

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Сергій ВАНЄЄВ
(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійної програми «Опалення, вентиляція, кондиціонування повітря та
штучний холод»
на тему: «Розроблення системи гарячого водопостачання на базі теплонасосної
установки з сонячним колектором»

Здобувач групи ХКдн-04др

Стебельська Уляна Юріївна

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ СТЕБЕЛЬСЬКА Уляна
(підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Станіслав МЕЛЕЙЧУК

(підпис)

Суми 2024

ЗМІСТ

	С.
1. Тепловий насос – принцип дії.....	3
2. Термодинамічний розрахунок циклу теплонасосної установки	18
2.1. Вихідні дані.....	18
2.2. Принципова схема системи гарячого водопостачання	18
2.3 Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла конденсації.	22
2.4 Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла випаровування	24
2.5 Розрахунок циклу та теплового насосу.....	27
2.6 Визначення параметрів сонячного колектора.....	34
2.7 Підбір допоміжного обладнання	36
3. Охорона праці.....	43
Список використаних джерел	56

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Стебельська</i>			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		<i>Мелейчук</i>			2		
Н. контр.					ХКдн-04др		
Затв.		<i>Ванєєв</i>					

Розроблення системи гарячого водопостачання на базі теплонасосної установки з сонячним колектором

1. Тепловий насос – принцип дії

Технологія охолодження стосується руху теплової енергії від нижчого до вищого рівня температури. Все частіше застосовуються знайомі методи, які використовують високотемпературне тепло для різних цілей, в основному для нагрівання будівлі і води. Галузь вже давно займається опаленням і охолодженням будівель як окремих об'єктів з окремими групами проектувальників, специфікаторів і монтажників для кожної дисципліни. Опалення буде забезпечуватися первинним паливом, таким як нафта, газ або електрична енергія, і охолодження за допомогою спеціальних систем кондиціонування повітря, що відкидають тепло в атмосферу.

ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ (ТН)

ТН - тепла установка, яка базується на зворотному термодинамічному циклі Карно, який споживає енергію приводу і виробляє тепловий ефект.

ТН переміщує тепло від джерела з низькою температурою до джерела з високою температурою, споживаючи енергію приводу.

Джерелом тепла можуть бути:

- газ або повітря (зовнішнє повітря, військове повітря від вентиляції, гарячі гази від промислових процесів)
- рідина: поверхневі води (річкові, озерні або морські), підземні води або розряджена гаряча вода (побутова, технологічна або рециркуляційна в градирнях)
- ґрунт.

Споживач тепла.

ТН дає теплову енергію при більш високій температурі, в залежності від застосування споживача тепла.

Ця енергія може бути використана для:

- обігрів приміщень, який пов'язаний з низькотемпературними системами опалення: променистими панелями (підлога, стіна, стеля або підлога-стеля), теплими повітряними або конвективними системами;

									Арк.
									3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 04.00.00.00 ПЗ				

- підігрів води (басейни, побутова або технологічна гаряча вода).

Споживача тепла рекомендується асоціювати з холодним споживачем. Це може бути виконано за допомогою реверсивної (нагрівання - охолодження) або двофазної системи. У режимі охолодження ТН працює точно так само, як центральний кондиціонер.

Керування енергією.

ТН можуть використовуватися від різних типів енергетичних форм:

- електрична енергія (електрокомпресор)
- механічна енергія (механічне стиснення з турбінами розширення)
- термомеханічна енергія (система викиду пари)
- теплова енергія (цикл поглинання);
- термоелектрична

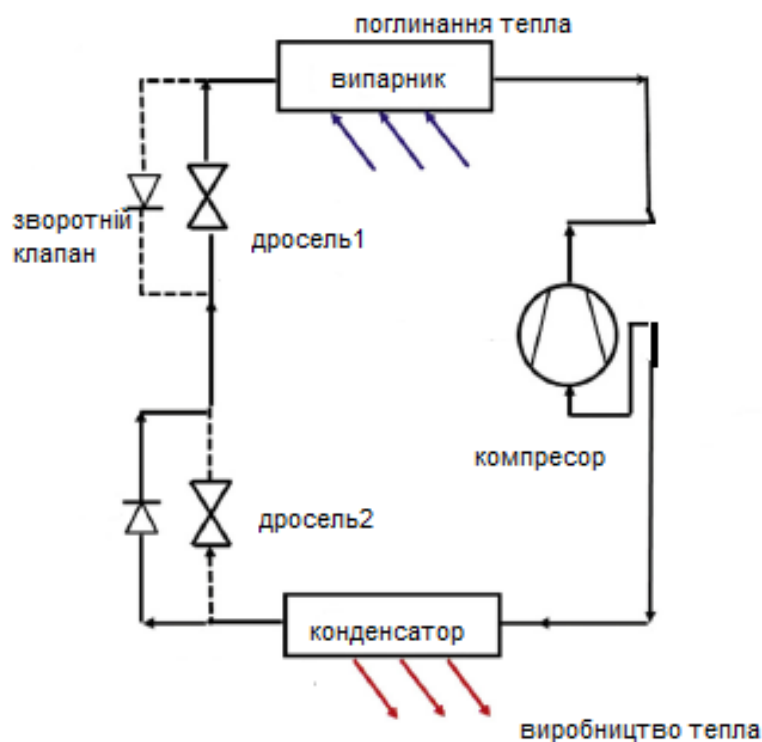


Рисунок 1.1 – принципова схема теплового насоса

У відповідності до рисунку 1.1 компресор стискає холодильний агент, який конденсується у конденсаторі, після чого у дроселі 2 відбувається зниження тиску холодильного агента та послідує поглинання енергії у

випарнику. Даний цикл ТН присвячений виробництву тепла (**нагрівання**), при роботі у зворотному напрямку, коли дроселювання відбувається у дроселі 1, відбувається цикл з охолодженням робочого середовища (**кондиціонування повітря**).

Тип і продуктивність ТН характеризується характером джерела, який є середовищем, з якого тепло витягується випарником, і конденсатором, який є пристроєм розподілу тепла в будівлі. Грунтові теплові насоси використовують землю або підземну воду, як джерело тепла. Вода, ймовірно, є найкращим джерелом, якщо є, і потрапляє під загальний заголовок наземного джерела. Деякі ТН використовують довколишні озера або море як джерело. Вода (або етиленгліколь для запобігання замерзання) циркулює через котушку, занурену в озеро, і вона відбирає тепло, щоб вона надходила до випарника ТН при температурі, близькій до температури озера. Перевага води як джерела полягає в тому, що температура досить стабільна і зазвичай вище 10 °С. Озерна вода або ґрунтова вода можуть подаватися безпосередньо у випарник, але потім слід враховувати вплив забруднень.

Нижче певної глибини температура ґрунту залишається відносно стабільною і існує ряд способів, якими можна добувати тепло з землі.

Теплові насоси, що застосовують ґрунт, як джерело тепла, використовуються для обслуговування житлових і торгово-адміністративних споруд. Ґрунт, як і підґрунтові води, має одну перевагу - відносно стабільну протягом року температуру, що забезпечує високий коефіцієнт перетворення [1-3].

Тепло відбирається по трубах - ґрунтових теплообмінниках, покладених в землю горизонтально (спіралеподібно) або вертикально (так звані ґрунтові зонди).

Тут можуть використовуватися:

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- системи прямого розширення з охолоджуючою рідиною, що випаровується в міру циркуляції в контурі трубопроводу, заглибленого в ґрунт;
- системи з розсільною рідиною, що прокачується по трубопроводу, заглибленому в ґрунт.

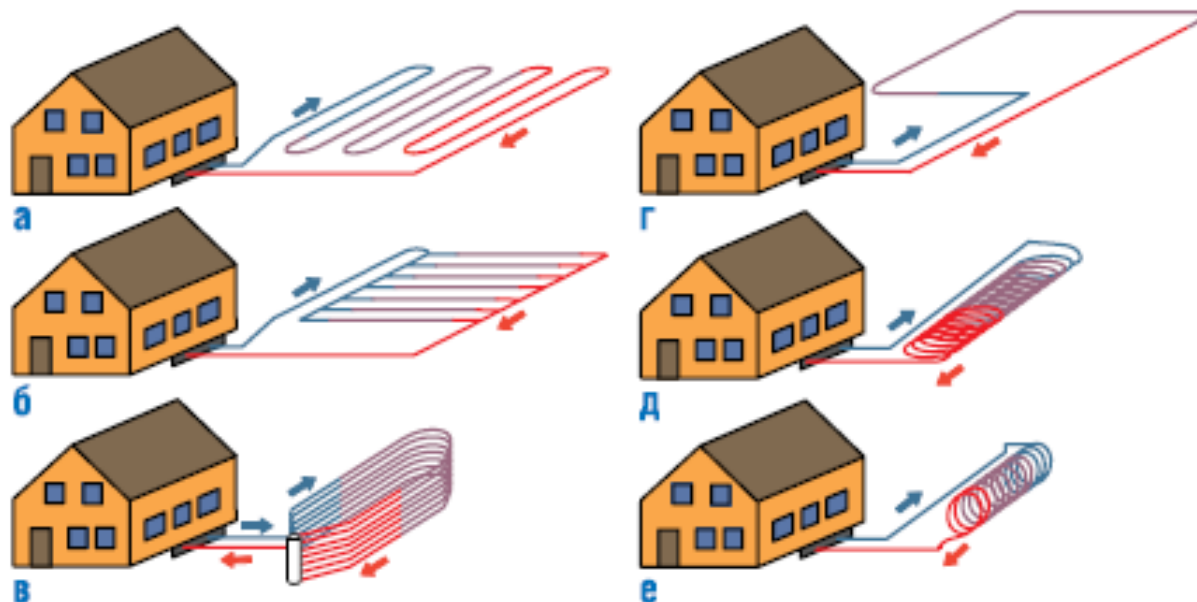


Рисунок 1.2 – Види ґрунтових теплообмінників (а - теплообмінник з послідовно з'єднаних труб; б - теплообмінник з паралельно з'єднаних труб; в - горизонтальний колектор, укладений у траншеї; г - теплообмінник у формі петлі; д - теплообмінник у формі спіралі, розташованої горизонтально; е - теплообмінник у формі спіралі, розташованої вертикально).

У горизонтальних ґрунтових теплообмінниках забір тепла з ґрунту здійснюється за допомогою прокладеної в ґрунті системи пластикових труб великої площі. Пластикові труби з поліетилену або поліхлорвінілу укладаються в ґрунт на глибину 1,2-1,5 м і, в залежності від обраного поперечного перерізу труби, на відстані приблизно 0,5-0,7 м паралельно один одному, так, щоб на кожен кв.м, площі забору тепла було прокладено приблизно 1,43-2,0 м труб. Довжина кожної батоги трубопроводу не повинна

перевищувати 100 м, інакше втрати тиску і необхідна потужність насоса будуть занадто великі.

Труби на кінцях з'єднуються в розподільні гребінки зворотної і подає магістралей, які повинні знаходитися трохи вище, ніж самі труби, щоб повітря могло видалятися з усієї системи. Рекомендується, щоб кожна батога могла перекриватися арматурою окремо. Розсіл циркулює за допомогою насоса через пластикові труби, забираючи накопичене ґрунтом тепло, і подається в випарник ПТН, в якому віддає це тепло хладону. Далі це тепло в контурі ПТН трансформується в тепло більш високого потенціалу для теплопостачання приміщень. Тимчасове замерзання ґрунту безпосередньо в зоні пролягання труб (в більшості випадків у другій половині опалювального сезону) не робить негативного впливу на працездатність ТН і ріст рослин. Але все ж в зоні проходження труб з розсолон на садових ділянках не рекомендується садити рослини з глибоким корінням.

Ґрунтове тепло - це накопичене сонячне тепло, яке переходить в ґрунт завдяки прямому обігріву сонячними променями, передачі тепла від повітря або випали атмосферних опадів. Тепло, що надходить нагору з більш глибоких шарів, нижче 15-20 м (т. зв. «нейтральної зони»), формується з енергії, що надходить з надр землі, і практично не залежить від сезонних змін клімату. Величина потоку радіогенного тепла, що надходить із земних надр, для різних місцевостей становить 0,05-0,12 Вт/м² і як джерело тепла для верхніх шарів землі їм можна знехтувати через малість.

Корисна кількість тепла, і, таким чином, площа необхідної поверхні теплообміну в істотній мірі залежать від теплофізичних властивостей ґрунту і енергії інсоляції, тобто від кліматичних умов. Термічні властивості, такі як об'ємна теплоємність і теплопровідність, дуже сильно залежать від складу і стану ґрунту. Теплоакумуючі властивості і теплопровідність тим вище, чим сильніше ґрунт насичений водою, чим вище частка мінеральних складових і чим менше вміст в ньому пор з повітрям. При цьому потужність по відбору

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

тепла для ґрунту знаходиться (приблизно між 10 і 35 Вт/м² у разі прокладки труб з кроком близько 0,5-0,7 м.

Таблиця 1.1. – Питомі теплові потоки для різних ґрунтів

Тип ґрунта	Питомий тепловий потік, Вт/м ²
Сухий піщаний	10-15
Сирий піщаний	15-20
Сухий глиняний	20-25
Сирий глиняний	25-30
Водянистий шар ґрунта	30-35



Рисунок 1.3 – Прокладання поліетиленових труб з етиленгліколем для ґрунтового колектора

Проаналізувавши ґрунтові колектори, можна зробити наступні висновки.

Переваги теплового насоса з ґрунтовими теплообмінниками:

- Немає дорогих свердловинних теплообмінників.

- Хороший рівень ефективності для опалення.
- Дуже висока експлуатаційна надійність.
- Надзвичайно тривалий термін служби - ефективно інвестиція на все життя.

Недоліки теплового насоса з ґрунтовими теплообмінниками:

- Значно менш ефективний, ніж водяний тепловий насос.
- Відсутність вільного охолодження.

Теплові насоси, що використовують тепло повітря

Повітря є очевидним і дуже доступним джерелом тепла. Температура повітря знаходяться в межах 0–15°C для більшої частини осінньо-весняного опалювального сезону та дещо зменшується до -15...-20°C в найхолодніший період року. Без буріння чи копання траншей встановлена вартість такого блоку споживання тепла з повітря, як правило, набагато менше, також дана система набагато надійніша. Тепловий насос у відповідності до рисунку 1.4 містить випарник, який замінено на теплообмінник з вентилятором, як правило пластинчастого чи пластинчасто-ребристого типу [1-3].



Рисунок 1.4 – Тепловий насос типу «повітря-вода»

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		9

Однак джерело повітря має деякі недоліки. Зовнішня температура змінюється істотно впливає на потужність і ефективність. Зокрема, низькі зовнішні температури призводять до низької продуктивності та призводять до додаткової проблеми утворення льоду на зовнішньому теплообміннику (випарнику). Для забезпечення безперервної та надійної роботи ТН у такому випадку необхідно передбачити відтаювання системи.

Тривалість умови низької температури зовнішнього повітря можуть бути відносно короткими, але їх виникнення збігається з найгострішою потребою в обігріві, а тому є критичним навантаженням для ТН. Для достатньої потужності потрібен більший агрегат, ніж буде потрібно для наземного джерела, або альтернативою є використання додаткового джерела тепла під час холодів. Це іноді називають резервним опаленням. Температура, до якої потрібно підвищити або «підняти» тепло, залежить від необхідної температури в точці використання та розподілу системи. Обігрів приміщення може здійснюватися при температурі нижче -25°C , якщо повітря подається напряму в систему опалення, але необхідно підтримувати відносно високі температури конденсації, що обумовлює додаткове навантаження на компресор ТН. Також в теплообміннику «холодоагент-повітря» необхідна більша різниця температур, ніж у теплообміннику «холодоагент-вода».

Сонячні колектори [3, 8].

Сонячні колектори в загальній схемі теплових насосів можуть використовуватись як допоміжне обладнання у двох варіантах.

- 1) Догрівач мережевої води системи гарячого водопостачання у баку-акумуляторі.
- 2) Догрівач тепла води в ґрунтовому колекторі

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

Принципова схема системи гарячого водопостачання з баком-акумулятором представлена на рисунку 1.5

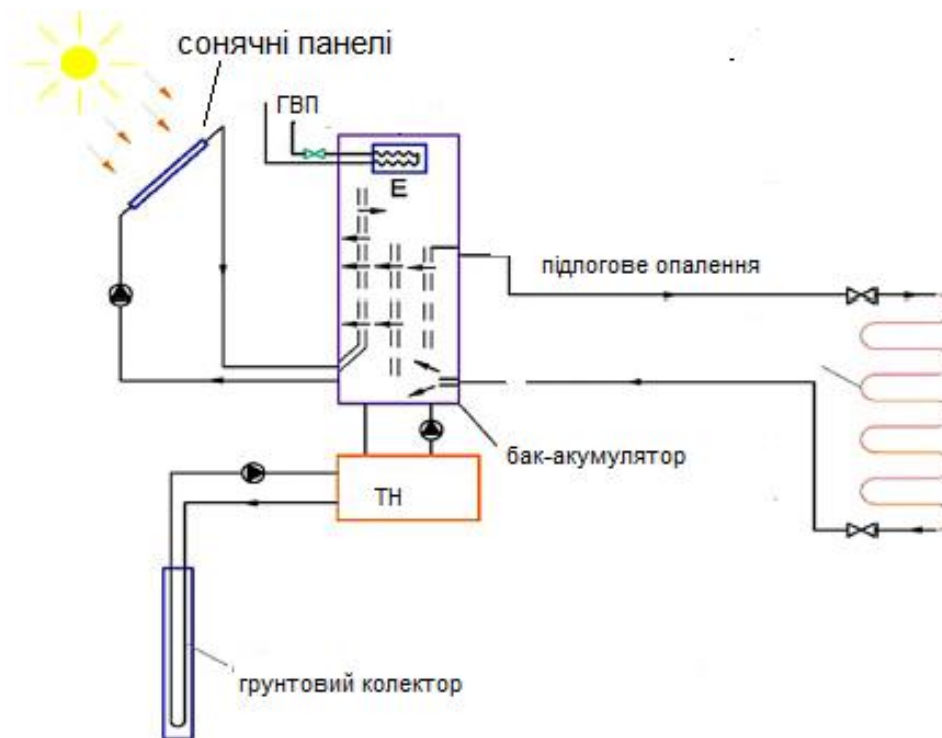


Рисунок 1.5 – Догрівач мережевої води системи гарячого водопостачання у бак-акумуляторі з використанням сонячних панелей.

Тепло води з ґрунтового колектора, подається в тепловий насос, де перетворюється на вищий температурний рівень та подається у бак-акумулятор. Бак-акумулятор підключений до сонячних панелей, де поглинається тепло сонця та догрівається теплоносієм. Цього температурного рівня достатньо для підлогового опалення. Для системи гарячого водопостачання (ГВП) необхідний електродогрівач (Е), який догріває воду до необхідного температурного рівня.

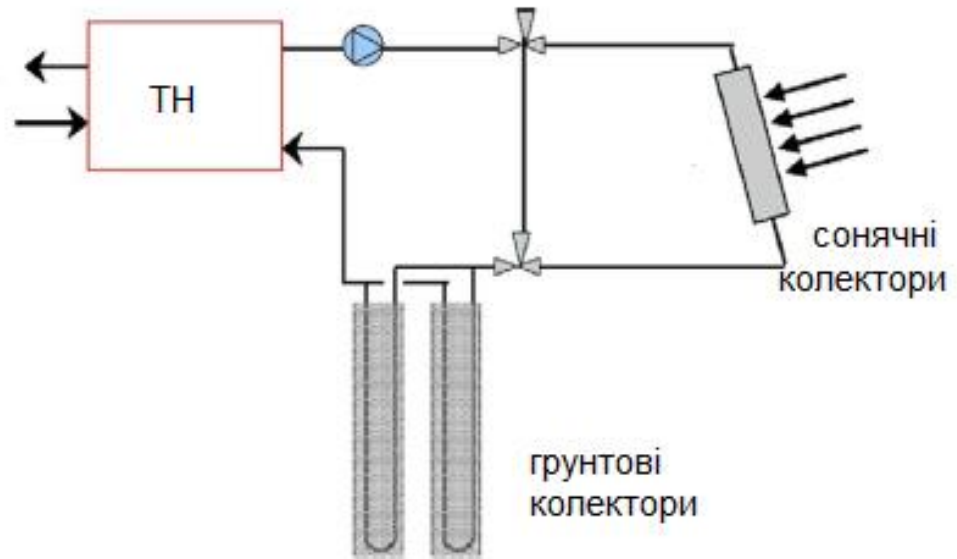


Рисунок 1.6 – Догрівач тепла води в ґрунтовому колекторі за допомогою сонячних колекторів

У кліматі, де домінують нагрівання, ТН може викликати теплове виснаження тепла землі, що поступово зменшує температуру рідини, що надходить насос. В результаті продуктивність системи стає менш ефективною. Подібно до випадків будівель, де переважає охолодження, використання додаткового пристрою теплопостачання, такого як сонячний тепловий колектор, може значно зменшити розмір ТН та вартість установки свердловини (рисунок 1.6).

Механічне охолодження, що працює на тепловій енергії – сонячне або геотермальне охолодження використовує звичайне механічне стиснення пари система, де механічна енергія виробляється за допомогою тепла цикл. Цикл Ренкіна, схожий на той, що використовується в парових турбінах. Це називається органічним циклом Ренкіна, оскільки вибрана рідина схожа на холодоагент і підходить для робочої температури. Він випаровується під високим тиском шляхом теплообміну з іншою рідиною, що нагрівається сонячними або геотермальними колекторами. Резервуар для зберігання можуть бути включені для забезпечення деякого зберігання тепла при високій температурі.

Сонячний колектор - це сучасний пристрій, який використовує сонячну енергію для нагріву теплоносія, яке може бути рідиною. Його застосовують для нагріву води і опалення приміщень.

Так, використання сонячних колекторів дійсно є ефективним, особливо в південних регіонах, де сонце більш активне протягом року. У таких місцях колектори можуть забезпечувати значну кількість тепла з сонячної енергії.

Україна має великий потенціал для використання сонячних колекторів, оскільки в середньому на 1 м² землі за рік припадає від 1000 до 1350 кВт-год сонячної енергії (рисунок 1.7). Це відповідає значній кількості енергії, яка може бути використана для опалення приміщень, приготування гарячої води та інших потреб. За даними відповідних досліджень, це еквівалентно приблизно 120-140 м³ природного газу.



Рисунок 1.7 – Рівень сонячної енергії по регіонам України

Отже, використання сонячних колекторів у регіонах з високим рівнем сонячної активності, таких як південна частина України, може бути

											Арк.
											13
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата							

ефективним способом отримання енергії та зменшення залежності від традиційних джерел енергії.

За конструкцією виділяють три основних типи сонячних колекторів.

1. Пластинчасті плоскі сонячні колектори мають основою пластину з металу або пластика, яка покрита матеріалами, що поглинають сонячне світло, такими як нікель або чорна мідь. На цій пластині, яка також називається адсорбером, закріплені трубки з міді, через які протікає теплоносій. Існує інший варіант, де дві пластини мають видавлені контури напівтрубок, і коли вони з'єднуються, утворюють панель з каналами, по яких рухається теплоносій.

Теплоносій може рухатися через пластинчастий колектор за двома схемами:

- паралельна (рисунок 1.8а), може застосовуватися і для схем, де рідина рухається самопливом;
- змійкою одна трубка (рисунок 1.8б)- тільки для насосних схем подачі теплоносія, але вона ефективніше.

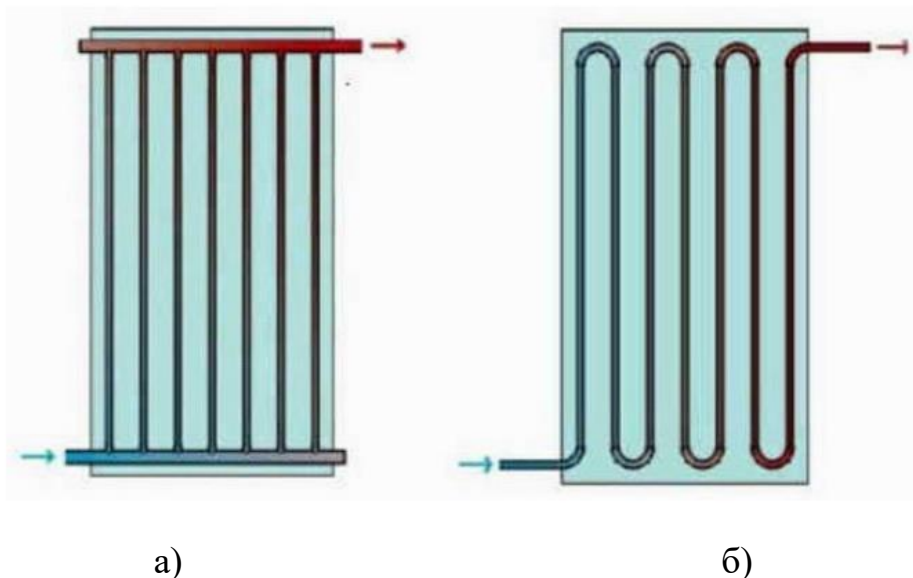


Рисунок 1.8 – Плоскі пластинчасті сонячні колектори

Для запобігання втрати тепла, що може виникнути від нагріву сонцем до температур 150-180 °С, всю конструкцію поміщають у термоізолюваний

короб з склінням, який частіше має двокамерний склопакет. Використовується скло з функцією самоочищення та високоударною стійкістю.

Для літнього нагріву води в басейнах або для душу можуть використовуватися дешеві сонячні колектори з пластиковою пластиною без скління та термоізоляції. Вони починають нагрівати воду при сонячній енергії від 200 Вт/м². Навіть з такою простою конструкцією їх ефективність значно вища, ніж у звичайних бочках для літнього душу. Такі рішення є популярними, оскільки обладнання швидко окупається, незважаючи на його обмежене застосування.

2. Трубчаста конструкція

Тут трубки з теплоносієм поміщені в труби зі скла, з яких видалене повітря (вакуум). Відсутність повітря потрібна для теплоізоляції - щоб тепло не тікало назовні (рисунок 1.8). Також на скло труб нанесені:

- з нижньої сторони світловідбиваюче покриття, воно фокусує сонячне світло на трубці з теплоносієм;
- з верхньої сторони - особливе металізоване покриття, що пропускає світло від сонця, але не випускає відбиту знизу енергію.

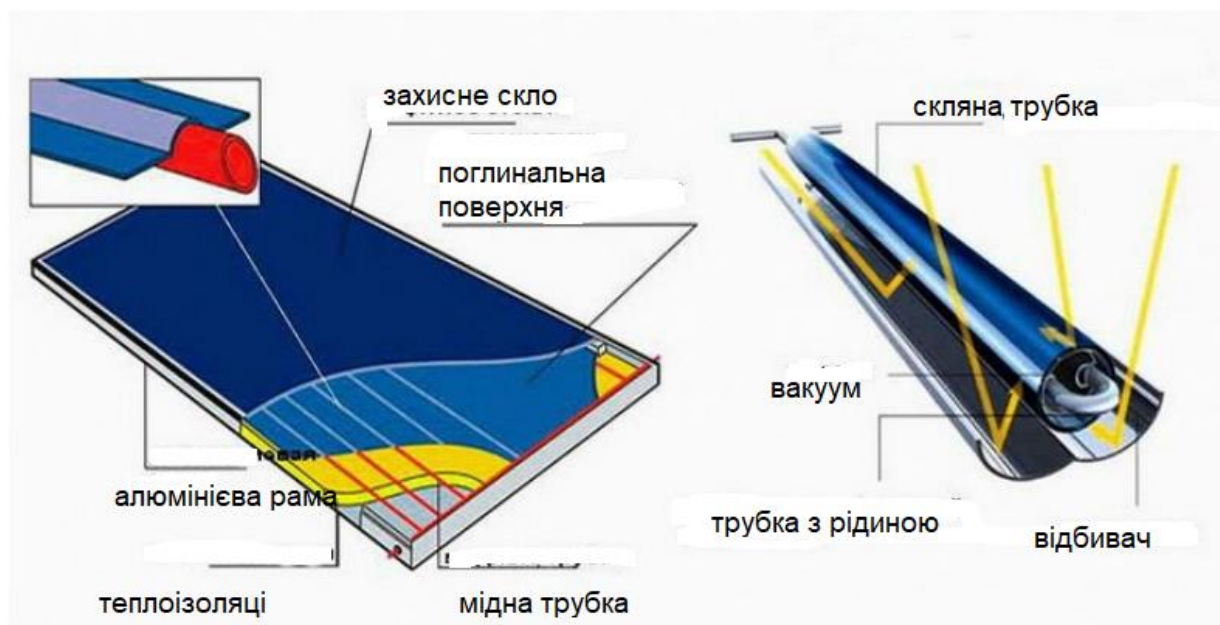


Рисунок 1.9 – Трубчастий сонячний колектор

						Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			15

Низка скляних трубок, вкладених у теплоізоляцію, з'єднана паралельно з головними збірними трубками. Ці головні трубки переносять розігрітий теплоносії до будинку через ізольований трубопровід.

3. Теплові труби

Теплові труби, схожі на трубчасті колектора, використовуються для перетворення енергії. У трубах з вакуумом є прозорі теплові трубки з особливою легко випаровується рідиною. Розігрітий пар піднімається у верхню частину труби, де знаходиться теплообмінник. Там пара конденсується, звільняючи енергію, теплоносії всередині теплообмінника розігрівається. Сконденсована рідина стікає вниз по трубі і знову випаровується від сонячного тепла. Цей процес постійно повторюється.

Сонячне світло розрізняють:

- пряме - сонце не закрито хмарами і безпосередньо світить на сонячний колектор;

- розсіяне - сонце за хмарами, але його тепло все одно можна використовувати.

Сонячне світло може бути прямим або розсіяним. Плоский сонячний колектор, встановлений у південній частині України, отримує від 54% до 30% прямого сонячного світла влітку і взимку відповідно. Максимальна потужність випромінювання сонця для різних місяців року може досягати різних значень. Трубчастий вакуумний колектор може працювати цілий рік, оскільки починає працювати при меншому випромінюванні, ніж плоский колектор.

Сонячний колектор оптимально встановлювати на даху, щоб не займати земельну ділянку. Однак необхідно забезпечити доступ для обслуговування, наприклад, за допомогою лаза або сходів. Конструкція даху і будинку повинна витримувати вагу колектора і вітрові навантаження. Поверхня приладу повинна бути перпендикулярною сонячним променям для максимального збору енергії. Зазвичай вибирається певний кут, який дозволяє отримувати

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		16

найбільше сонячне випромінювання. Цей кут може бути регульований залежно від сезону для оптимального використання сонячної енергії.

Передбачається можливість регулювання нахилу по сезону - змінюється кут нахилу слідом за сонцем. Кут нахилу дорівнює приблизно географічній широті місцевості. Взимку кут збільшують на 15 градусів. Влітку навпаки зменшують на 15 градусів.

Оптимізація використання гарячої води не означає зменшення її вживання або жертвування основними потребами. Це скоріше стосується раціонального та ефективного використання, щоб забезпечити потреби, відповідно до сучасних технологій та особистих можливостей.

- Ефективна система нагрівання – використовуйте сучасні технології для нагрівання води, що відповідають вашим потребам.
- Сонячна теплова система – інвестуйте у сонячну теплову систему, яка може забезпечити значну частину вашої потреби у гарячій воді.
- Водозберігаючі пристрої – встановіть водозберігаючі бачки для туалетів та обмежувачі потоку води, що допомагають зменшити споживання води [1-3].

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

2. Термодинамічний розрахунок циклу теплонасосної установки

2.1. Вихідні дані

Сучасний рівень розвитку теплових насосів дозволяє використовувати їх для заміни або часткової заміни централізованих систем гарячого водопостачання. Теплові насоси можуть ефективно використовувати відновлювані джерела енергії, такі як ґрунтова тепло, повітря або вода, для нагрівання води, що використовується в побуті або промисловості.

В даному випадку робота системи подачі гарячої води регламентується у оптимальних з точки зору параметрів коефіцієнта перетворення діапазоні температур від 35°C до 55°C .

Для розрахунку системи гарячого водопостачання офісного приміщення необхідно задати основні теплотехнічні параметри, що визначають розрахунок теплового насосу:

- температура санітарної води на вході в систему ГВП $t_{B1} = 15^{\circ}\text{C}$;
- температура санітарної води на виході з системи ГВП $t_{B3} = 50^{\circ}\text{C}$;
- норма витрати води $V_B = 30\text{ л/особа}$;
- кількість осіб $n = 50\text{ осіб}$;
- тривалість робочого дня $\tau = 8\text{ год}$;
- температура забору повітря довкілля $t_{X1} = -25^{\circ}\text{C}$

2.2. Принципова схема системи гарячого водопостачання

Принципова схема системи гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насосу з сонячним колектором представлена на рисунку 2.1

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

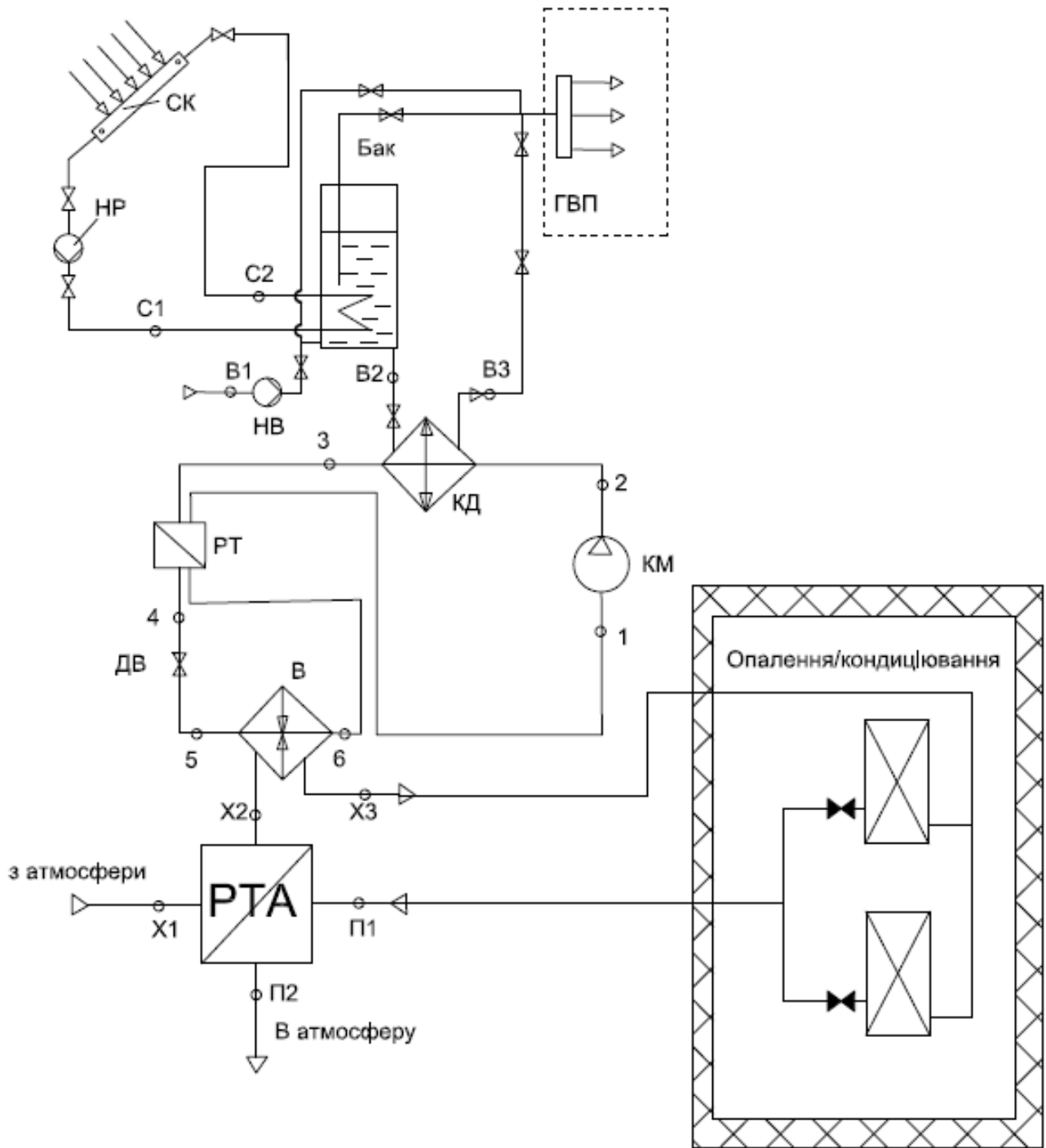


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи гарячого водопостачання з використанням утилізації повітря довкілля

КМ – компресор ТНУ;
КД – конденсатор;

СК – сонячний колектор
В – випарник;

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 04.00.00.00 ПЗ

Арк.

19

<i>РТ</i> – регенеративний теплообмінник теплового насоса;	<i>Бак</i> – бак забору гарячої води
<i>ДВ</i> – дросельний вентиль;	<i>НР</i> – насос для рідини сонячного колектору
<i>РТА</i> – рекуперативний теплообмінник атмосферний	<i>НВ</i> – насос для води споживача гарячої води

Принцип роботи теплонасосної установки, зображеної на рисунку 2.1, полягає у наступному: повітря з атмосфери з параметрами X1 відбирається у теплообмінник рекуперації тепла приміщення РТА, в якому відбувається відбір тепла від повітря рециркуляції з приміщення, потім дане повітря нагнітається у випарник В з параметрами X2.

Випарник є невід’ємним елементом теплонасосної установки, за рахунок виконання циклу ТН у випарнику відбирається тепло атмосферного повітря і передається через виконання циклу у конденсатор.

Також до конденсатора надходить холодна мережева вода з системи автономного водопостачання з параметрами В1, далі вода подається в бак, який акумулює тепло від сонячного колектора у тому числі. Для підвищення ефективності роботи ТНУ бак-нагрівач під’єднаний до сонячного колектору, в якому робоча рідина нагрівається та додатково передає тепло в систему споживача. Нагріта до необхідного технологічного рівня вода з конденсатора з параметрами В3 подається до споживача системи гарячого водопостачання (ГВП).

Теплонасосна установка, яка представлена на рисунку 2.1 для підвищення ефективності роботи, що характеризується коефіцієнтом перетворення (COP) має реалізувати у своїй схемі наступне:

- 1) підігрів атмосферного повітря за рахунок використання рециркуляції з офісних приміщень
- 2) Додатковий підігрів води у баку-акумуляторі за рахунок роботи сонячного колектора.

Проектування теплового насосу у відповідності до завдання проєкту передбачає наступні етапи:

1. Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла конденсації;
2. Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла випаровування;
3. Розрахунок циклу теплового насосу та, у відповідності до його інтегральних параметрів, підбір обладнання;
4. Оцінка інтегральних характеристик сонячного колектора розрахунок або підбір основних елементів;
5. Підбір насосу для подачі води в систему гарячого водопостачання, вентилятора для подачі повітря у повітряний випарник.

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		21

2.3 Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла конденсації.

Конденсаторний вузол теплонасосної установки представлено на рисунку 2.2.

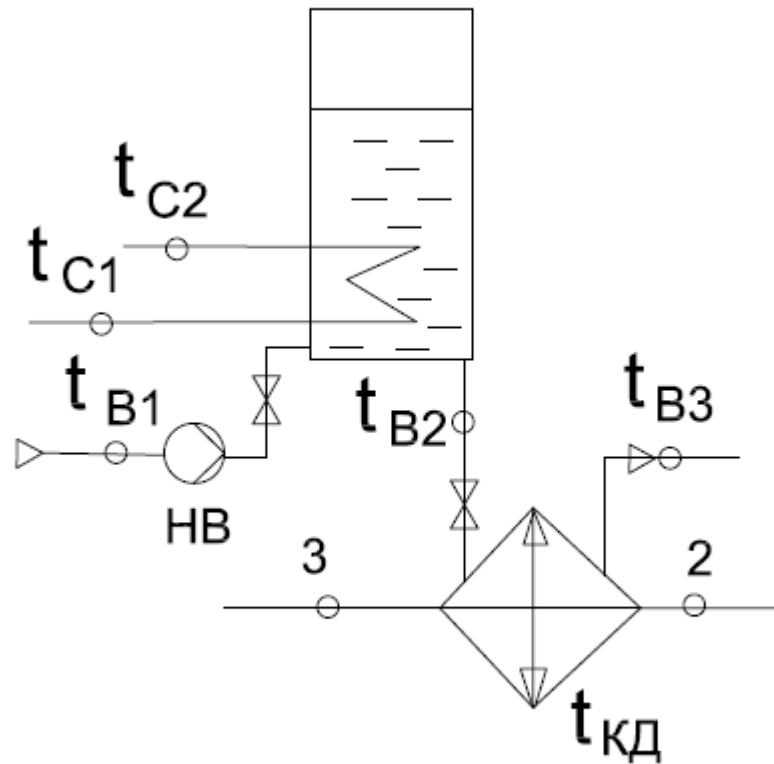


Рисунок 2.2 –Вузол конденсації теплонасосної установки

Температура мережевої води на вході в систему ГВП $t_{B1} = 15^{\circ}C$
температура мережевої води після змішування в баку-накопичувачі після її догріву сонячним колектором $t_{B2} = 25^{\circ}C$; задана температура на виході з конденсатора теплового насосу $t_{B3} = 50^{\circ}C$

Таким чином, в теплообмінному апараті-конденсаторі розрахункова температура конденсації складає $t_K = 55^{\circ}C$.

Розподіл поля температури по теплообмінній поверхні представлено на рисунку 2.3.

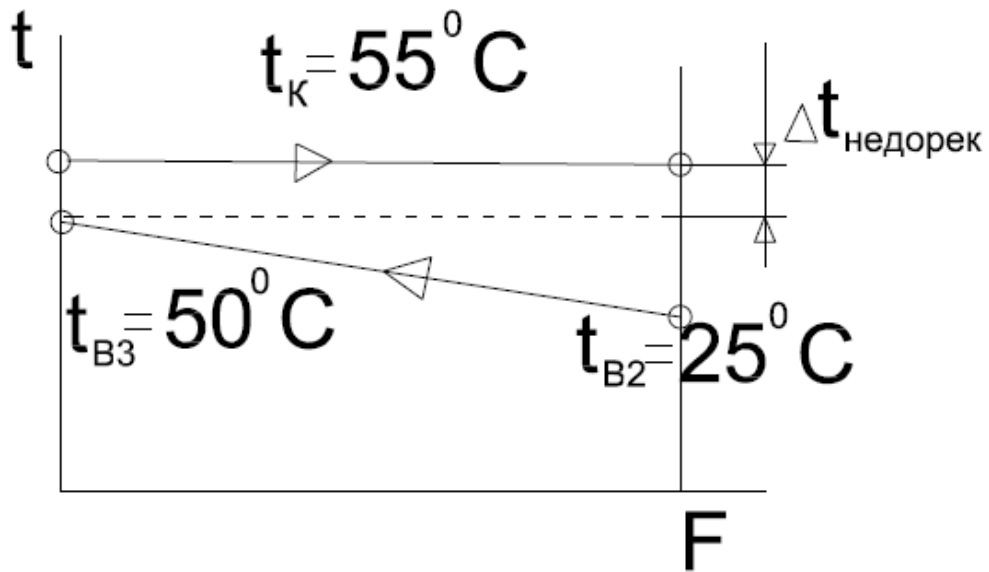


Рисунок 2.3 – Розподіл поля температури в конденсаторі

Головним критерієм для теплового розрахунку конденсатора є визначення теплового навантаження, що виходить з потреб системи гарячого водопостачання, що залежить від кількості офісних працівників, добового споживання води, тривалості робочих змін та їх кількості.

$$\dot{Q}_{КД} = m_B c_P (t_{B3} - t_{B2}), \text{ кВт},$$

де m_B – масова витрата мережевої води, кг/с

c_P – ізобарна теплоємність води при середній температурі, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Середня температура води

$$\bar{t} = \frac{t_{B3} - t_{B2}}{2} = \frac{50 + 25}{2} = 37.5^\circ \text{C}$$

$c_P = 4,174 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – ізобарна теплоємність води при середній температурі

Масова продуктивність води системи приготування води для споживача:

$$m_B = \frac{V_B \cdot n \cdot 3600}{\rho_B \cdot \tau} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 3600}{998 \cdot 8} = 0,41 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Теплове навантаження на конденсатор теплового насосу

$$\dot{Q}_{КД} = 0,41 \cdot 4,174(50 - 25) = 42,3 \text{ кВт}$$

Значення теплового навантаження є розрахунковим для подальшого розрахунку циклу теплового насосу.

2.4 Розрахунок теплотехнічних параметрів вузла випаровування

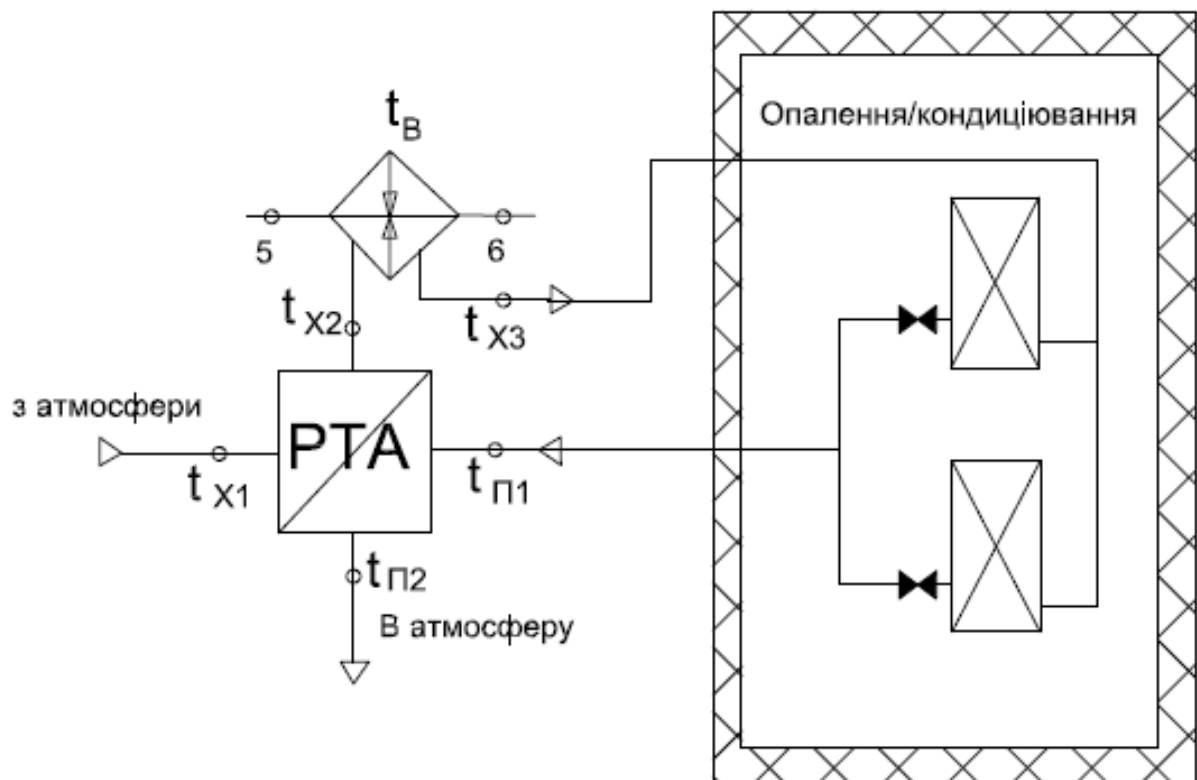


Рисунок 2.4 – Схема вузла випаровування

Вузол системи випаровування теплового насосу представлений на рисунку 2.4. Складається з випарника та рекуператора відпрацьованого повітря. Рекуператор повітря необхідний для попереднього підігрівання

повітря, що надходить з навколишнього середовища у випарник. Таке схемне виконання дозволяє за рахунок руху повітря з опалювального приміщення, підігріти повітря навколишнього середовища та підвищити ефективність теплового насосу типу «повітря-вода».

Температура повітря на вході в рекуперативний теплообмінник $t_{x1} = -20^{\circ}\text{C}$, з врахуванням найхолоднішого місяця року – лютого.

Параметри повітря на виході з опалювального приміщення $t_{п1} = +22^{\circ}\text{C}$, у відповідності до санітарних норм.

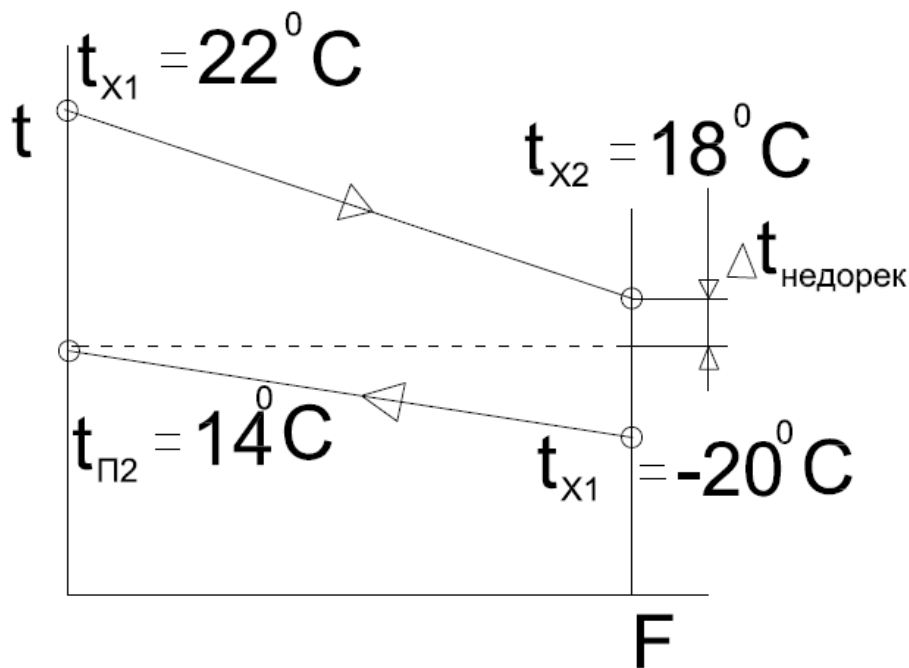
Розрахункова температура нагрівання повітря при виході з рекуператора та, відповідно, на вході до випарника:

$$t_{x2} = t_{x1} - (t_{x1} - t_{п1}) \cdot k,$$

де $k = 0,6$ – коефіцієнт ефективності перетворення енергії в рекуператорі [6].

$$t_{x2} = -20 - (-20 - 22) \cdot 0,6 = 14^{\circ}\text{C}$$

Розподіл поля температури по площі теплообміну представлено на рисунку 2.5 та 2.6.



Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Рисунок 2.5 – Розподіл поля температури в рекуперативному теплообмінному апараті

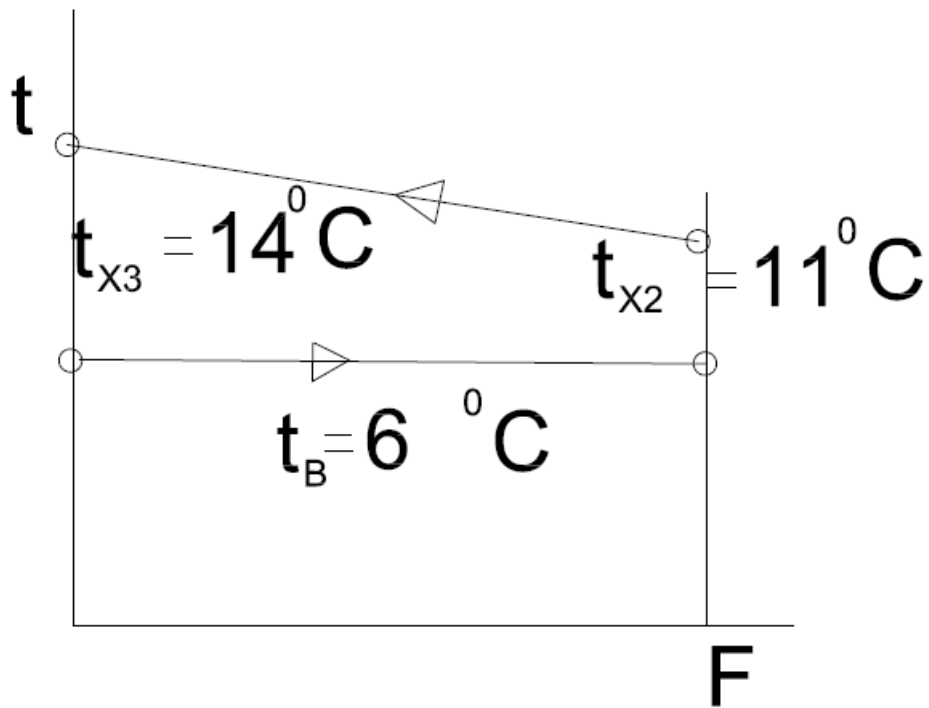


Рисунок 2.6 – Розподіл поля температури в випарнику

Таким чином, враховуючи недорекуперацію теплоти у випарнику, температура випаровування складає:

$$t_B = t_{X2} - 5 = 11 - 5 = 6^{\circ}\text{C} .$$

Розрахунок циклу теплового насосу буде проводитися з врахуванням отриманих температурних рівнів у конденсаторі та випарнику.

2.5 Розрахунок циклу та теплового насосу

Цикл теплового насосу розраховується для одноступеневої машини з регенеративним теплообмінником на базі холодильного агенту R410a.

Вихідні дані:

Теплопродуктивність ТНУ	$\dot{Q}_{кд} = 42,3 \text{ кВт}$
Середовище системи опалення	вода централізованого водопостачання
Температура конденсації	$t_K = 55 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура випаровування	$t_B = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
Тип теплового насосу	повітря-вода

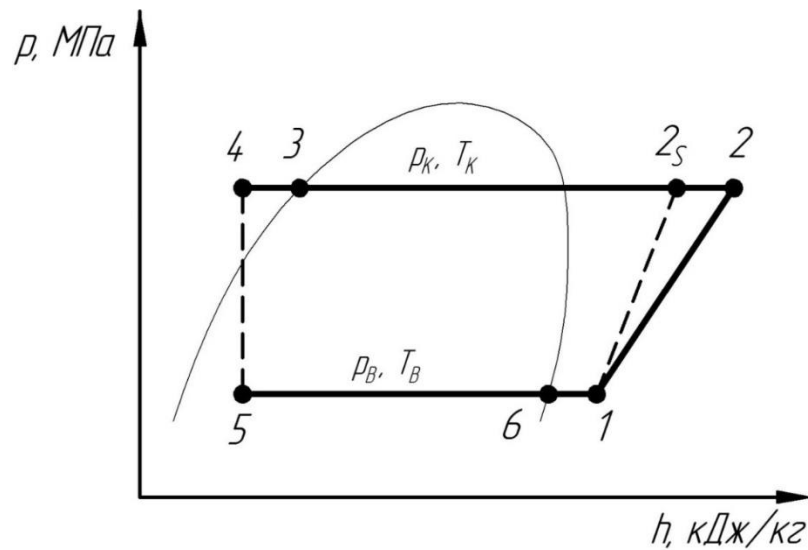


Рисунок 2.7 – Цикл одноступеневого теплового насосу в p,h -діаграмі холодильного агенту R410a.

Визначення розрахункових температур:

Температура у випарнику визначається за рахунок недоотримання тепла теплообмінника $\Delta t_B = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

									Арк.
									27
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 04.00.00.00 ПЗ				

Температура мережевої води на вході в систему ГВП $t_{B1} = 15^{\circ}C$
 температура мережевої води після змішування в баку-накопичувачі після її
 догріву сонячним колектором $t_{B2} = 25^{\circ}C$; задана температура на виході з
 конденсатора теплового насосу $t_{B3} = 50^{\circ}C$

Таким чином, в теплообмінному апараті-конденсаторі розрахункова
 температура конденсації складає $t_K = 55^{\circ}C$.

Таким чином, враховуючи недорекуперацію теплоти у випарнику,
 температура випаровування складає:

$$t_B = t_{X2} - 5 = 11 - 5 = 6^{\circ}C .$$

Розрахункова температура нагрівання повітря при виході з
 рекуператора та, відповідно, на вході до випарника:

$$t_{X2} = t_{X1} - (t_{X1} - t_{П1}) \cdot k ,$$

де $k = 0,6$ – коефіцієнт ефективності перетворення енергії в рекуператорі
 [6].

$$t_{X2} = -20 - (-20 - 22) \cdot 0,6 = 14^{\circ}C$$

Стан холодоагента в точці 4 визначають із теплового балансу
 регенеративного теплообмінника РТ: $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$.

$$\text{Звідки визначається ентальпія } h_4 = h_3 + h_6 - h_1 .$$

Температура холодильного агента на виході із компресора:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_s} .$$

де $\eta_s = 0,75$ – адіабатний к.к.д. для компресора.

$$h_2 = 435 + \frac{475 - 435}{0,75} = 489 \text{ кДж / кг}$$

На рисунку 2.8 представлено схематичний цикл, побудований в
 програмному комплексі CoolPack.

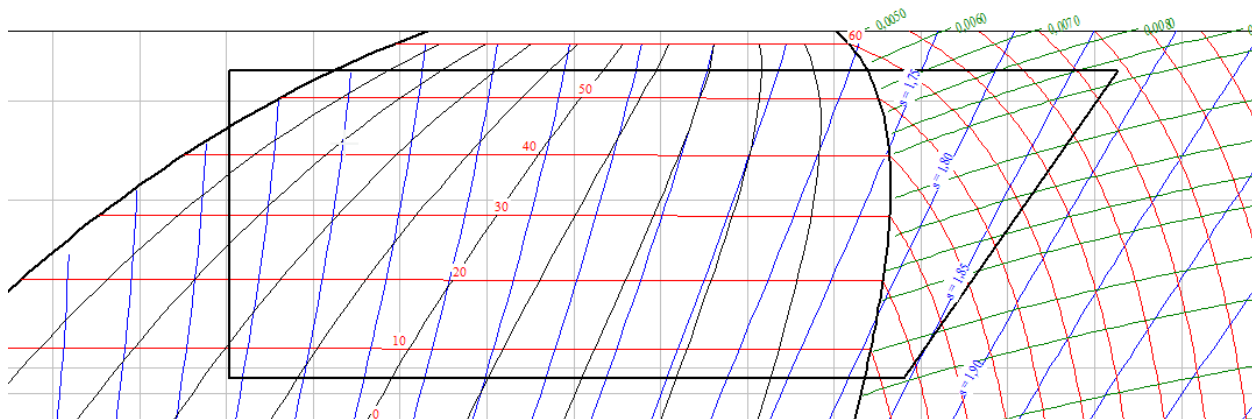


Рисунок 2.8 – Схематичний цикл теплового насосу, побудований в програмному комплексі CoolPack.

Результати розрахунків представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Питомі параметри у характерних точках циклу

Параметр	Точки						
	1	2s	2	3	4	5	6
p , бар	9,6	34	34	34	34	9,6	9,6
t , °C	16	98	105	54	45	6	6
h , кДж/кг	437	485	501	304	280	280	427

За результатами отриманих з циклу даних розраховуємо питомі параметри в характерних елементах теплового насосу.

1) Питоме навантаження на конденсатор:

$$q_{кд} = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг.}$$

$$q_{кд} = 501 - 304 = 197 \text{ кДж/кг}$$

2) Питоме навантаження на випарник:

$$q_B = h_6 - h_5, \text{ кДж/кг.}$$

$$q_B = 427 - 280 = 147 \text{ кДж/кг}$$

3) Питоме навантаження на регенеративний теплообмінник:

$$q_{PT} = h_1 - h_6, \text{ кДж/кг}.$$

$$q_{PT} = 437 - 427 = 10 \text{ кДж/кг}$$

4) Питома адіабатна робота компресора:

$$l_s = h_{2s} - h_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$l_s = 485 - 437 = 48 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

5) Питома дійсна робота компресора:

$$l = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

$$l = 501 - 437 = 64 \text{ кДж/кг}$$

6) Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{KD} = \dot{Q}_T, \text{ кВт}.$$

7) Масова продуктивність холодильного агенту:

$$m_a = \frac{\dot{Q}_{KD}}{q_{kd}}, \text{ кг/с}.$$

$$m_a = \frac{42,3}{197} = 0,21 \text{ кг/с}$$

8) Теплове навантаження на регенеративний теплообмінник:

$$Q_{PT} = m_a \cdot q_{PT}, \text{ кВт}.$$

$$Q_{PT} = 10 \cdot 0,21 = 2,1 \text{ кВт}$$

9) Теплове навантаження на випарник:

$$Q_B = m_a \cdot q_B, \text{ кВт}.$$

$$Q_B = 0,21 \cdot 147 = 30,9 \text{ кВт}$$

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

10) Адіабатна потужність компресора:

$$N_s = m_a \cdot l_s, \text{ кВт}.$$

$$N_s = 0,21 \cdot 48 = 10,1 \text{ кВт}$$

11) Ефективна потужність компресора:

$$N_e = m_a (h_2 - h_1), \text{ кВт}.$$

$$N_e = 0,21(501 - 437) = 13,4 \text{ кВт}$$

12) Споживана потужність приводного двигуна:

$$N_{np} = \frac{N_e}{\eta_{пер} \cdot \eta_{дв}}, \text{ кВт}.$$

де $\eta_{пер} = 0,99$ - к.к.д. передачі від двигуна до компресора, $\eta_{дв} = 0,85$ - к.к.д. двигуна компресора.

$$N_{np} = \frac{13,4}{0,99 \cdot 0,85} = 15,9 \text{ кВт}$$

13) Коефіцієнт перетворення ТНУ:

$$COP = \frac{Q_{кд}}{N_{np}}.$$

$$COP = \frac{42,3}{15,9} = 2,6$$

14) Коефіцієнт перетворення ТНУ, що працює за циклом Карно:

$$COP_{ид} = \frac{T_K}{T_K - T_B}.$$

$$COP_{ид} = \frac{328}{328 - 279} = 6,6$$

15) Коефіцієнт корисної дії ТНУ:

$$\eta_t = \frac{COP}{COP_{ид}}.$$

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\eta_t = \frac{2,6}{6,6} = 0,4$$

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		32

Розраховані дані заносимо до таблиці 2.2

Таблиця 2.2

№	Назва параметру	Значення
1	Теплова продуктивність теплового насосу	42,3 кВт
2	Масова витрата холодильного агенту	0,21 кг/с
3	Теплове навантаження на випарник	30,9 кВт
4	Теплове навантаження на регенеративний теплообмінник	2,1 кВт
5	Адіабатна потужність компресора	10,1 кВт
6	Ефективна потужність компресора	13,4 кВт
7	Споживана потужність приводного двигуна	15,9 кВт
8	Коефіцієнт перетворення ТН	2,4
9	Коефіцієнт перетворення ТН, що працює за ідеальним циклом	6,6
10	Коефіцієнт ефективності ТН	0,4

Для забезпечення підтримки теплового потоку для нагрівання санітарної води з мережі водопостачання для споживачів необхідно підібрати тепловий насос типу «повітря-вода» для розрахункових параметрів, представлених в таблиці 2.2. У відповідності до наявних каталогів підбираємо найближчий більший за характеристиками тепловий насос «Mitsubishi PUNY-HP400YSHM». Паспортні дані насосу наступні (таблиця 2.3):

Таблиця 2.3 – Характеристики теплового насосу

Мінімальна температура по повітрю	-25 °С
Оптимальна температура по повітрю	-15 °С
Теплова потужність	50,0 кВт
Ефективна потужність компресора	18,0 кВт
Холодильний агент	R410
Рівень шуму	60 дБ

2.6 Визначення параметрів сонячного колектора

Догрів води для системи гарячого водопостачання в сонячному колекторі відбувається від температури санітарної води +15 до +25⁰С.

Таким чином, необхідний тепловий потік для забезпечення нагрівання води:

$$\dot{Q}_{СК} = m_B c_P (t_{B2} - t_{B1}), \text{ кВт},$$

де m_B – масова витрата мережевої води, кг/с

c_P – ізобарна теплоємність води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

$$\dot{Q}_{СК} = 0,41 \cdot 4,17(25 - 15) = 17,1 \text{ кВт}$$

Формування системи сонячного нагрівання середовища виконуємо на основі сонячних колекторів Argicus-ETC (0,94м², 10 трубок) [8].

Площа теплопередаючої поверхні 1 трубки сонячного колектора:

$$f_{TP1} = \frac{0,94}{10} = 0,094 \text{ м}^2$$

Розрахунки приводимо до 1м² площі теплообміну колектора.

Кількість труб в 1м² площі теплообміну:

$$n = \frac{1}{0,094} = 10,6 \approx 11 \text{ шт}$$

Річна потужність однієї трубки сонячного колектора:

$$E_{pik1} = f_{TP1} \cdot I \cdot k,$$

де $I = 1000 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}}$ – середньорічна інтенсивність сонячного

випромінювання для Сумської області (рисунок 1.7)

$k = 0,8$ – ефективність сонячного колектора [8].

$$E_{pik1} = 0,094 \cdot 1000 \cdot 0,8 = 72,2 \frac{\text{кВт}}{\text{рік}}$$

									Арк.
									34
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Річна потужність всього сонячного колектора:

$$E_{\text{рікСК}} = n \cdot E_{\text{рік1}} = 11 \cdot 72,2 = 794,2 \frac{\text{кВт}}{\text{рік}}$$

Денна потужність сонячного колектора:

$$E_{\text{денСК}} = \frac{E_{\text{рікСК}}}{365} = \frac{794,2}{365} = 2,1 \text{кВт}$$

В результаті отримуємо кількість необхідних блоків-сонячних колекторів для забезпечення потреби теплового потоку $\dot{Q}_{\text{СК}}$.

$$N = \frac{\dot{Q}_{\text{СК}}}{E_{\text{денСК}}} = \frac{17,1}{2,1} = 8 \text{шт}$$

Аналіз теплової генерації, представлений на рисунку 2.9, показує, що частка генерації тепла тепловим насосом складає 42,3кВт (71%), а частка генерації тепла сонячним колектором складає – 17,1кВт (29%) від загальної необхідної теплогенерації..



Рисунок 2.9 – Частка генерації тепла

Важливим є розташування сонячного колектора по відношенню до горизонту, так для літнього періоду необхідний кут нахилу до горизонту приблизно 45 градусів, а для зимового періоду – 30 градусів. Таке розташування забезпечить максимізацію сонячного випромінювання у залежності від пори року. Пристрій, що забезпечує нахил колектора представлено на рисунку 2.10.

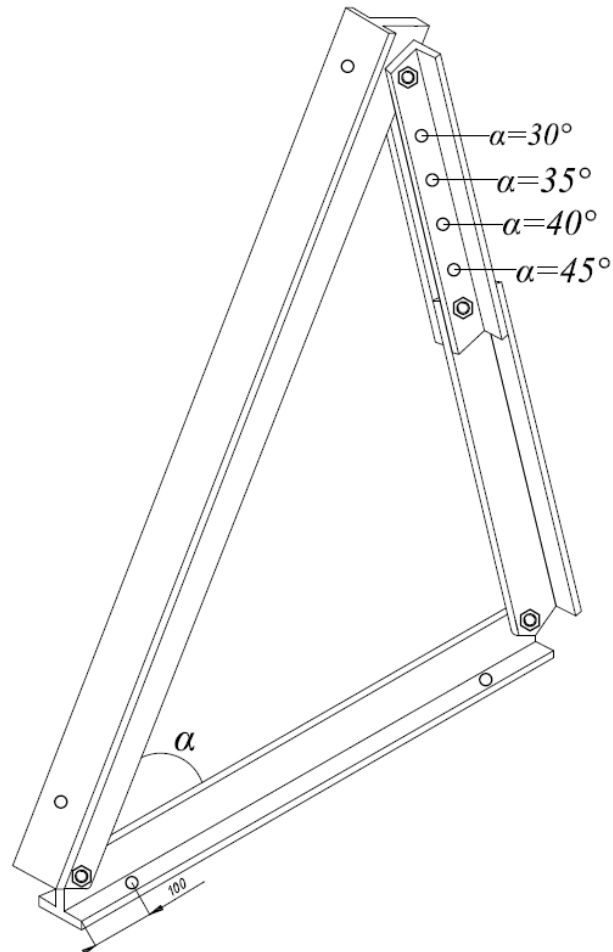


Рисунок 2.10 – Пристрій для нахилу сонячного колектора до горизонту

2.7 Підбір допоміжного обладнання

У якості допоміжного обладнання необхідно виконати наступне: провести підбір насосу для подачі води в систему гарячого водопостачання, рекуператора тепла та бака-накопичувача [5-6].

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

Підбір насосу для води системи гарячого водопостачання

У відповідності до витратної характеристики системи гарячого водопостачання, а саме $0,41 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 1,4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ підбираємо циркуляційний насос для ГВП WILO Star-Z 25/6-3.

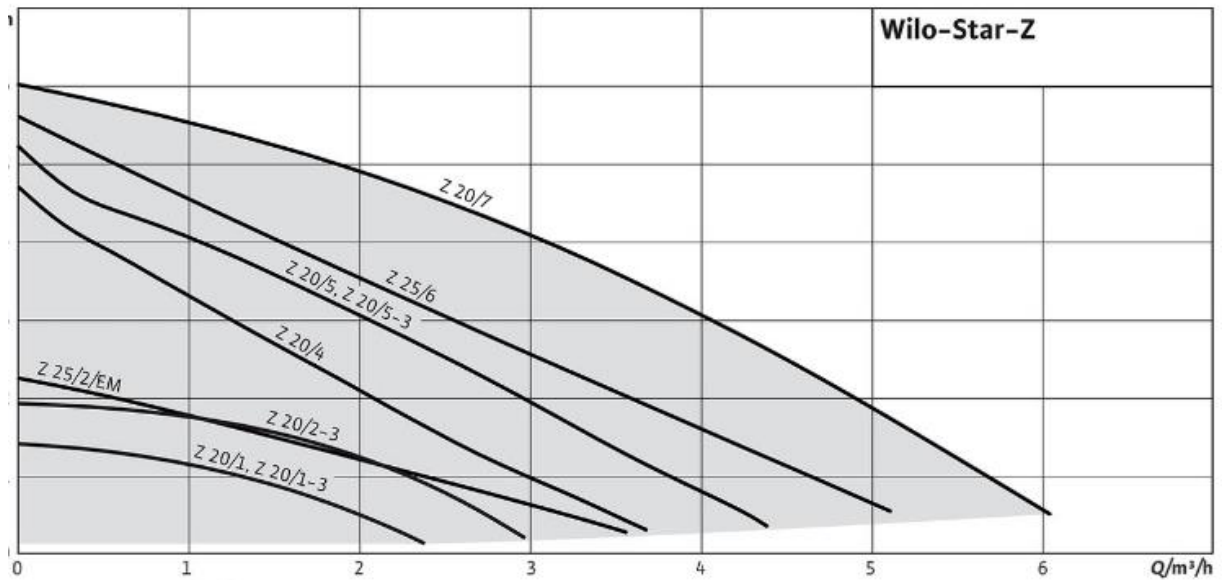


Рисунок 2.11 – Напірна характеристика насосу WILO Star-Z 25/6-3

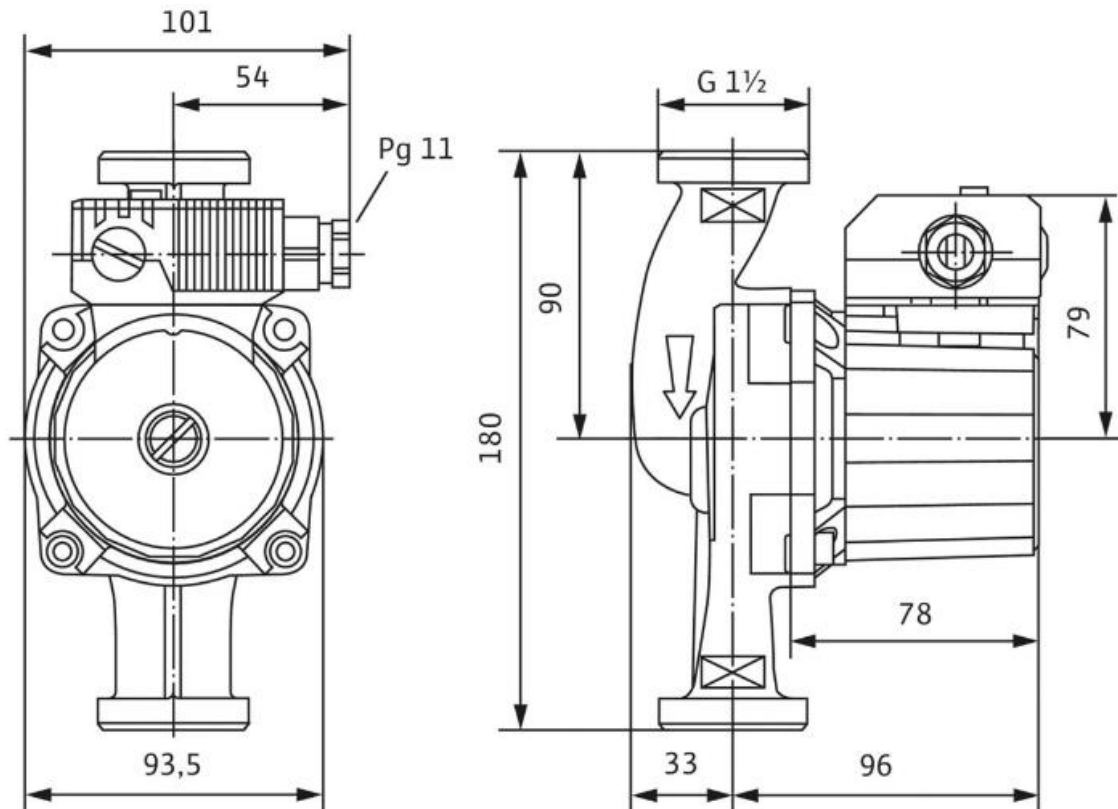


Рисунок 2.12 – Габаритні характеристики насосу WILO Star-Z 25/6-3

Переваги циркуляційних насосів WILO Star-Z:

Швидке підключення: Насоси оснащені швидким електричним підключенням, що дозволяє забезпечити просту та швидку установку.

Допуск KTW: Усі пластмасові деталі, що мають контакт з перекачуваним середовищем, відповідають вимогам допуску KTW, що забезпечує високу якість та безпеку.

Функції насосів для ГВП WILO Star-Z: Насоси WILO Star-Z оснащені різноманітними функціями, такими як перемикання ступенів частоти обертання, ручне керування, регулювання щаблів обертання тощо.

Зручне оснащення: Виливка під ключ на корпусі насоса, можливість двостороннього кабельного введення та швидке підключення за допомогою пружинних клем забезпечують зручність в експлуатації.

Стійкі матеріали: Корпус насоса виготовлений з бронзи, робоче колесо з синтетичного матеріалу, а вал з оксидної кераміки. Підшипники також

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 04.00.00.00 ПЗ

Арк.

38

виготовлені з графіту, просоченого синтетичною смолою, що забезпечує довговічність та надійність насосів.

Підбір рекуператора

У відповідності до схеми рисунку 2.13 рекуператор здійснює додатковий підігрів повітря, що надходить з навколишнього середовища чим підвищує ефективність теплового насосу в цілому.

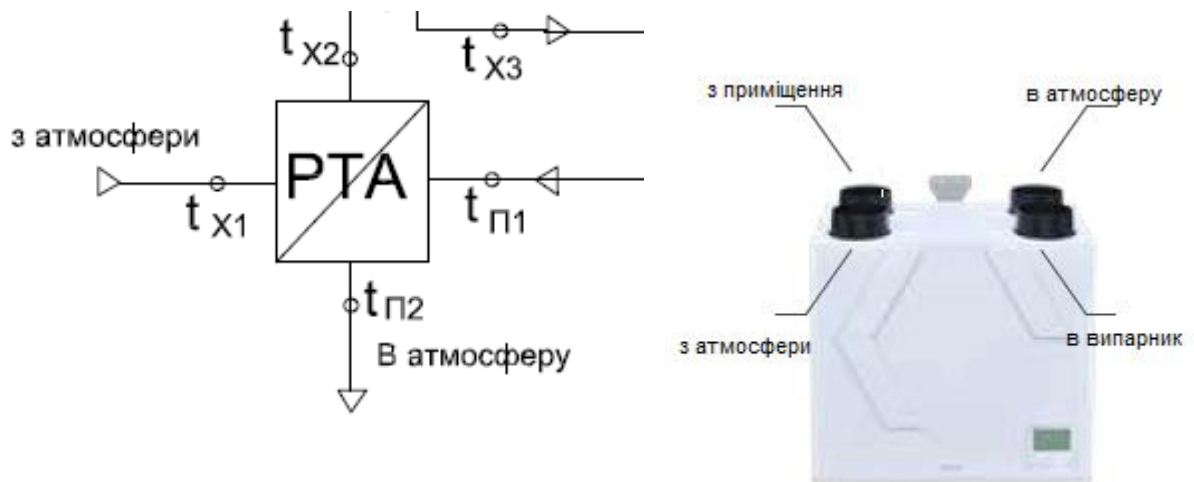


Рисунок 2.13 – Схема руху середовища в рекуператорі

Підбираємо рекупераційну установку Mitsubishi VL-250CZPVU [7].

Параметри установки:

Продуктивність - $250 \frac{m^3}{год}$;

Статичний тиск – 150 Па

Ефективність – 60–80%

Габаритні розміри 595x681x335мм

Системи рекуперації Lossnay від Mitsubishi вирішують проблему надання свіжого повітря в будівлі, забезпечуючи ефективну технологію

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

рекуперації тепла. Це дозволяє значно знизити енерговитрати на опалення та охолодження приміщення.

Ці системи забезпечують контрольовану вентиляцію з рекуперацією тепла, що дозволяє забезпечити комфортне проживання в будівлях з герметичною конструкцією. Вони оснащені трьома герметичними кишнями для фільтрів, що запобігає проникненню забруднень у приміщення через нещільності між рамками фільтра та блоком. Додаткові фільтри частинок забезпечують максимальний захист від потрапляння забруднювачів повітря у будівлю.

Окрім того, системи Lossnay можна гнучко налаштовувати, регулюючи швидкість вентилятора для припливного та відпливного повітря. Швидкість повітряного потоку можна регулювати у широкому діапазоні від 25% до 100%, що дозволяє забезпечити оптимальний рівень потоку повітря в будь-який час.

Ці системи також працюють ефективно при низьких температурах, забезпечуючи робочий діапазон до -15 градусів Цельсія. За наявності попереднього нагрівача цей діапазон може бути розширений до -25 градусів Цельсія, що робить системи Lossnay надійними і ефективними в різних кліматичних умовах.

Підбір бака-накопичувача

Для безперервного забезпечення накопичення та підігріву води від сонячного колектора та теплового насосу підбираємо бак-накопичувач зі змішувковим теплообмінником [5-7].

Бак-накопичувач має забезпечити пікове навантаження на систему гарячого водопостачання, тому необхідно підбирати бак ємністю не менше 400л, а саме Viessman Vitocell SVP400.

Ескізний рисунок баку представлено на рисунку 2.14.

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		40

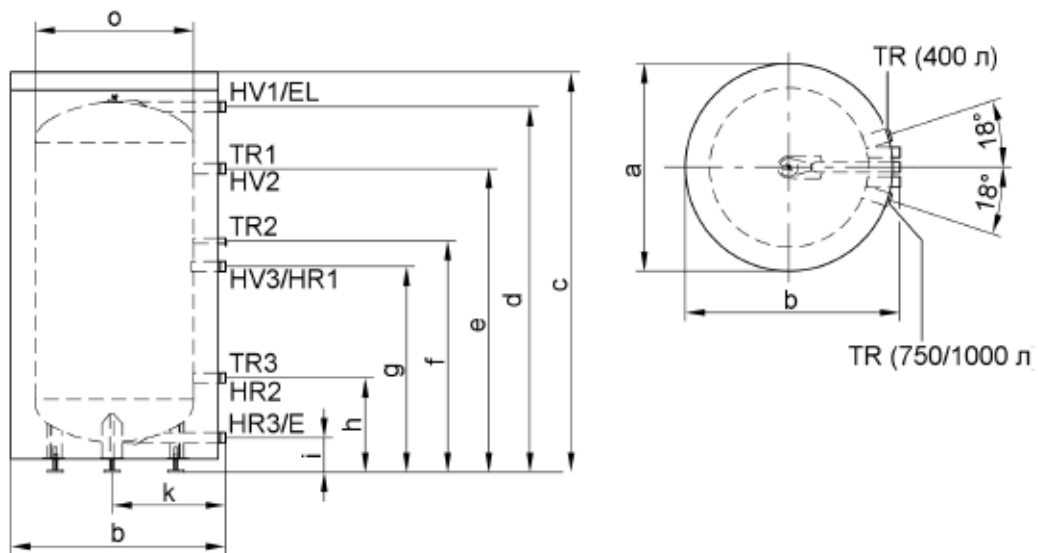


Рисунок 2.14 – Ескіз баку-накопичувача

Технічні характеристики:

Довжина – 850 мм,

Ширина – 888 мм,

Висота – 1630 мм,

Маса – 98 кг,

Робочий тиск на гарячій стороні – 3 бар.

Напірні характеристики та параметри гідравлічного опору представлено на рисунку 2.15.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 04.00.00.00 ПЗ

Арк.

41

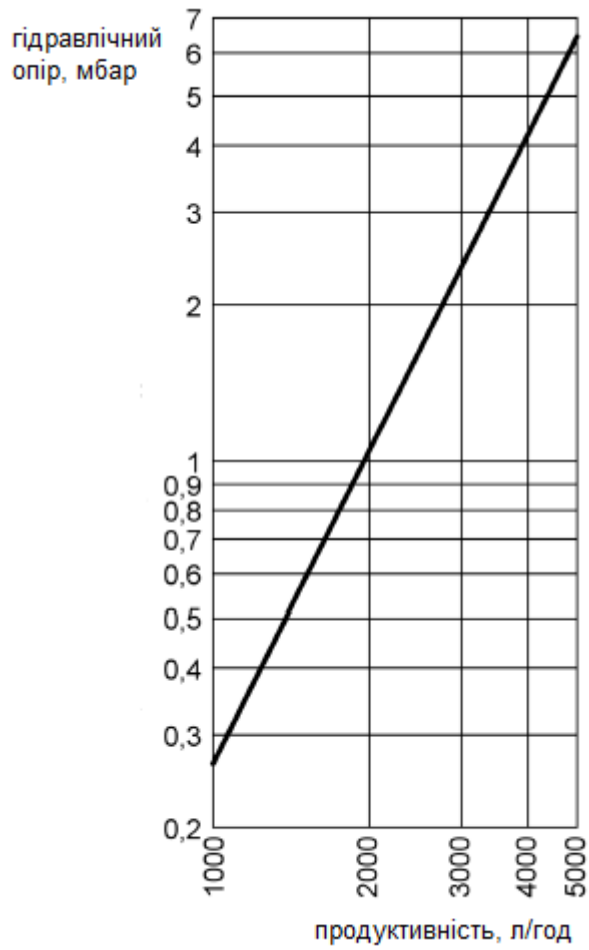


Рисунок 2.15 – Гiдравлічний опір баку-накопичувачу

3. Охорона праці

При роботі з теплонасосними установками одними з найнебезпечніших факторів для обслуговуючого персоналу будуть пари холодоагенту, а також підвищена вібрація, шумність, електробезпека та питання організації та забезпечення мікроклімату [9].

Експлуатація судин, що працюють під тиском

Причинами аварій та вибухів компресорних установок можуть бути надмірне підвищення температури повітря, що стискається, потрапляння вологи і пилу в камеру стиснення, розряди статичної електрики, швидке підвищення тиску в компресорі та повітрязбірнику, неякісний монтаж повітроводу. При високій температурі можливий перегрів стінок циліндра компресора та втрата ними механічної міцності, внаслідок чого можливий вибух. При рясному мастилі можливе пригорання олії до стінок циліндра; в атмосфері стисненого повітря пари олії здатні спалахнути при температурі 200-2200С. Тому не рекомендується допускати підвищення температури повітря в одноциліндрових компресорах понад 1600, а багатоступінчастих понад 1400.

Для запобігання перегріву компресорів застосовується охолодження: повітряне, коли тиск повітря, що стискається, не перевищує 2 атм.

Водяне при високих тисках.

Мастильні масла не повинні давати нагару і мати високу температуру спалахи (220-2400). Попередження запиленості та вологості повітря, що засмоктується. Пил і вологість повітря, що засмоктується, можуть призвести до небезпечних наслідків. Облягаючись разом з вологою та парами олії на стінках циліндрів, пил роз'їдає їх та погіршує умови охолодження. При певній концентрації в повітрі, нагар, пил та пари олії можуть вибухати. Волога, накопичуючись і конденсуючись у циліндрах, може викликати гідравлічний удар. Адіабатичним стисненням називається процес підвищення тиску повітря

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		43

у спеціальних пристроях (компресорах) без відведення теплоти; процес стиснення супроводжується підвищенням температури повітря, що стискається.

З метою боротьби з запиленістю повітря, що засмоктується, зона його паркану має бути чистою. У забірній трубі встановлюється фільтр для очищення повітря, а перед парканом встановлюється сітка для попередження від влучення великих частинок. Для видалення вологи з повітря встановлюється вологовідділювач.

Попередження розрядів статистичної електрики.

Нагромадженню зарядів статистичної електрики сприяє: сухість стисливого повітря та його рух, наявність у повітрі сухого пилу в кількості 200 г/м³ та гарна ізоляція частин компресора. Розряди статистичної електрики в компресорі можуть бути причиною

займання залишків олії або вибух продуктів її розкладання.

Найбільш доцільними заходами щодо боротьби розрядів статистичної електрики можуть бути наступні:

- повна металізація компресорної установки;
- надійне заземлення компресорної установки, повітроводів та похухозбірника;
- хороше очищення повітря;
- хороше очищення внутрішніх поверхонь компресора від нагару та іржі.

Попередження швидкого підвищення тиску повітря в компресорної установки. Швидке підвищення тиску в повітроводі може наступити внаслідок різкого зниження витрати стисненого повітря. Без вжиття спеціальних заходів таке підвищення може призвести до вибуху. Для попередження аварій застосовуються автоматичні регулятори тиску та запобіжні клапани. Дія регулятора тиску полягає в тому, що регулятор тиску при швидкому підвищенні тиску в повітрозбірнику негайно діє на всмоктувальні клапани, які припиняють засос повітря в циліндри та переводить компресор на холосту

									Арк.
									44
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Б142д 04.00.00.00 ПЗ

роботу. Однак цей прилад не усуває небезпеки підвищення тиску на проміжних щаблях. Тому, поряд із встановленням регулятора на проміжних щаблях компресора встановлюються запобіжні клапани. Для контролю тиску в кожному ступені встановлюються манометри. Монтаж компресорної установки. Для забезпечення безпеки роботи компресорної установки необхідний якісний монтаж основних частин її - компресора, повітрозбірника (ресивера) та повітропроводів. Компресор слід встановлювати в окремому одноповерховому приміщенні з легким перекриттям та великою заасклоною площею віконних отворів. Приміщення має бути не нижче 2 категорії вогнестійкості.

При встановленні кількох компресорів між ними повинні дотримуватися розривів не менше 1,5 м. Для обслуговування компресора навколо нього має бути вільний простір шириною не менше ніж 1 м. Фундамент, на якому встановлюється компресор, має бути відокремлений від фундаменту стін і заглиблений нижче за цей фундамент не менше 0,5 м коливань ґрунту, неминучих під час роботи компресора. За цими ж міркувань між ґрунтом та фундаментом повинен бути передбачений повітряний шов. У самому фундаменті повинен бути пружний прошарок з застосуванням бітумізованого повсті для максимальної амортизації його струсів. Привід до компресора від двигуна і всі рухомі та частини компресора, що обертаються, повинні бути огорожені. Для обслуговування, огляду та ремонту частин компресора, що знаходиться на висоті більше зростання людини, повинні бути обладнані стаціонарні сходи з майданчиками, огороженими поручнями заввишки не менше 1м. Компресор повинен бути обладнаний необхідною контрольною та вимірювальною апаратурою. Стіни та стеля приміщення компресорної установки слід фарбувати олійною фарбою світлих тонів. Повітрозбірник монтується поза приміщенням біля глухої стіни або біля простінка між вікнами, по можливості на невеликій відстані від компресора, у безлюдному місці, під навісом із легким дахом. При тиску повітря у компресорній

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		45

установці не вище 2 атм. З дозволу технічної інспекції повітрозбірник може встановлюватися в одному приміщенні з компресором. Для попередження інтенсивного нагрівання сонячним промінням повітрозбірник забарвлюють у світлі тони.

Посудини, які працюють під тиском понад 0,7 атм. проектується та експлуатуються відповідно до спеціальних правил Держгіртехнагляду. Основними причинами аварій стаціонарних судин, що працює під тиском, є неправильне їх виготовлення, порушення правил експлуатації, несправність арматури та приладів, корозія та інші порушення.

Судини, що працюють під тиском, поділяються на 5 категорій і залежно від допустимого тиску та температури.

Перед експлуатацією судини проходять такі види контролю:

- зовнішній огляд;
- механічні випробування на вигин, розтяг та удар;
- просвічування рентгенівськими або - променями (у судинах 1,2,3 кат. просвічується 25% всіх швів, 4-15% та 5-10%);
- гідравлічні випробування на міцність

Методика розрахунку на міцність судин, що працюють під тиском, зводиться до визначення товщини стінки.

Причини вибухів балонів Балони на заводах застосовуються для зберігання, перевезення та використання стислих та зріджених газів.

Причинами вибухів балонів є:

- удари;
- переповнення балонів зрідженими газами (без залишення вільного простору);
- використання балонів одних газів для інших;
- швидке наповнення балона газом, що супроводжується різким нагріванням його;
- попадання олії на вентиль кисневого балона;

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		46

- швидкий випуск газу (може виникнути іскра).

Шуми та вібраційний вплив

Захист людини від фізичних негативних факторів здійснюється трьома основними методами:

- обмеженням часу перебування у зоні дії фізичного поля,
- видаленням від джерела поля
- застосуванням засобів захисту, з яких найбільш поширені екрани,

що знижують рівень фізичного поля.

Таким чином, для захисту від вібрації необхідно застосовувати такі методи:

- зниження віброактивності машин
- відбудова від резонансних частот;
- вібродемпфування
- віброгасіння – для високих та середніх частот;
- підвищення жорсткості системи – для низьких та середніх частот;
- віброізоляція;
- застосування індивідуальних засобів захисту.

Зниження віброактивності машин досягається зміною технологічного процесу, застосуванням машин з такими кінематичними схемами, за яких динамічні процеси, викликані ударами, різкими прискореннями тощо були б виключені або гранично знижені (наприклад, заміна клепки зварюванням); гарною динамічною та статичним балансуванням механізмів, мастилом і чистотою обробки взаємодіючих поверхонь; застосуванням кінематичних зачеплень зниженою віброактивністю (наприклад, використання шевронних та косозубих) зубчастих коліс замість прямозубих); заміною підшипників кочення на підшипники ковзання; застосуванням конструкційних матеріалів з підвищеним внутрішнім тертям.

					Б142δ 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

Для захисту від акустичних коливань (шуму, інфра- та ультразвуку) можна використовувати наступні методи:

- зниження звукової потужності джерела звуку
- розміщення робочих місць з урахуванням спрямованості випромінювання звукової енергії
- видалення робочих місць від джерела звуку ;
- акустична обробка приміщень :
- звукоізоляція :
- застосування глушників
- застосування засобів індивідуального захисту.

Зниження звукової потужності джерела звуку . Для зниження шуму механізмів і машин застосовують методи, аналогічні методам, що знижує вібрацію машин, тому що вібрація є джерелом механічний шум.

Аеродинамічний шум, що викликається рухом потоків повітря та газу та обтіканням ним елементів механізмів і машин, найбільш потужне джерело шуму, зниження якого у джерелі найскладніше. Для зменшення інтенсивності генерації шуму покращують аеродинамічну форму елементів машин, обтічних газовим потоком, та знижують швидкість руху газу. Зміна спрямованості випромінювання шуму.

При розміщення установок із спрямованим випромінюванням необхідна відповідна орієнтація цих установок по відношенню до робітників та населеним місцям, оскільки величина спрямованості може досягати 10...15 дБ. Наприклад, отвір повітрязабірної шахти вентиляційної установки або гирло труби скидання стиснутого газу необхідно розташовувати так, щоб максимум випромінюваного шуму був направлений у протилежний бік від робітника місця.

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		48

Забезпечення пожежо- та вибухобезпеки

Заходи протипожежного захисту можна розділити на

- пасивні
- активні.

Пасивні заходи зводяться до архітектурно-планувальних рішень. При проектуванні будівлі необхідно передбачити зручність підходу та проникнення в приміщення пожежних підрозділів, зниження небезпеки поширення вогню між поверхами, окремими приміщеннями та будинками, конструктивні заходи, що забезпечують незадимлюваність будівель, протипожежні розриви, перешкоди для поширення вогню, виконання конструкція будівлі із важкогорючих матеріалів тощо.

Активні заходи полягають у створенні автоматичної пожежної сигналізації, встановлення систем автоматичного пожежогасіння, постачання приміщень первинними засобами пожежогасіння та ін.

Пасивні заходи. Архітектурно-планувальні рішення полягають у зонування території підприємства та встановлення між окремими будинками протипожежних розривів. Зонування території підприємства здійснюють на основі технологічного зв'язку та характеру пожежних небезпек, властивих різним технологічних процесів. Будинки, споруди, склади з підвищеною пожежною небезпекою мають з підвітряного боку.

Протипожежні розриви роблять для запобігання розповсюдженню пожежі з однієї будівлі на іншу. Розмір протипожежного розриву залежить від ступеня вогнестійкості будівель, категорії пожежної небезпеки, протяжності та поверховості будівель.

Протипожежні зони – це розділові зони для обмеження поширення пожежі у будівлі. Зазвичай це проліт будівлі, що відокремлюється стінами та покриттями, який поділяє будівлю на пожежні відсіки з різною пожежною небезпекою. Протипожежні перекриття виключають поширення пожежі по

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

вертикалі будівлі, вони виконуються без отворів і отворів і примикають до глухих (що не мають скління) ділянок зовнішніх стін. Легкоскидні конструкції (ЛСК) забезпечують зниження навантаження на конструкцію будівлі при вибуховому горінні. В якості конструкцій, що легко скидаються, використовують скління будівель, двері, розпашні ворота, поворотні панелі, ділянки даху, що скидаються. Під час вибуху їх скидаються за рахунок підвищеного тиску всередині будівлі (ударної хвилі), запобігаючи тим самим руйнації будівлі. Вогнеперешкодники - це пристрої, що пропускають пароповітряні суміші, але перешкоджають поширенню полум'я. Вогнеперегородники встановлюють у трубопроводах горючих газів, на резервуарах горючих рідин. Вони є металевим корпусом, заповненим негорючими насадками, гравієм, металевою сіткою тощо.

В автоматичній пожежній сигналізації використовують термостати, які при підвищенні температури до заданої межі включають сповіщувачі. Автоматичним пожежним сповіщувачем може бути металева пластинка, що складається зі сплаву різних матеріалів з різним коефіцієнтом розширення. У разі підвищення температури до певної межі пластинка вигинається і з'єднує два електричні контакти, що приводять в дію звукові та світлові сигнали. Вогнища горіння виявляють також шляхом реєстрації оптичного випромінювання та мерехтіння полум'я, задимленості, теплового випромінювання, ступеня іонізації навколишнього середовища, зміни температури та тиску. Залежно від способу реєстрації датчики систем пожежно-захисту поділяються на датчики полум'я, димові, теплові, іонізаційні, датчики тиску та комбіновані, що реєструють кілька параметрів. Системами пожежної сигналізації обладнають технологічні установки підвищеної пожежної небезпеки, виробничі будівлі, склади. Пожежна сигналізація має велике значення для здійснення заходів щодо запобігання пожежам, сприяє своєчасному їх виявленню та виклику пожежних підрозділів до місця виникнення пожежі.

					<i>Б142δ 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Забезпечення електробезпеки

Дія електричного струму на організм людини

Слід виділити два види ураження електричним струмом:

- електричні травми
- електричний удар.

Електричні травми являють собою місцеві ураження тканин та органів електричним. струмом. До них відносяться: опіки, електричні знаки та електрометалізацію шкіри. Опіки можливі при проходженні через тіло людини значних струмів (більше 1А.), при цьому в тканині, як у будь-якому опорі, виділяється кілька теплоти. При температурі 60-700С тканини згортається білок і з'являється опік. Такі опіки глибоко проникають у тіло, дуже болючі та іноді призводять до інвалідності. В електроустановках напругою понад 1000В можуть виникнути опіки і без безпосереднього контакту з струмопровідними частинами, а лише за випадковому наближенні до них на відстані рівну розрядному. Електричні знаки виникають при хорошому контакті з токоведущими частинами і є припухлість у вигляді мозолі. Електричні знаки безболісні, але за більшої площі поразки, можуть призвести до порушення функції ураженого органу.

Електрометалізація шкіри – просочування поверхні шкіри частинками металу при його випаровуванні під дією струму, наприклад, при горіння дуги. Метал може проникнути в шкіру і внаслідок електролізу в місцях зіткнення людини з струмопровідними частинами. Колір шкіри визначається кольором прониклого металу. Електричний удар спостерігається при дії малих струмів (кілька сотень міліампер) при невеликих напругах (до 1000В). Такий струм не викликає виділення великої кількості тепла, проте викликає параліч серця, дихальних органів та центральної нервової системи. Вражаюча дія струму на організм людини визначається величиною струму, напругою, опором тіла людини, родом струму та шляхом його проходження через людину. Небезпека

									Арк.
									51
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 04.00.00.00 ПЗ				

ураження електричним струмом тим більше, чим більша величина струму, що проходить через людину.

Порогові величини струму такі:

- а) поріг відчуття 05-15 мА;
- б) поріг струму, що не відпускає, - 10-15мА;
- в) смертельний струм – 100 мА та більше.

Струм завбільшки кілька десятків міліампер при дії більше 15-20 сек. призводить до паралічу дихання, а при струмах у кілька сотень міліампер при малій тривалості впливу (соті частки сек.) відбувається безладне скорочення волокон серцевих м'язів (процес фібриляції). Серце під час фібриляції перестає виконувати роль насоса та кровообіг припиняється. При струмах більше 5-7 А фібриляція не настає, однак, вони викликають порушення нервової системи, в результаті чого зупиняється дихання. І в тому і в іншому випадку настає кисневе голодування та смерть.

Рід струму. Вказані вище величини справедливі для змінного струму. Проведені дослідження показали, що змінний струм промислової частоти до напруги 450В небезпечніше рівного йому за напругою постійної струму. При напругах 450-500В небезпека обох пологів струму однакова. При Великі напруги небезпечніші за постійний струм. Наведено еквівалентні величини напруг обох пологів струму; 120В постійного струму та 42В змінного; 108В постійного струму та 36В змінного струму. Частота струму. Найбільш небезпечним вважається струм промислової частоти 50-60Гц. У діапазоні частот 50-500Гц. Небезпека змінного струму зростає із частотою. У разі подальшого збільшення частоти струму небезпека зменшується.

Тривалість дії струму. Зі збільшенням тривалості дії струму зростає його небезпека. Безпечний час дії знаходиться у межах 0,01 сек.

Опір людини. Особливо важливу роль вражаюче дія електроструму має опір тіла людини. Опір людини складається з опору внутрішніх органів та зовнішнього покриву (шкіри). Опір внутрішніх органів становить 800-1000

										Арк.
										52
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

Ом, опір сухої неушкодженої шкіри становить 80000-100000 Ом. Однак, опір шкіри величина не постійна, вона зменшується для вологої шкіри при її пошкодженнях. Особливе значення має те обставина, що опір шкіри зменшується під час проходження струму. Тому при розрахунках опір людини приймається рівним 1000Ом.

Розрізняють два випадки переходу напруги.

1.Перехід вищої напруги (вище 1000В) в нижчу мережу напруги (до 1000В). Наприклад, при пошкодженні ізоляції обмоток низького трансформатора 6600/380В напруга з мережі вищого напруги (6600В) перейде в мережу нижчої напруги (380В). Такий перехід викликає у вторинній мережі її пошкодження та нещасні випадки.

2.Перехід напруги в електроустановках на конструктивні металеві частини електрообладнання, що нормально не знаходяться під напругою. Цей перехід без застосування захисних засобів представляє небезпека обслуговуючого персоналу.

Захист від переходу вищої напруги в мережу
Нижчого напруження.

Захист від небезпеки переходу напруги з мережі вищої напруги (більше 1000В) у мережу нижчої напруги (менше 1000В) здійснюється за допомогою заземлення нейтралі або фази нижчої мережі напруги. Якщо мережа нижчої напруги трипровідна, то захист здійснюється через пробивний запобіжник, якщо мережа чотирипровідна, то безпосередньо, наглухо шляхом заземлення нейтралі. Це заземлення називається робітником.

Індивідуальні засоби захисту від ураження електротоком

Залежно від призначення індивідуальні засоби можуть бути поділені на такі види:

- ізолюючі від землі,
- ізолюючі від землі електроустаткування,
- покажчики або індикатори напруги,

					Б142δ 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		53

- захисні засоби для очей.

До засобів ізолюючої людини від землі відносяться гумові килимки, калоші, боти та ізолюючі підставки.

Килимки застосовуються при обслуговуванні електроустановок напругою до 1000В. Вони виготовляються розміром 0,75 x 0,75 м та завтовшки 4-10 мм. Калоші та боти також застосовуються при обслуговуванні установок напругою до 1000В та не покриваються лаком. Ізолювальні підставки застосовуються під час обслуговування електроустановок з будь-якою напругою. Вони виготовляються з ґрат розміром 0,75 x 0,75 м та 0,75 x 0,4 м. Ґрати монтують з дерев'яних планок і встановлюють на фарфорові ніжки заввишки 50 мм.

До засобів захисту від електроураження належать монтерський інструмент та пристрої для різних робіт (кліщі, штанги). Монтерський інструмент (кусачки, пасатижі, викрутки) повинні мати ізольовану ручку завдовжки 10 см. Штанги служать для включення та вимкнення роз'єднувачів. Ізолюючі кліщі застосовуються для зміни запобіжників при напрузі до 35 кв. Вказівники або індикатори служать для перевірки напруги. При напрузі до 220В застосовуються лампочки розжарювання що включаються до мережі. При напрузі струму 220-500В застосовуються неонові лампочки, яка включена до патрона. Електрошнур та патрон мають наконечники-електроди, що приєднуються до джерела напруги. У електроустановки з напругою вище 500В як індикатори застосовуються струмошукачі, що діють від ємнісного струму і тому вимагають включення безпосередньо до мережі.

Захисними засобами для очей є окуляри (темно-зелені або золотисто-зелені). Індивідуальні захисні засоби за ступенем надійності поділяються на основні та додаткові.

Основними називаються такі засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу електроустановки і за допомогою яких дозволяється торкатися струмопровідних елементів, що знаходяться під напругою. Додатковими

					Б142д 04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

називаються такі засоби, які самі по собі не можуть забезпечити безпеку при даній напрузі і є додатковою мірою захисту до основних засобів.

До основних захисних засобів в установках напругою вище 1000В відносяться:

- ізолюючі шланги;
- ізолюючі кліщі;
- покажчики напруги.

До додаткових засобів відносяться: діелектричні рукавички та боти, гумові килимки, ізолюючі підставки. До основних захисних засобів в установках напругою до 1000В відносяться калоші, боти, гумові килимки та ізолюючі підставки. Для перевірки діелектричних властивостей всі ізолюючі захисні засоби піддаються електричним випробуванням після виготовлення та періодично у процесі експлуатації. Лише штанги, призначені виключно для накладання тимчасових заземлень, діелектричні килимки та ізолюючі підставки не піддаються періодичним випробуванням. Покажчики високої напруги та струмошукачі, крім того, випробовуються на правильність їх свідчень. Випробування виконуються змінним струмом промислової частоти (50 Гц) за нормальної температури 15-200⁰С. Таку ж температуру повинні мати і об'єкти, що випробовуються. Гумові захисні засоби допускається відчувати постійним струмом.

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		55

Список використаних джерел

1. Теплонасосна технологія енергозбереження : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв. – Суми : СумДУ, 2011. – 283 с.
2. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2018. – 364 с.
3. Refrigeration, air conditioning and heat pumps. Fifth edition/Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2016. – 460 p.
4. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Розрахунок теплообмінників пластинчасто-ребристого типу з повітряним охолодженням» курсу «Холодильні установки»/ укладачі: С. О. Шарапов, Ю. М. Вертепов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 24 с.
5. Пропозиції теплових насосів та вентиляторів. Каталог 2023/2024 – Mitsubishi Electric, 2024, [електронний ресурс], <https://mitsubishi-aircon.com.ua/>
6. Кліматичні системи 2019. Каталог – Mitsubishi Electric, 2019.
7. Тепловые насосы. Каталог. – Mitsubishi Electric, 2016.
8. Принцип дії сонячних колекторів. <https://teplota.com/> [електронний ресурс].
9. Денисенко А. Ф. Охорона праці: конспект лекцій для студ. екон. спец. заочної форми навчання. Ч.1 / А.Ф. Денисенко.– Суми : СумДУ, 2007.– 128 с.

					<i>Б142д 04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56