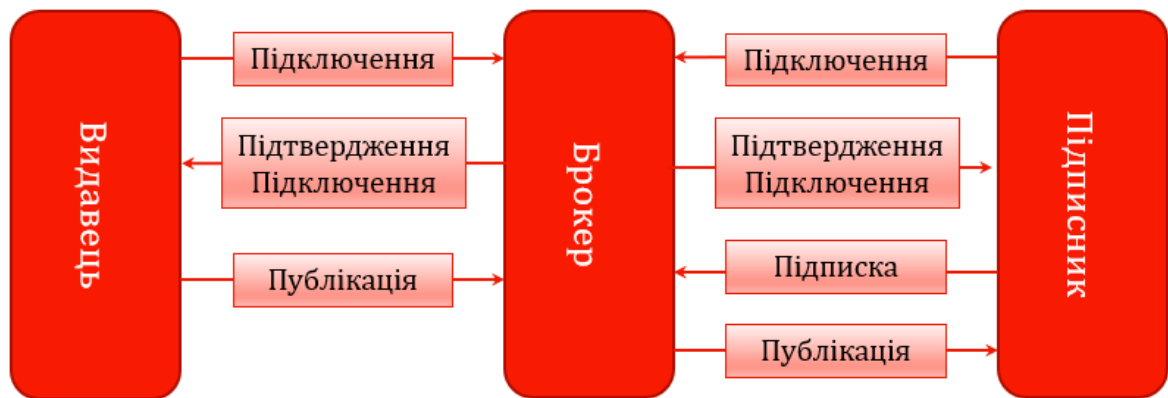


Рисунок 5.2 - Обмін повідомленнями брокера з клієнтами

Видавець відправляє дані на MQTT брокер, вказуючи в повідомленні певну тему, топик (topic). Підписники можуть отримувати різні дані від безлічі видавців залежно від підписки на відповідні топіки.

MQTT повідомлення складається з декількох частин:

- Фіксований заголовок (у всіх повідомленнях).
- Змінний заголовок (присутній тільки в певних повідомленнях).
- Дані, «навантаження» (присутній тільки в певних повідомленнях).

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Byte 1	Message type				DUP	QoS	QoS	Retain
Byte 2	Remaining Length							

Рисунок 5.3 - Структура фіксованого заголовку

Message Type - це тип повідомлення, наприклад: CONNECT, SUBSCRIBE, PUBLISH і інші.

Remaining Length – представляє длину текущего сообщения(переменный заголовок + данные), может занимать от 1 до 4 байта.

Спеціальний прапорець DUP. DUPLICATE - дублювання повідомлення. Цей прапор вказує одержувачу, що отримане їм повідомлення передається повторно і, можливо, вже було отримано ним раніше. Цей прапор грає важливу роль при передачі інформації по ненадійних каналах, де можлива втрата сигналу. При встановленому прапорі змінний заголовок повинен містити Message ID (ідентифікатор повідомлення).

RETAIN - при публікації даних з встановленим прапорцем retain, брокер збереже його. При наступній підписці на цей топик брокер негайно відправить повідомлення з цим прапорцем. Використовується тільки в повідомленнях з типом PUBLISH.

Змінний заголовок міститься лише в деяких повідомленнях. У ньому містяться такі дані:

Packet identifier - ідентифікатор пакета, присутній у всіх типах повідомлень, крім: CONNECT, CONNACK, PUBLISH (з QoS <1), PINGREQ, PINGRESP, DISCONNECT.



Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Byte 8	User name	Password	Will Retain	Will QoS		Will Flag	Clean Session	Reserved

Рисунок 5.4 - Структура змінного заголовку

Protocol name - назва протоколу (тільки в повідомленнях типу CONNECT).

Protocol version - версія протоколу (тільки в повідомленнях типу CONNECT).

Connect flags - прапорці вказують на поведінку клієнта при підключенні:

- User name - при наявності цього прапорця в «навантаження» має бути вказано ім'я користувача (використовується для аутентифікації клієнта).
- Password - при наявності цього прапорця в «навантаження» повинен бути вказаний пароль (використовується для аутентифікації клієнта).
- Will Retain - при установці в 1, брокер зберігає у себе Will Message.
- Will QoS- якість обслуговування для Will Message, при встановленому прапорці Will Flag, Will QoS і Will retain є обов'язковими.
- Will Flag - при встановленому прапорці, після того, як клієнт відключиться від брокера без відправлення команди DISCONNECT (у випадках непередбачуваного обриву зв'язку і т.д.), брокер сповістить про це всіх підключених до нього клієнтів через так званий Will Message.
- Clean Session - очистити сесію. При встановленому «0» брокер збереже сесію, всі підписки клієнта, а так же передасть йому всі повідомлення з QoS1 і QoS2, які були отримані брокером під час відключення клієнта, при

його наступному підключенні. Відповідно при встановленій «1», під час наступного з'єднання клієнту буде необхідно заново підписуватися на топіки.

Session Present - застосовується в повідомленні з типом CONNACK. Якщо брокер приймає підключення з Clean Session = 1 він повинен встановити «0» в біт Session Present (SP). Якщо брокер приймає підключення з Clean Session = 0, то значення біта SP залежить від того, зберігав чи брокер раніше сесію з цим клієнтом (якщо так, то в SP виставляється 1 і навпаки). Тобто цей параметр дозволяє клієнту визначити чи була збережена брокером попередня сесія.

Topic Name - назва топіка.

Connect Return Code – якщо брокер з якихось причин не може прийняти правильно сформований CONNECT пакет від клієнта, то в другому байті CONNACK пакета він повинен встановити відповідне значення з списку.

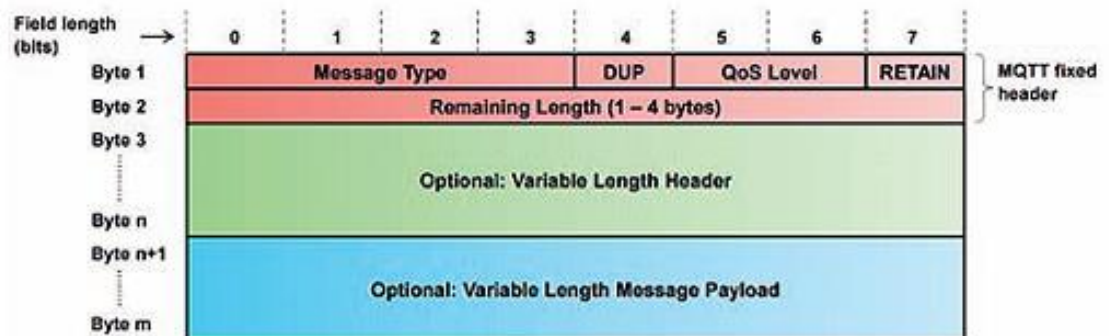


Рисунок 5.5 - Загальна структура повідомлення

Таблиця значень поля Connect Return Code

<i>Знач.</i>	<i>Повернуте значення</i>	<i>Опис</i>
0	0x00 Connection Accepted	Підключення прийнято
1	0x01 Connection Refused, unacceptable protocol version	Брокер не підтримує версію протоколу, використовувану клієнтом
2	0x02 Connection Refused, identifier rejected	Client ID немає в списку дозволених
3	0x03 Connection Refused, Server unavailable	З'єднання встановлено, але MQTT сервіс не доступний
4	0x04 Connection Refused, bad user name or password	Не правильний логін або пароль
5	0x05 Connection Refused, not authorized	Доступ до підключення заборонений
6-255		Зарезервовано

### 5.3 Семантика топіків

Топіки представляють собою символи с кодуванням UTF-8. Ієрархічна структура топіків має формат дерева. Топіки складаються з одного або декількох рівнів, які розділені між собою символом “/”.

У термінах MQTT транспортуються дані і метаінформація, що формує «канали» транспорту, представлені MQTT UTF-8 рядками. Рядки метаінформації формуються з фрагментів, що мають назву топіків (topic), передбачені спеціальні

символи і правила форматування, що вводять ієрархію топиків і можливість «підписки» на безлічі каналів за рахунок wildcards.

При цьому вже існують кілька загальноприйнятих підходів до формування систем топиків. Взагалі, це виключно важливий момент в MQTT, зазвичай недооцінюваний. Тому що топіки вводять семантику, на основі якої працює механізм транспорту даних MQTT. Поширені, умовно кажучи, фізичний і «машинний» підходи (ніякої сталої термінології тут немає). Фізичний - опис топіки ієрархічної структури об'єктів світу і пов'язаних з ними абстракцій,

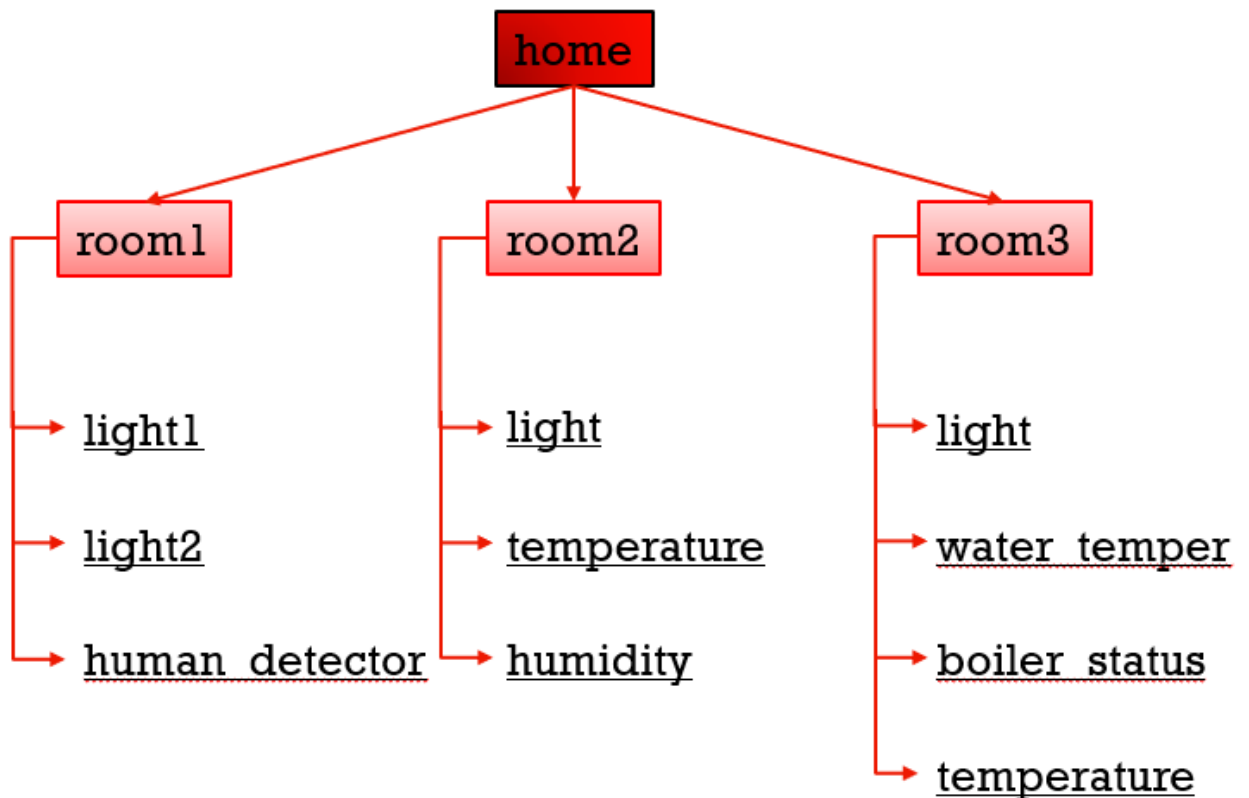


Рисунок 5.6 - Приклад ієрархії топиків у MQTT

«машинний» - опис організації машинної системи в традиційних, наприклад, для комп'ютерних мереж, термінах. Приклад фізичного підходу:

Ідентифікатор\_мережі/GUID\_контролера\_в\_мережі/ID\_вимірювального\_каналу

Якщо нам потрібно отримувати інформацію по декількох топіках, використовується технологія wildcard. Вони дозволяють задавати одним символом декілька топіків. Зрозуміло, що саме тому при «публікації» даних в метаінформації вони неприпустимі (метаінформація про що публікується на сайті повинна бути точно визначена, щоб до даних можна було «добратися»), і стандарт MQTT це формулює строго - wildcards в Pub-метаінформації (рядку, що складається з топіків і символів ієрархії) категорично не повинно бути. У метаінформації про підписку можливі всього два символи wildcards - «#» і «+». Перший позначає «всю під-ієрархію топіків», другий «весь тільки один рівень ієрархії».

Спеціальний топік, що складається з одного wildcard символу «#» дозволений стандартом і охоплює всі топіки що є на брокері, він використовується в тому числі для зв'язку серверів MQTT між собою, тобто, для формування єдиного простору топіків в багатосерверній системі, що забезпечує єдиний механізм керованого семантикою топіків транспорту даних.

#### **5.4 Захист передачі даних**

Для забезпечення безпеки в MQTT протоколі реалізовані наступні методи захисту:

- Аутентифікація клієнтів. Пакет CONNECT може містити в собі поля USERNAME і PASSWORD. При реалізації брокера можна використовувати ці поля для аутентифікації клієнта
- Контроль доступу клієнтів через Client ID
- Підключення до брокера через TLS / SSL

На макеті розумного будинку ми реалізували лише два перших методи захисту. Оскільки не було потреби в криптографічних протоколах.

Детальніше про налаштування брокера та авторизацію написано в наступному розділі.

## 5.5 Якість обслуговування

MQTT підтримує три рівні якості обслуговування (QoS) при передачі повідомлень.

QoS 0 At most once. На цьому рівні видавець один раз відправляє повідомлення брокеру і не чекає підтвердження від нього, тобто відправив і забув (рис. 1.6.1).



Рисунок 5.7 - Обмін повідомлення при першому рівні обслуговування

QoS 1 At least once. Цей рівень гарантує, що повідомлення точно буде доставлено брокеру, але є ймовірність дублювання повідомлень від видавця. Після отримання дублікату повідомлення, брокер знову розсилає це хто підписався, а видавцеві знову відправляє підтвердження про отримання повідомлення. Якщо видавець не отримав PUBACK повідомлення від брокера, він повторно відправляє цей пакет, при цьому в DUP встановлюється «1».

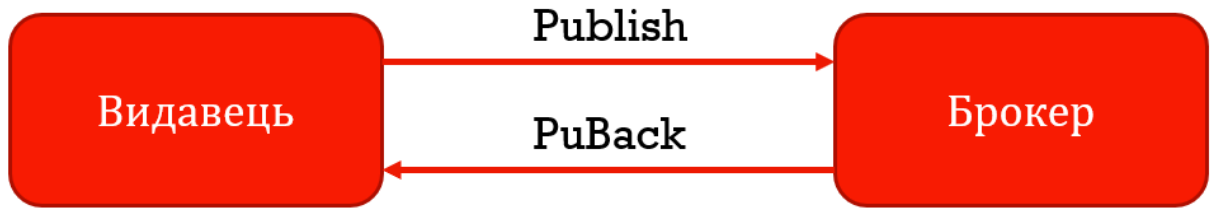


Рисунок 5.8 - Обмін повідомлення при другому рівні обслуговування

QoS 2 Exactly once. На цьому рівні гарантується доставка повідомлень передплатнику і виключається можливе дублювання відправлених повідомлень. Видавець відправляє повідомлення брокеру. У цьому повідомленні вказується унікальний Packet ID, QoS = 2 і DUP = 0. Видавець зберігає повідомлення непідтвердженими поки не отримає від брокера відповідь PUBREC. Брокер відповідає повідомленням PUBREC в якому міститься той же Packet ID. Після його отримання видавець відправляє PUBREL з тим же Packet ID. До того, як брокер отримає PUBREL він повинен зберігати копію повідомлення у себе. Після отримання PUBREL він видаляє копію повідомлення і відправляє видавцеві повідомлення PUBCOMP про те, що транзакція завершена.

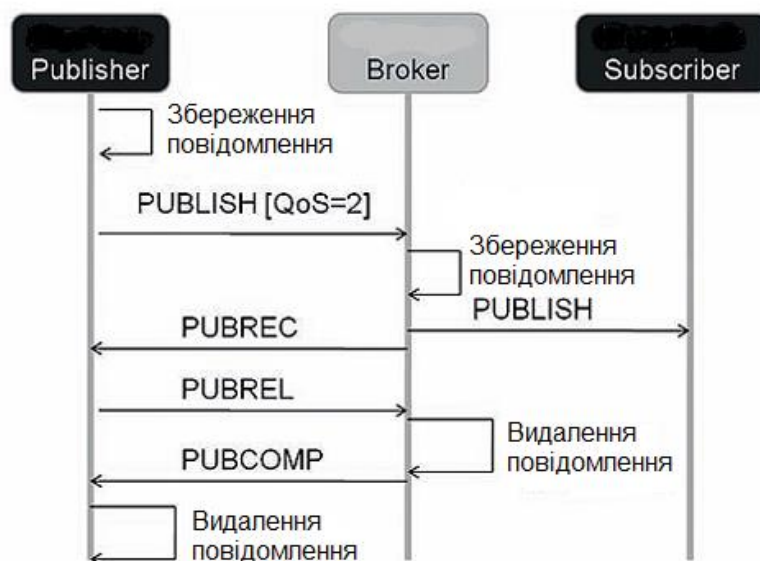


Рисунок 5.9 - Обмін повідомлення при третьому рівні обслуговування

## 6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1. Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи

Реалізація проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів складається з низки послідовних та взаємопов'язаних етапів.

Норми часу на виконання науково-дослідницької роботи розраховуватимуться на основі середнього часу виконання стадії в годинах, що наведені в таблиці 5.1 разом із інформацією про виконавців і сумарною кількості затраченого часу.

Таблиця 6.1

Операції технологічного процесу та їх час виконання

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	Підготовча стадія	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
2	Технічна пропозиція	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
3	Створення технічного завдання	Проектний менеджер	20
		Інженер-програміст	
4	Проектування системи	Інженер-програміст	200
5	Практична реалізація	Інженер-програміст	200
6	Тестування системи	Тестувальник	20
7	Верифікація системи	Тестувальник	20
		Інженер-програміст	
		Проектний менеджер	
8	Створення документації	Інженер-програміст	50
9	Заключна стадія	Проектний менеджер	20
Разом			650



Кожен із етапів реалізації проекту характеризується метою та змістом, оцінкою часу виконання, кількістю та спеціалізацією виконавців, а також приблизною оцінкою вартості.

Реалізація інформаційної системи управління безпекою об'єкту складається із підготовчого етапу, етапу технічної пропозиції, створення технічного завдання, проектування системи, практичної реалізації, тестування, верифікації та заключного етапу.

В підсумку на реалізацію проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів необхідно 650 людино-годин, залучення трьох спеціалістів та виконання дев'яти різноманітних стадій реалізації проекту.

## **6.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи**

Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи прямо залежить від кількості витраченого працівниками часу на роботу, ставки в годину чи місяць, кількість відрахувань на соціальні заходи встановлених в законному порядку на час розрахунку.

В результаті розрахунку потрібно визначити основну та додаткову заробітну плату, витрати на соціальні заходи та на основі цих даних визначити сумарні витрати на оплату праці.

Основна заробітна плата нараховується за виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час.

При розрахунку заробітної плати кількість робочих днів у місяці слід в середньому приймати – 24,5 дні/міс., або ж 196 год./міс. (тривалість робочого дня – 8 год.).

Наймані працівники для розробки інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів працюють згідно контракту, який в якому вказано їхню погодинну ставку. Тобто розрахунок заробітної плати працівників відбуватиметься на базі тарифної ставки та кількості відпрацьованих годин.

У штаті найманих працівників для розробки інформаційної системи залучено проектного менеджера, інженера-програміста і тестувальника.

Тарифні ставки учасників процесу розробки інформаційної системи:

Проектний менеджер – 150 грн./год.

- Інженер-програміст – 130 грн./год.

- Тестувальник – 100 грн./год.

Основна заробітна плата розраховується за формулою 5.1:

$$Z_{\text{осн.}} = T_c * K_{\Gamma} , \quad (6.1)$$

де  $T_c$  – тарифна ставка, грн.;  $K_{\Gamma}$  – кількість відпрацьованих годин.

Оскільки всі види робіт в виконує три спеціаліста, то основна заробітна плата буде розраховуватись за даною формулою 6.1;

$$Z_{\text{осн.}} = 150 * 80 + 130 * 530 + 100 * 40 = 84900 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15 %% від суми основної заробітної плати й визначається за формулою 6.2.

Коефіцієнт додаткових виплат працівникам становить 0,1.

$$Z_{\text{дод.}} = Z_{\text{осн.}} * K_{\text{допл.}} \quad (6.2)$$

де  $K_{\text{допл}}$  – коефіцієнт додаткових виплат працівникам

$$Z_{\text{дод.}} = 84900 * 0,1 = 8490 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці (фонд заробітної плати) визначаються за формулою 6.3:

$$B_{\text{о.п.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}} \quad (6.3)$$

$$B_{\text{о.п.}} = 84900 + 8490 = 93390 \text{ грн.}$$

З цієї суми утримуються обов'язкові відрахування на заробітну плату:

- Єдиний соціальний внесок (ЄСВ), що становить 22%%;
- Військовий збір (ВЗ), що становить 1,5%%;

Сума відрахувань становить 23,5%% від фонду оплати праці та визначається за формулою 5.4:

$$B_{\text{с.з.}} = \Phi_{\text{оп}} * 0,235 \quad (6.4)$$

де  $\Phi_{\text{оп}}$  – фонд оплати праці, грн.

$$B_{\text{с.з.}} = 93390 * 0,235 = 21946,25 \text{ грн.}$$

Усі витрати обчислюються детально наведені в таблиці 6.2 та обчислюються за формулою 6.5:

$$B_{\text{зн}} = \Phi\text{ЗП} + \Phi\text{ОП} \quad (6.5)$$

$$B_{\text{зн}} = 93390 + 21946,25 = 115336,65 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Розрахунки витрат на оплату праці

№з/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарахув. на ФОП, грн.	Всього витрати на плату праці, грн. (6=3+4+5)
		Тарифна ставка, грн.	Кількість відпрацьованих год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
А	Б	1	2	3	4	5	6
1.	Проектний менеджер	150	80	12000	525	-	-
2.	Інженер-програміст	130	530	68900	2600	-	-
3.	Тестувальник	100	40	4000	300	-	-
Разом		380	650	84900	8490	21946,25	115336,25

Опираючись на розрахунки витрат на оплату та зведену таблицю результатів 6.2 видно, що всього витрати на плату праці становлять 115336,25 грн.

### 6.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати є невід'ємною частиною розробки інформаційної та визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни за формулою 6.6:

$$M_{ei} = q_i \cdot p_i, \quad (6.6)$$

де:  $q_i$  – кількість витраченого матеріалу  $i$ -го виду;  $p_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою 6.7:

$$Z_{м.в.} = \sum M_{ei}. \quad (6.7)$$

Результати проведених розрахунків наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків матеріальних витрат.

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Фактично витрачено матеріалів	Ціна одиниці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	CD диски	шт.	2	7,45	14,90
2	Папір для друку	листів	500	0,15	75,00
3	Чорнила для принтера	шт.	1	80,00	80,00
Всього					169,90

Згідно проведених розрахунків, матеріальні витрати становлять 169,90 грн.

#### 6.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Однією із статей витрат є витрати на електроенергію під час проходження усіх етапів реалізації кінцевого продукту.

Затрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою 6.8:

$$Z_e = W * T * S, \quad (5.8)$$

де  $W$  – необхідна потужність, кВт;  $T$  – кількість годин на реалізацію розробки;  $S$  – вартість кіловат-години електроенергії.

Вартість кіловат-години електроенергії слід приймати згідно існуючих на даний час тарифів. Отже, 1 кВт з ПДВ коштує 2,42 грн.

Потужність комп'ютерів для реалізації кінцевого продукту – 400 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 6.1 – 650 годин.

Визначимо витрати на електроенергію згідно формули 6.11:

$$Z_e = 0,4 * 650 * 2,42 = 629,20 \text{ грн.}$$

Згідно формули затрати на електроенергію становлять 629,20 грн.

### **6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань**

Для будь якої діяльності характерною є властивість зношування на зниження якості властивостей інструментарію та фондів за допомогою яких ведеться діяльність.

Для вирішення проблеми із відновленням даних фондів використовується амортизація, що являє собою процес трансформації вартості основних фондів на вартість продукції, яка щойно була створена, задля повного відновлення основних фондів.

Для визначення амортизаційних відрахувань використовується формула 6.9:

$$A = (B_B * H_A) / 100\% \quad (5.9)$$

де,  $B_B$  – балансова вартість обладнання, грн;

$H_A$  – норма амортизаційних відрахувань в рік, %%;

– річний робочий фонд часу, год;

– фактичний час роботи обладнання по написанню програми, год.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60 %% (квартальна – 15 %%).

Річний робочий фонд становитиме 2352 годин, так як робочий день становить 8 годин, а кількість робочих днів в місяці становить 24,5 годин.

Для даної розробки засобом розробки є комп'ютер. Його сума становить 18500 грн. Отже, амортизаційні відрахування будуть рівні:

$$A = 18500 \cdot 5\% / 100\% = 925 \text{ грн.}$$

Згідно проведених обчислень амортизаційні відрахування становлять 925 грн.

## 6.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління спілкою та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20–60 %% від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_e = B_{o.n} * 0,2 \dots 0,6, \quad (5.10)$$

де  $H_e$  – накладні витрати.

Отже, накладні витрати становлять згідно формули 6.10:

$$H_e = 93390 * 0,2 = 18678 \text{ грн.}$$

Накладні витрати згідно розрахунку формули, становить 18678 грн.

## 6.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи

Результати проведених вище розрахунків наведено у таблиці 6.4.

Таблиця 5.4

### Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В %% до загальної суми
Витрати на оплату праці	93390	0,69
Відрахування на соціальні заходи	21946,25	0,15
Матеріальні витрати	169,9	0,01
Витрати на електроенергію	256,52	0,01
Амортизаційні відрахування	925	0,01
Накладні витрати	18678	0,13
Собівартість	135365,7	100

Собівартість ( $C_e$ ) програмного продукту розраховуємо за формулою:

$$C_e = B_{o.l.} + B_{c.z.} + Z_{m.v.} + Z_e + A + H_e . \quad (6.11)$$

Отже, собівартість розробки системи дорівнює:

$$C_e = 135365,70 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи становить 135365,70 грн.



## 6.8 Розрахунок ціни розробки системи

Ціну науково-дослідної роботи можна визначити за формулою:

$$Ц = (C_B * (1 + P_{рен}) + K * B_{н.і.}) / K * (1 + ПДВ) \quad (6.12)$$

де  $P_{рен.}$  – рівень рентабельності, 30 %%;  $K$  – кількість замовлень, од. (встановлюється лише при розробці програмного продукту та мікропроцесорних систем);  $B_{н.і.}$  – вартість носія інформації, грн. (встановлюється лише при розробці програмного продукту);  $ПДВ$  – ставка податку на додану вартість, (20 %%).

Оскільки розробка є прикладною, і використовуватиметься тільки для одного підприємства, то для розрахунку ціни не потрібно вказувати коефіцієнти  $K$  та  $B_{н.і.}$ , оскільки їх в даному випадку не потрібно.

Тоді, формула для обчислення ціни розробки буде мати вигляд:

$$Ц = C_B * (1 + P_{рен}) * (1 + ПДВ) \quad (6.13)$$

Звідси ціна на роботу складе:

$$Ц = 135365,70 * (1 + 0,3) * (1 + 0,2) = 211170,49 \text{ грн.}$$

Загальний розрахунок ціни програмного продукту становить 211170,49 грн.

## 6.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Економічна ефективність ( $E_p$ ) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.14)$$

де  $\Pi$  – прибуток;  $C_B$  – собівартість.

Плановий прибуток ( $\Pi_{пл}$ ) знаходимо за формулою:

$$\Pi_{пл} = Ц - C_{\epsilon} . \quad (6.15)$$

Розраховуємо плановий прибуток:

$$\Pi_{пл} = 211170,49 - 135365,70 = 75804,79 \text{ грн.}$$

Отже, формула для визначення економічної ефективності набуде вигляду:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.16)$$

Тоді,

$$E_p = 75804,79 / 135365,70 = 0,56.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень ( $T_p$ ):

$$T_p = 1/E_p \quad (6.17)$$

Термін окупності дорівнює:

$$T_p = 1 / 0,56 = 1,79 \text{ р.}$$

Згідно формул плановий прибуток від розробки становить 75804,79 грн., економічна ефективність дорівнює 0,56, а термін окупності становить 1,79 року що вважається доцільним та економічно вигідним.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними

параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

## 7.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення.

Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках

під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.



Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 7.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{заз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $k_n$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_n$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.}$$

$r_B$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

$\eta_B$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_T = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_T / (R_B \eta_T + R_T \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_n$  – опір поперечних заземлювачів.

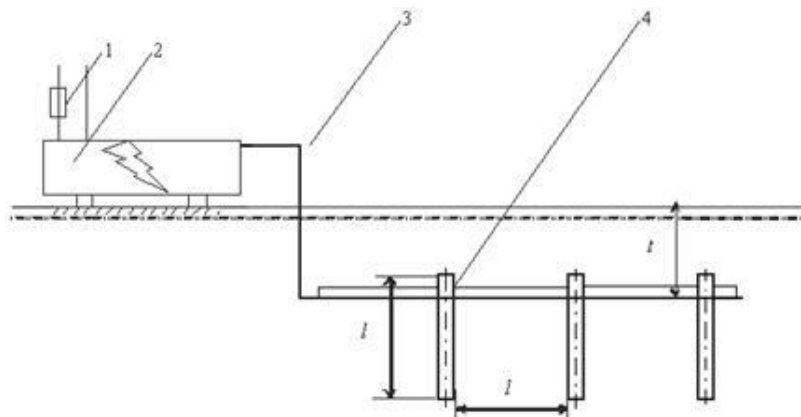


Рисунок 7.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де  $R_{\text{д}}$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

<b>n</b>	<b>R<sub>n</sub></b>	<b>R<sub>c</sub></b>	<b>R<sub>o</sub></b>	<b>η</b>
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

20.

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Екологізація виробництва

Екологізація виробництва передбачає наявність взаємозв'язку і взаємозумовленості будь-яких дій з урахуванням екологічних вимог до розвитку НТП. У зв'язку з цим управління господарством країни і його функціонування повинні здійснюватися на основі раціонального природокористування та застосування нової технології, прогресивної організації маловідходних і безвідходних виробництв.

Екологізація виробництва — це розширене відтворення природних ресурсів шляхом вдосконалення технології, організації матеріального виробництва, підвищення ефективності праці в екологічній сфері.

#### Шляхи впровадження екологізації

Екологізація народного господарства, підприємств промисловості та АПК припускає інтенсивний розвиток НТП і переклад його на еколого-економічні, економіко-організаційні та еколого-технічні відносини.

Перший напрямок екологізації народного господарства можна здійснювати повсюдно в широких масштабах на діючих основних фондах народного господарства за допомогою екологізації всієї виробничо-господарської діяльності, не перериваючи її. При цьому в основному вирішуються завдання, які не потребують докорінної перебудови основних фондів, але дозволяють досягти суттєвих результатів щодо зниження забруднення навколишнього середовища та ресурсозбереження.

Другий напрямок екологізації господарства здійснюється при відтворенні основних його фондів.

## 8.2 Зниження енергоємності та енергозбереження.

Енергозбереження стосується зменшення споживання енергії за рахунок використання меншої кількості енергетичних послуг. Енергозбереження відрізняється від енергоефективності, яке стосується використання меншої кількості енергії в тій самій послугі. Наприклад, менше користуватись авто – енергозбереження, а пересісти на авто з меншою витратою палива – енергоефективність. Але і енергозбереження, і енергоефективність є техніками зменшення використання енергії.

### Оптимізація освітлення

- максимальне використання денного світла (збільшення кількості, площі та прозорості вікон);
- оптимальне розміщення джерел штучного світла (місцеве, направлене освітлення);
- використання освітлювальних приладів лише за необхідністю;
- підвищення світловіддачі наявних джерел світла (заміна люстр, відбивачів тощо);
- використання приладів управління освітленістю (датчики руху, акустичні датчики, датчики освітленості, таймери, дистанційне керування, дімери);
- запровадження автоматичної системи диспетчерського управління зовнішнім освітленням (АСДУ НО);
- установка інтелектуальних розподілених систем управління освітленням.

### Електропривід

- оптимальний підбір потужності електродвигуна;
- використання частотно-регульованого приводу.

Заходи по зниженню втрат тепла та підвищенню ефективності систем теплопостачання:

*джерело теплопостачання*

- зменшення витрат енергії та тепла на власні потреби;
- використання сучасного обладнання з вищим ККД теплогенерації, напр. конденсаційні котли;
- використання вузлів обліку теплової енергії;
- використання ко- і три- генерації.

*теплові мережі*

- ізоляція мереж для зниження втрат тепла у довкілля;
- скорочення шляху теплоносія від виробника до споживача теплової енергії (напр., міні-котельня у будинку)
- оптимізація гідравлічних режимів тепломереж;
- зменшення протікань.

*споживачі*

- належна ізоляція опалюваних приміщень;
- використання систем місцевого регулювання опалювальних приладів;
- переведення будинків в режим нульового споживання тепла для опалення (температура всередині підтримується за рахунок внутрішнього тепловиділення та гарної ізоляції);
- використання вузлів обліку теплової енергії.

*Економія води*

- встановлення приладів обліку використання води;
- використання води лише коли дійсно необхідно;
- встановлення установка зливних бачків, які мають функцію вибору інтенсивності зливу;
- встановлення автоматичних регуляторів витрат води, аераторів, сенсорних датчиків

### **8.3 Джерела електромагнітних полів, іонізуючого випромінювання та методи їх знешкодження.**

Розрізняють природні та штучні джерела електромагнітних полів (ЕМП). У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом ЕМП природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У теперішній час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину з року в рік зростає. Джерелами, що генерують ЕМП антропогенного походження, є телевізійні та радіотрансляційні станції, установки для радіолокації та радіонавігації, високовольтні лінії електропередач, промислові установки високочастотного нагрівання, пристрої, що забезпечують мобільний та сотовий телефонні зв'язки, антени, трансформатори і т. ін. По суті, джерелами ЕМП можуть бути будь-які елементи електричного кола, через які проходить високочастотний струм. Причому ЕМП змінюється з тою ж частотою, що й струм, який його створює.

Ще на стадії проектування повинне бути забезпечене таке взаємне розташування опромінюючих та опромінюваних об'єктів, яке б зводило б до мінімуму інтенсивність опромінення. Потрібно зменшити імовірність проникнення людей у зони з високою інтенсивністю ЕМП, скоротити час перебування під опроміненням. Потужність джерел випромінювання мусить бути мінімально потрібною.

Важливе значення мають інженерно-технічні методи захисту: колективний, локальний та індивідуальний. Колективний захист спирається на розрахунок поширення радіохвиль в умовах конкретного рельєфу місцевості. Економічно найдоцільніше використовувати природні екрани –



складки місцевості, лісонасадження, нежитлові будівлі. Встановивши антену нагорі, можна зменшити інтенсивність поля, яке опромінює населений пункт, у багато разів.

При захисті від випромінювання екрана повинне враховуватись затухання хвилі при проходженні через екран (наприклад, через лісову смугу). Для екранування можна використовувати рослинність. Спеціальні екрани у вигляді відбивальних щитів дороги і використовуються дуже рідко.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, будова яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їхньої експлуатації і зносу.

Основними принципами забезпечення радіаційної безпеки при роботі із закритими джерелами іонізуючого випромінювання є:

- зменшення потужності джерел до мінімальних значень ("захист кількістю");
- скорочення часу роботи з джерелом ("захист часом");
- збільшення відстані від джерел до людей ("захист відстанню");
- екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання ("захист екраном").

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В результаті виконання роботи було проаналізовано актуальність питання застосування теплових насосів та їх перспективність порівняно з іншими генераторами тепла.

Також було обгрунтовано методи застосування теплових насосів різних типів та вказано на їхні недоліки та переваги.

Було розроблено систему керування тепловим насосом при модернізації комплексної системи опалення будівлі.

Систему керування розроблено на базі програмованого логічного контролера Arduino Mega, який володіє хорошим функціоналом, низькою вартістю та потрібною надійністю.

Використання такої системи забезпечило оптимізацію системи теплопостачання будівлі та забезпечило суттєву економію енергоресурсів.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. [https://www.bibliofond.ru/download\\_list.aspx?id=720753](https://www.bibliofond.ru/download_list.aspx?id=720753).
6. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26262/Lapchik\\_Sergey.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26262/Lapchik_Sergey.pdf?sequence=1).
7. <https://hitachi-ukraine.com.ua/modernizaciya-sistemy-otopleniya-dlya-ch.html>.
8. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:796922/FULLTEXT01.pdf>.