

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Базюк Володимир Вікторович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Вдосконалення схеми управління водо охолоджуючих установок
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

Базюк В.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Слюсаренко Ірина Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

старший викладач кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Консультант

Гончаренко Юрій Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к. т. н. доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Базюк В.В. Вдосконалення схеми управління водо охолоджуючих установок. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

У роботі розглянуті питання вдосконалення системи управління водо охолоджуючих установок.

Метою роботи є дослідження абсорбційних холодильних машин з вбудованою теплонасосною установкою і сонячними колекторами, які обумовлені необхідністю вирішення ряду технічних, економічних і теплофізичних проблем при розробці системи охолодження і кондиціонування.

Ключові слова: система управління, абсорбційна холодильна машина , теплообмінник, сонячний колектор, тепловий насос, генератор

ABSTRACT

Bazyuk V.V. Improving the control scheme of water cooling installations. Qualification work for a bachelor's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The issues of improving the control system of water cooling installations are considered in the work.

The aim of the work is to study absorption refrigeration machines with built-in heat pump installation and solar collectors, which are due to the need to solve a number of technical, economic and thermophysical problems in the development of cooling and air conditioning systems.

Keywords: control system, absorption refrigeration machine, heat exchanger, solar collector, heat pump, generator

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ, БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУЧАСНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК	6
1.1 Типи холодильних установок. основні принципи одержання штучного холоду	6
1.2 Сучасні холодильні установки з автоматичним управлінням охолодження води.	7
Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВКЛЮЧЕННЯ ТЕПЛОАСОСНОЇ УСТАНОВКИ І СОНЯЧНИХ КОЛЛЕКТОРІВ У СКЛАД АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН	16
2.1 Аналіз схемного рішення з використанням одноступеневої АХМ на гарячій воді	16
2.2 Аналіз схемного рішення з використанням двоступеневої АХМ на гарячій воді	20
Висновки по розділу 2	28
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Значна частина усієї вироблюваної енергії в світі використовується в цілях охолодження, як для зберігання різного виду продуктів, так і для створення комфортних умов в житлових і робочих приміщеннях. Потреба в системах кондиціонування достатньої потужності стає найбільш гострою в місцях з більш жарким кліматом і, особливо, в літній час, коли сонячна активність максимальна. Висока температура навколишнього середовища погіршує умови роботи систем компресійного типу, значно знижує їх енергоефективність і надійність роботи.

Багато технологічних процесів, які проходять на виробництвах, вимагають використовувати охолодження води з метою дотримання необхідних режимів температури. Якщо їх не дотримуватися, то можливе порушення або уповільнення робочого процесу, при цьому якістю продукту також знижується.

Регулювати всі процеси допоможе холодильне обладнання для акумуляції холодної води. Його використовують на підприємствах переробки сільськогосподарської продукції, металургійної та нафтової, хімічної і фармацевтичної, а також харчової та легкої промисловості.

У цих умовах **актуальним стає завдання** використання різних видів автономних холодильних установок, наприклад, таких як абсорбційні холодильні машини (АХМ).

Об'єктом дослідження є автономні холодильні установки абсорбційного типу

Мета роботи: Вибір в якості об'єкта досліджень абсорбційних холодильних машин (АХМ) з вбудованою теплонасосною установкою і сонячними колекторами, який обумовлений необхідністю вирішення ряду технічних, економічних і теплофізичних проблем при розробці систем охолодження і кондиціонування.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Базюк В. В. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК З АВТОМАТИЧНИМ УПРАВЛІННЯМ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ.

Матеріали 1-ої МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «Комп'ютерні технології та сучасна інженерія-2021», 3,4 червня 2021 Житомир, Україна. С. 69-71

2. Базюк В. В., Слюсаренко І.П. АНАЛІЗ СХЕМНОГО РІШЕННЯ ОДНОСТУПЕНЕВОЇ АБСОРБЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА ГОРЯЧІЙ ВОДІ ІЗ ВБУДОВАНОЮ ТЕПЛОАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ І СОНЯЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ.

Матеріали 1-ої МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «Комп'ютерні технології та сучасна інженерія-2021», 3,4 червня 2021 Житомир, Україна. С. 69-71

ПРИЗНАЧЕННЯ, БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУЧАСНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Системи для охолодження води актуальні, оскільки від них залежить якісна і безперебійна робота багатьох виробничих підприємств як в промисловості так і в сільському господарстві. Обраний льодоакумулятор може відмінно підійти для використання на виробництвах з виготовлення гуми, пластмас та інших полімерів, агрофірми їх використовують для вирощування грибів. Дуже часто холодильна установка стає частиною системи переробки продукції тваринництва, кондиціонування в промислових і складських приміщеннях України.

На сьогоднішній день сферами використання охолодженої води є :

- переробка молочної продукції;
- пивоваріння;
- виробництво та розливання напоїв і мінеральної води;
- переробка м'ясної продукції тваринництва і птиці;
- охолодження фруктів;
- пекарне виробництво;
- пивоваріння;
- переробка рибної продукції
- машинобудування та виробництво пластмас;
- аварійне охолодження різного обладнання.

1.1 Типи холодильних установок. основні принципи одержання штучного холоду

У багатьох технологіях процесів переробки сільськогосподарської продукції застосовується холод. Завдяки цьому при зберіганні продукції набагато скорочуються її втрати. Крім того такі охолоджені продукти можна транспортувати на великі відстані.

Призначені для переробки або реалізації молочні продукти, наприклад, як правило, попередньо охолоджують. Так молоко перед відправкою на переробне підприємство можна зберігати не більше 20 годин при температурі не вище 10 °С [1].

М'ясо охолоджується в основному на фермах і птахофабриках. Для цього використовуються наступні способи охолодження: за допомогою повітря, холодної води, з таючим льодом у воді і ін. М'ясо птиці підморожують або холодним повітрям, або зануренням в холодний розсіл. Повітряне Підморожування повітрям відбувається в холодильних камерах при температурі від -23 до -25°С і швидкості руху повітря 3-4 м/с. При підморожуванні зануренням застосовують розчини хлористого кальцію або пропіленгліколю з температурою від -10°С і нижче.

М'ясо, тривалого зберігання, заморожуються тими ж способами, які використовуються при підморожуванні. Повітряне заморожування відбувається при температурі охолоджуваного повітря від -30 до -40 ° С, а при заморожуванні в розсолі температура розчину повинна складати -25 ...- 28 °С.

Яйця охолоджують до температури 2 - 3°С, а потім їх поміщають у холодильник де вони зберігаються при температурі -1 ...- 2°С та відносній вологості 85 ... 88%.

Для охолодження овочів і фруктів використовуються стаціонарні сховища, а зберігаються вони в холодильних камерах з охолоджуючими батареями, з циркулюючим холодогентом або розсолем.

Для сільськогосподарських потреб холод отримують двома способами: безмашинним (льодовики, льдосолене охолодження), і за допомогою спеціальних холодильних машин. При машинному охолодженні теплота за допомогою низько кип'ячих холодильних агентів (фреон або аміак) відводиться від охолоджуваного середовища у зовнішній навколишній простір

Широкого застосування отримали парові компресори та абсорбційні холодильні машини.

Для отримання температури робочого тіла нижчу за температуру навколишнього середовища необхідно робоче тіло (холодильний агент) стискати в компресорі, потім охолодити його до температури навколишнього середовища і після цього піддати адіабатичному розширенню. Робоче тіло при цьому буде здійснювати роботу за рахунок своєї внутрішньої енергії а температура його в порівнянні з температурою навколишнього середовища зменшиться. В даному випадку робоче тіло виконає роль джерела отримання холоду.

В якості холодильних агентів можна застосовувати будь-який пар або газ. У перших холодильних машинах з механічним приводом в якості холодильного агента застосовували повітря, але вже з кінця XIX в. він був замінений аміаком і вуглекислою, оскільки повітряна холодильна машина менш економічна і більш громіздка, ніж парова, через велику витрату повітря, обумовленого його малою теплоємністю.

Парокомпресійні холодильні машини мають найбільше застосування для штучного охолодження в широкому інтервалі температур: від 278 К (одноступінчаті холодильні машини) до 113 К (каскадні холодильні машини). Їх холодопотужність охоплює діапазон від кількох десятків ватів (домашні холодильники) до декількох тисяч кіловат (холодильні машини з відцентровими компресорами). Особливістю будови парокомпрессионних холодильних машин є те, що робоча речовина при зворотному циклі, змінює свій агрегатний стан і може перебувати в стані вологої, сухої насиченої або перегрітої пари, а також в рідкому стані.

Як правило, в холодильних установках робочим тілом є пари рідин, які при атмосферних тисках, киплять при низьких температурах. У якості таких холодильних агентів можуть використовуватися аміак NH_3 , сірчистий ангідрид SO_2 , діоксид вуглецю CO_2 і фреони - фторохлоропохідні вуглеводного типу $\text{C}_m\text{H}_x\text{F}_y\text{Cl}_2$ [2,3].

На великих холодильних установках застосовується, в основному аміак, а на малих і середніх установках різні фреони (хладони). В склад холодильної машини входять слідуючі основні компоненти: компресор, конденсатор, випарник і пристрій, в якому відбувається розширення робочої речовини.

Найпростіша парокompресійна холодильна установка (рис. 1.1) працює по зворотному циклу Карно в області вологої пари. Вологий пар холодоагенту надходить в компресор K_m , що приводиться електродвигуном $ЕД$, і адіабатно стискається до верхньої приграничної кривої. Потім сухий насичений пар надходить в конденсатор K_n , де ізобарно і ізотермічно повністю конденсується, віддаючи теплоту джерела з температурою вище температури охолоджуваних в установці тіл, наприклад атмосферному повітрю. Рідкий холодоагент надходить у детандер, де адіабатно розширюється. Вироблена при цьому робота використовується для приводу компресора і зменшення потужності, споживаної його електродвигуном. Вологий пар холодоагенту надходить у випарник B , розміщений в холодильній камері. Тут при постійному тиску відбувається часткове випаровування холодоагенту за рахунок теплоти, яка віднімається від завантаження холодильної камери. Цикл парокompресійної установки в T, S -координатах представлений на рис. 1.2. Цифри на схемі рис. 1.1 і графіку 1.2 позначають одні й ті ж стану холодоагенту.

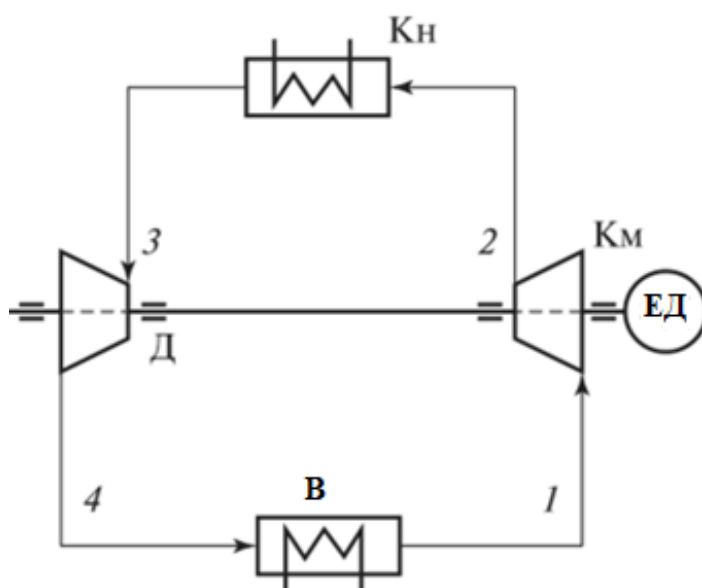


Рисунок 1.1. Схема парокompресійної холодильної установки

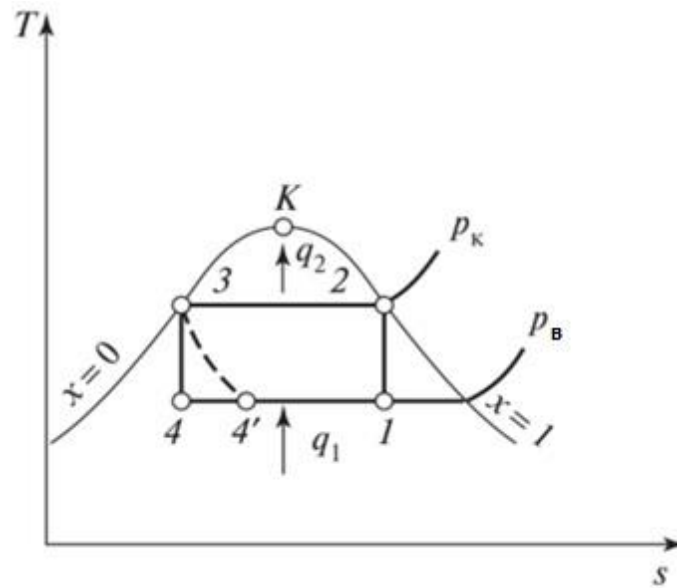


Рис. 1.2. Цикл парокompресійної холодильної установки

Холодильний коефіцієнт такої установки складає

$$\varepsilon = \frac{q_1}{|l_y|} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} \quad (1.1)$$

Так як детандер є складним і дорогим пристроєм, то процес адиабатного розширення часто замінюють дроселюванням в спеціальному дросельному клапані Др. Схема такої установки представлена на рис. 1.3, інші позначення ті ж, що і на рис. 1.1.

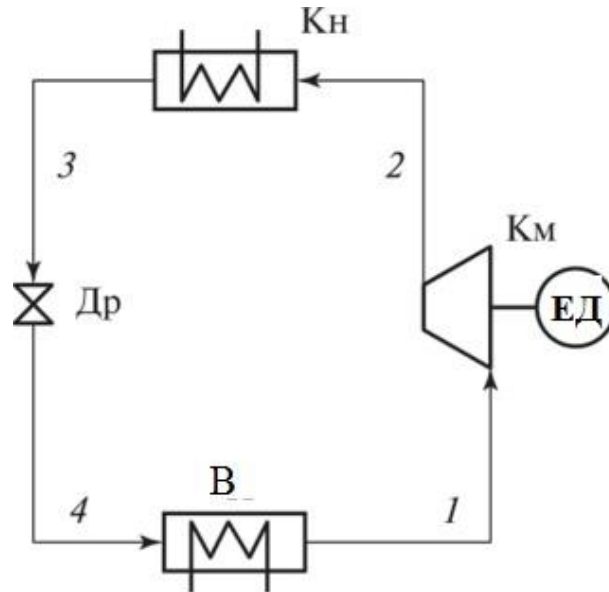


Рисунок. 1.3. Схема парокомпресійної холодильної установки з дросельним клапаном

Процес дроселювання холодоагенту від тиску в конденсаторі p_k до тиску в випарнику ри зображується в T, S -координатах лінією 3-4 '(див. рис. 1.2). Холодильний коефіцієнт такої установки [4]

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} \quad (1.2)$$

Зменшення холодильного коефіцієнта при заміні детандера дросельним клапаном і відповідне збільшення витрати електроенергії при заданій холодопродуктивності q_x компенсуються істотним здешевленням самої установки, і собівартість виробленого холоду виявляється в цьому випадку менше, ніж для установки з детандером.

Недоліком описаних вище холодильних установок є великі втрати при стисканні в компресорі вологої пари. Компресор може ефективно працювати, якщо весь процес стиснення відбувається в області перегрітої пари. Тому в промислових і побутових парокомпресійних холодильних установках використовується зворотний цикл Ренкіна.

Абсорбційні холодильні машини.

Абсорбційний тип холодильних машин- дуже перспективна область розвитку холодильної техніки, яка отримує все більш широке застосування через яскраво виражену сучасну тенденцію до електрозбереження. Це полягає в тому, що абсорбційні холодильні машини в якості основного джерела енергії використовують не електричний струм, а непридатне тепло, яке як правило виникає на фабриках, підприємствах і т.п. і безальтернативно викидається в атмосферу у вигляді гарячого та охолодженого повітрям або гарячої води.

Робоча речовина у таких машинах є розчин в складі двох, іноді трьох компонентів. Найбільш використовуваними є бінарні розчини з поглиначем (абсорбентом) і холодоагентом, які відповідають двом основним вимогам до них: високою розчинністю холодоагенту в абсорбенті та значно більш високою температурою кипіння абсорбенту в порівнянні з холодоагентом. Сьогодні широко використовуються водно-аміачні (водоаміачні холодильні машини) і бромисто літієво-водні (бромістолітієві машини) розчини, в яких, відповідно, вода і бромистий літій є абсорбентами, а аміак і вода - холодоагентами. В абсорбційних машинах (див. рис.1.4) робочий цикл відбувається наступним чином: до генератора в якому кипить робоча речовина, підводиться дармове тепло, під дією якого виділяється практично чистий холодоагент, тому що його температура кипіння набагато нижче, ніж у абсорбенту.

У подальшому в конденсатор надходить пар холодагента, де охолоджується і конденсується, та віддає своє тепло навколишньому середовищу. Отримана рідина дроселюється, в результаті чого при розширенні охолоджується і поступає у випарник, де, випаровуючись, віддає свій холод споживачеві. Абсорбент через дросель подається також в випарувач, з якого на самому початку випарів холодоагент, де поглинає пари, які володіють доброю розчинністю. Далі, насичений холодоагентом абсорбент насосом перекачується в генератор, де знову википає.

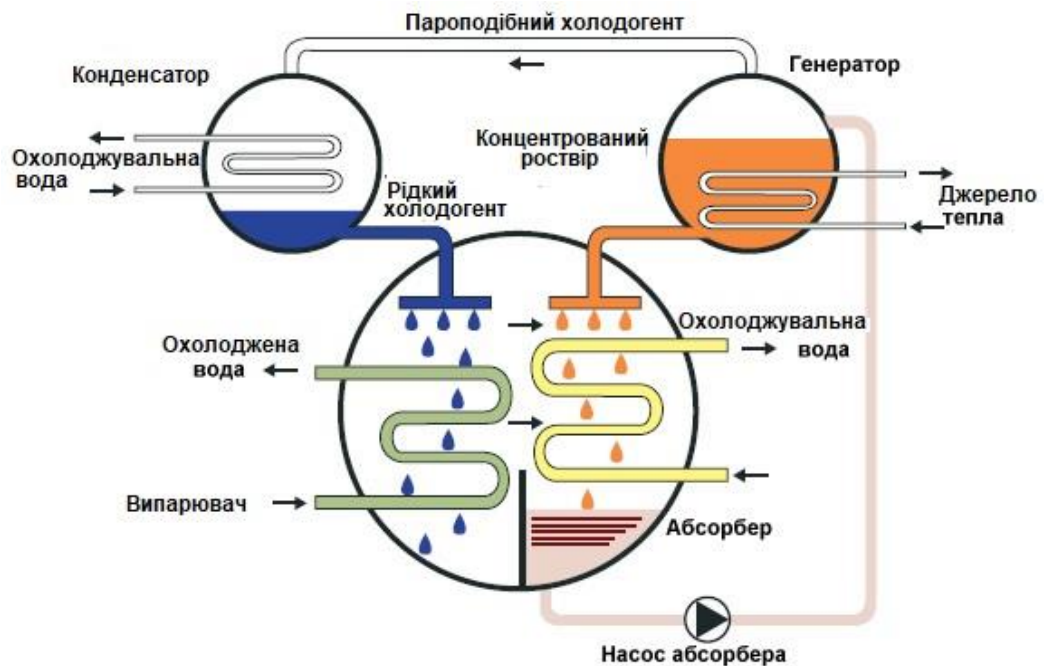


Рисунок 1.4. Схема роботи абсорбційних холодильних машин

Сьогодні для охолодження води для потреб сільськогосподарського та промислового виробництва широко використовуються холодильні машини, які одержали назву чілери.

В основі принципу роботи чілерів лежить другий закон термодинаміки. Охолоджуючий газ в чілерах робить так званий зворотний цикл Ренкіна - різновид зворотного циклу Карно. При цьому передача теплоти заснована не на стисканні або розширенні циклу Карно, а на фазових переходах - випаровуванні і конденсації.

Абсорбційний чілер (chiller) - це холодильна установка (холодильник) для охолодження води або іншої рідини. Холодильна машина призначена для відбору теплоти у охолоджувальній середовищі при низьких температурах, при цьому віддача теплоти при високих температурах є побічним процесом. У складі холодильної машини кілька функціональних елементів: компресор (від 1 до 4), конденсатор, електродвигун, випарник, пристрій для розширення холодоагенту або терморегулюючий вентиль, блок управління.

Подібно до улаштування холодильного та кліматичного обладнання машин компресійної дії невеликої потужності, чілер включає в свій склад (рис. 1.7):

- компресор, що створює необхідну різницю тисків;
- випарник, що забирає тепло від рідини;
- конденсатор, який чи тепло в навколишнє середовище;
- дроселюючий пристрій, що підтримує різницю тисків за рахунок дроселювання холодоагенту;
- фреон - речовина, що переносить тепло від випарника до конденсатору.

Компресор 4 засмоктує у вигляді пари з випарника холодоагент, після чого стискає його (при цьому температура холодоагенту підвищується) і виштовхує в конденсатор. Для змащення компресора використовують спеціальні рефрижераторні масла. Слід відзначити, що масло і холодоагенти R-22, R-12 добре розчиняються одна в одній. Пізніші холодоагенти (R-407 °C, R-410A і т. Д.) не розчиняють масла і для змащення компресора використовують поліефірні масла. Поліефірні масла вкрай гігроскопічні, вступають в хімічну реакцію з водою і розкладаються.

Нагрітий у результаті стиску холодоагент остигає в конденсаторі 1, при цьому віддає тепло в зовнішнє середовище, і далі конденсується, тобто перетворюється в рідину, яка надходить в дросель.

Рідкий холодоагент надходить під тиском через дросель (капіляр або терморегулюючий розширювальний вентиль) 2 у випарник 3, де в результаті різкого зменшення тиску випаровується рідина. При цьому холодоагент віднімає тепло у внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого відбувається охолодження.

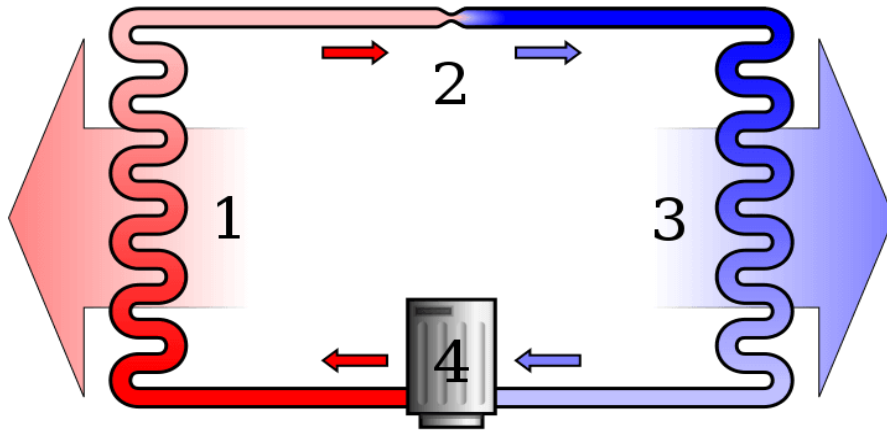


Рисунок 1.5. Склад обладнання чілера:

1 – конденсатор; 2 – терморегулюючий вентиль; 3 – випарник; 4 – компресор

Таким чином, холодоагент, переходячи в рідкий стан під впливом високого тиску конденсується та виділяє тепло, а в випарнику, навпаки, закипає під впливом низького тиску і переходить в газоподібний, поглинаючи тепло.

Для створення необхідної різниці тиску між конденсатором і випарником використовується терморегулюючий розширювальний вентиль (ТРВ), завдяки якому відбувається цикл теплопередачі. РТВ забезпечує правильне (найбільш повне) заповнення внутрішнього обсягу випарника скипілим холодоагентом. Пропускний перетин ТРВ змінюється в міру зниження теплового навантаження на випарник, при зниженні температури в камері кількість циркулюючого холодоагента зменшується.

1.2 Сучасні холодильні установки з автоматичним управлінням охолодження води.

За допомогою абсорбційних холодильних машин (АХМ) можна одержувати доволно низькі температури, які використовуються в різних галузях народного господарства: в харчовій промисловості та сільському господарстві при заготівлі і переробці швидкопсувного сировини, виробництві

та зберіганні харчових продуктів; в хімічної та нафтопереробної промисловості при виробництві штучного волокна, пластмас, спирту, каучуку і т. п. ; в медичній, фармацевтичній та біологічній промисловості при виробництві і зберіганні ліків і біологічних продуктів; в виробничих, адміністративних і побутових приміщеннях для кондиціонування повітря; в залізничному, автомобільному та водному видах транспорту для збереження при перевезенні вантажів; в гірській промисловості для заморожування водоносних ґрунтів при будівництві шахт, тунелів, підземних споруд; в машинобудуванні та радіотехніці: в спортивних спорудах і в багатьох інших випадках [2,5].

Основні переваги АХМ розглянемо на прикладі машин «Lessar» [5]:

- широкий модельний ряд продуктивністю від 100 до 5300 кВт;
- регулювання холодопродуктивності від 10 до 100%;
- підтримка оптимальної продуктивності при частому навантаженні;
- низьке споживання електричної енергії (АХМ, що працює на гарячій воді, холодопродуктивністю 1500 кВт споживає всього 3,8 кВт/год електроенергії, тоді як традиційні системи холодопостачання на базі парокомпресійних машин на ту ж холодильну потужність споживає від 350 до 500 кВт /год);
- можливість в АХМ отримання холоду в літній період і тепла в зимовий період;
- АХМ має низькі рівні шуму і вібрації за рахунок відсутності рухомих частин, тому що в АХМ немає компресора. Число відмов роботи АХМ зводиться до нуля;
- відсутність високого тиску в холодильному контурі;
- екологічно безпечні. Холодоагентом є звичайна вода;
- висока надійність і простота обслуговування;
- тривалий термін служби.

У АХМ робочою речовиною (холодоагентом) є вода, абсорбентом нелеткий і нетоксичний водний розчин (наприклад, солі бромистого літію).

Залежно від теплоносія і його параметрів, який нагріває водний розчин в генераторі, АХМ поділяються на основні типи:

- одноступенева абсорбційна холодильна машина на гарячій воді;
- двоступенева абсорбційна холодильна машина на гарячій воді;
- одноступенева абсорбційна холодильна машина на пару;
- двоступенева абсорбційна холодильна машина на пару;
- двоступенева абсорбційна холодильна машина прямого горіння (на природному газі).

Одноступенева абсорбційна холодильна машина на гарячій воді складається з двох камер:

Верхня - генератор. Це гаряча камера з відносно високим тиском.

Нижня - випарник і абсорбер. Це холодильна камера з дуже низьким тиском.

На рисунку 1.6 представлена структурна схема такої машини. Основний принцип роботи у одноступеневої АХМ різних фірм виробників полягає в наступному: під дією теплоти, отриманої від гарячої води, в генераторі з слабкого розчину виділяються пари води (холодоагенту), які направляються в конденсатор. Водяна пара конденсується, віддаючи теплоту воді охолоджуючого контуру. Охолоджена вода надходить у випарник, де при низькому тиску закипає при температурі і забирає теплоту від охолоджувальної води. Насос холодоагенту прокачує воду на форсунки, що сприяє більш інтенсивному теплообміну.

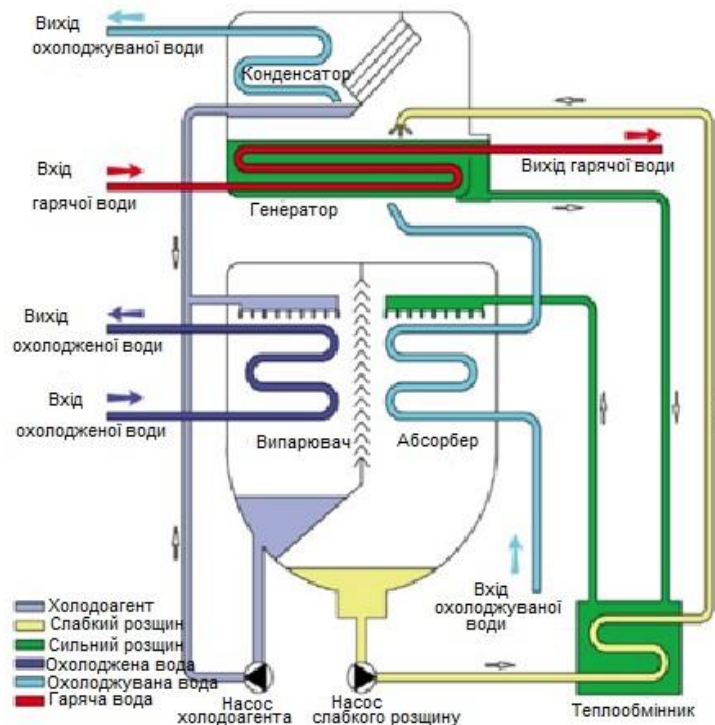


Рисунок 1.6. Структурна схема одноступеневої абсорбційної холодильної машини

Міцний і концентрований розчин, що залишився, через рекуперативний теплообмінник / гідравлічний затвор спрямовується в абсорбер. Для поліпшення абсорбції розчин розбризкується форсунками і поглинає водяну пару з випарника. Процес абсорбції пов'язаний з виділенням теплоти, яка відводиться охолоджуючим контуром в абсорбер. Отриманий розчин води і броміду літію перекачується в генератор через теплообмінник, і цикл повторюється знову.

Двоступенева абсорбційна холодильна машини на гарячій воді складається з трьох камер:

Верхня - генератор. Це гаряча камера з відносно високим тиском.

Нижня - випарник і абсорбер. Це холодна камера з дуже низьким тиском.

Додаткова камера- додатковий генератор і абсорбер. Це камера для збільшення використання теплоти від гарячої води.

Двоступеневий абсорбційний чілер на гарячій воді має основний і додатковий цикли. Охолоджувана вода охолоджується в випарнику, а пари

Найбільшої уваги заслуговують абсорбційні холодильні машини, які мають певні переваги перед парокомпресійними холодильними установками основними із яких є зручність експлуатації - цілий рік автоматично підтримуються задані параметри в кожному приміщенні відповідно до санітарно-гігієнічними нормами та скорочення витрат на експлуатацію.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВКЛЮЧЕННЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ І СОНЯЧНИХ КОЛЛЕКТОРІВ У СКЛАД АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

У цьому розділі пропонується і аналізується схемне рішення на основі включення до складу АХМ теплонасосної установки (ТНУ) і сонячних колекторів (СолКол). ТНУ використовується не тільки для забезпечення роботи генератора, але і для зняття частини навантаження щодо відведення теплоти в навколишнє середовище. На основі результатів розрахунку такої комплексної схеми доводиться в першу чергу можливість істотного підвищення ефективності АХМ в системах централізованого кондиціонування [4,6].

Пропозиція щодо включення ТНУ до складу АХМ зроблено вперше. Внаслідок аналізу енергетичної ефективності такої комбінованої системи виявлено ряд технологічних і екологічних переваг по порівняно з показниками поширених систем компресійного кондиціонування. Розраховані різні режими роботи проектованої установки в залежності від забезпечення необхідної холодоспроможності комплексу кондиціонування і зроблено висновок про тому, що застосування ТНУ як базової основи теплопостачання генератора АХМ забезпечує істотне підвищення холодильного коефіцієнта всього комплексу, а також забезпечує зниження навантаження на градирню, а значить і зменшення витрат на основне обладнання. Показано, що максимальна енергетична ефективність комплексу досягається саме при максимальному навантаженні кондиціонування.

2.1 Аналіз схемного рішення з використанням одноступеневої АХМ на гарячій воді

На рисунку 2.1 представлена схема одноступінчастої АХМ на гарячій воді з підключенням в якості джерела теплової енергії для генератора теплонасосної установки і послідовно під'єднаних до нього сонячних колекторів.

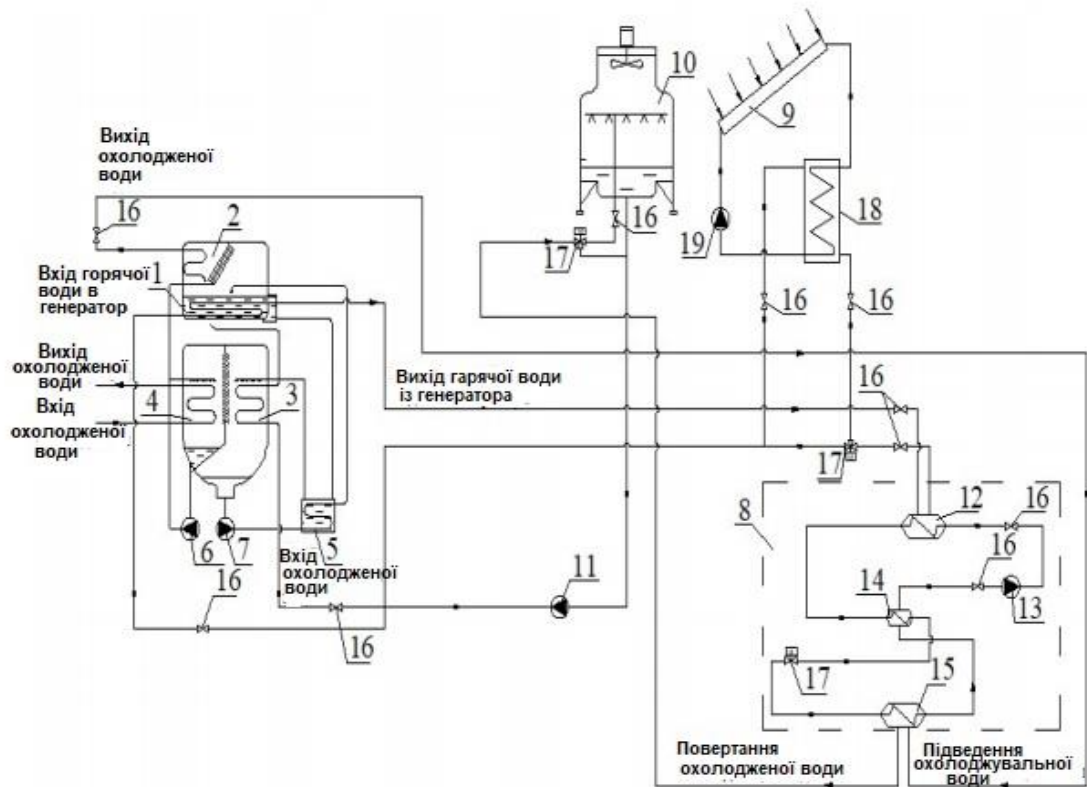


Рисунок 2.1 – Одноступенева АХМ із вбудованою теплонасосною установкою і сонячними колекторами

Передбачається що в результаті такого технічного рішення можливо понизити на 20-40% навантаження щодо відведення теплоти (потужність охолодження) на градирню, підвищити холодильний коефіцієнт АХМ і маневреність навантажень, а також забезпечити гнучкість регулювання при змінній інтенсивності сонячного підігріву за рахунок перерозподілу навантаження ТНУ і сонячних колекторів.

Одноступінчата АХМ з вбудованою теплонасосною установкою містить блок генератора 1 з конденсатором АХМ 2, блок абсорбера 3 з випарником АХМ 4, регенеративний теплообмінник АХМ 5, насос

холодоагенту 6, насос для слабкого розчину 7, теплонасосну установку 8, сонячні колектори 9, градирню 10 і насос охолоджуючої води 11.

Теплонасосна установка 8 включає в себе: конденсатор ТНУ 12, компресор 13, регенеративний теплообмінник ТНУ 14 і випарник ТНУ 15. Сонячні колектори оснащені акумулюючим баком 18 і насосною групою сонячних колекторів 19. На схемі показані також затвори 16, а також регулюючі клапани 17.

Одноступенева АХМ з вбудованою теплонасосною установкою працює слідуючим чином. Гідравлічна система працює в умовах вакууму; холодоагент (вода) кипить при низькій температурі, відводячи теплоту від охолоджувальної води, що циркулює в трубах першого випарника 4, витрата і температура якої забезпечують необхідну потужність кондиціонування. Насос холодоагенту 6 використовується для подачі холодоагенту (води) в випарник АХМ і подальшого розбризкування холодоагенту (води) на його труби для поліпшення теплообміну.

Для підтримки низького тиску в випарнику АХМ і забезпечення безперервності процесу охолодження, пари холодоагенту повинні абсорбуватися (поглинатися) в абсорбері 3. Для абсорбування водяних парів використовується міцний розчин (наприклад, LiBr), який має високу поглинальну здатність і надходить з генератора в абсорбер 3. В процесі абсорбції водяної пари розчин розбавляється, що знижує його поглинальну здатність; розчин стає слабким. Потім насос слабкого розчину 7 перекачує слабкий розчин в генератор 1, де відбувається одностадійне концентрування розчину за рахунок випаровування раніше абсорбованої води. Слабкий розчин (низької концентрації) спочатку подається в генератор 1, де він нагрівається і перетворюється в міцний розчин високої концентрації за рахунок випаровування з нього водяної пари при підводі теплоти від гарячої води (джерело теплової

енергії). Водяна пара з генератора надходить в конденсатор АХМ 2 для охолодження і конденсації.

Потім холодоагент повертається у випарник АХМ для відновлення робочого циклу. Для відводу теплоти, що виділяється при конденсації водяної пари холодоагенту в конденсаторі АХМ 2, використовується охолоджуюча вода від градирні 10, яка спочатку направляється в абсорбер 3 для поглинання теплоти абсорбції, далі з абсорбера подається в конденсатор АХМ 2, потім проходить через випарник ТНУ 15, де в свою чергу охолоджує робоча речовина теплонасосної установки 8 і повертається на градирню 10.

Гарячий теплоносій низького температурного потенціалу з генератора 1 направляється в конденсатор ТНУ 12, де підігрівається за рахунок теплообміну з гарячим робочим тілом теплонасосної установки 8, проходить акумулюючий бак 18, в якому підігрівається за рахунок теплообміну з гарячим робочим тілом, підігрітим сонячними колекторами 9, які періодично включаються для додаткового підігріву теплоносія в піки навантажень, і повертається в генератор 1 в якості теплоносія високого температурного потенціалу.

Теплонасосна установка 8 працює для перенесення теплової енергії від охолоджуючої води (з низькою температурою) до гарячої води, використовується в генераторі абсорбційної холодильної машини, з більш високою температурою.

На рисунку 2.2 наведені теплова схема і робочий цикл теплонасосної установки, включеної в контур одноступеневої АХМ як основне джерело теплоти для генератора [7].

В якості базової для розрахункового аналізу обрана широко представлена на ринку одноступенева абсорбційна бромістолітєва холодильна машина LUC-HWAR-L40HH (виробництво фірми «Lessar», Чехія), характеристики якої представлені в таблиці 2.1.

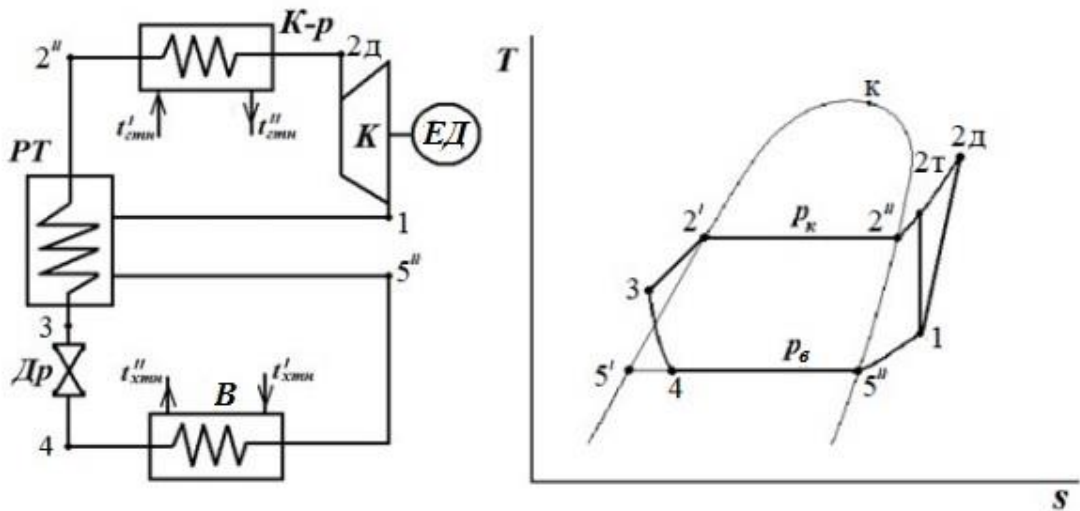


Рисунок 2.2. Принципова схема і робочий цикл теплонасосної установки:

К – компресор; ЕД - електродвигун; К-р-конденсатор; РТ регенеративний теплообмінник; Др- дросель; В- випарник; $t'_{змн}$ і $t''_{змн}$ - температура «гарячого» теплоносія на вході і виході із конденсатора установки; $t'_{хмн}$ і $t''_{хмн}$ - температура «холодного» теплоносія на вході і виході з випарника установки; до p_k - тиск конденсації; і $p_в$ – тиск випаровування.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики одноступеневої абсорбційної бромістолітєвої холодильної машини LUC-HWAR-L40НН

Холодопотужність		150	кВт
Холодильний коефіцієнт		0,83	
Контур охолодженої води (кондиціонування)	Температура на вході	12	$^{\circ}\text{C}$
	Температура на виході	7	$^{\circ}\text{C}$
	Витрата холодоносія	25,8	$\text{м}^3/\text{Г}$
Контур гарячої води (теплозабезпечення генератора)	Температура на вході	105	$^{\circ}\text{C}$
	Температура на виході	75	$^{\circ}\text{C}$
	Витрата гарячої води	5,2	$\text{м}^3/\text{Г}$
Теплова потужність генератора		108,7	кВт
Контур охолоджувальної води (відведення теплоти абсорбера і конденсатора АХМ)	Температура на вході	28	$^{\circ}\text{C}$
	Температура на виході	34	$^{\circ}\text{C}$

	Витрата охолоджуючої води	47,3	м ³ /Г
Холодопотужність градирні		330,3	кВт
Потужність приводу насосу		2,2	кВт

Теплонасосні установки необхідного температурного діапазону на ринку відсутні. Однак, основні елементи такої установки: компресор і теплообмінне обладнання - можуть бути підібрані по результатам проектування такої установки на низькокип'ячій робочій речовині фторорганічного складу. Досвід такого проектування і вибору найбільш ефективного холодоагенту, розробки і випробування дослідно промислових зразків ТНУ на нових робочих тілах відображений в роботі авторів [8]. У даній роботі використовуються обґрунтування щодо вибору холодоагенту, зроблені раніше, і пропонується в якості робочої речовини ТНУ октафторциклобутан (RC318, с-С₄F₈). Приклад розрахунку робочих параметрів циклу ТНУ проведений в [7,9].

Ефективність ТНУ оцінюється, перш за все, коефіцієнтом перетворення, що є відношенням кількості теплоти $q_1 = h_{2o} - h_2'$, переданої об'єкту нагрівання, до роботи $l_y = h_{2o} - h_1$ яка затрачена в циклі:

$$\mu_{ТНУ} = \frac{q_1}{l_y} \quad (2.1)$$

Значення теплової потужності випарника і електричної потужності компресора для ТНУ на RC318 для заданих температури випаровування t_e і конденсації t_k в теплообмінних апаратах, а також потужності яка вироблена конденсатором N_k , визначається відповідно до циклу теплонасосної установки (рис.2.2) по формулі:

$$N_e = G_{RC318} \cdot (h_{5r} - h_4) \quad (2.2)$$

$$N_{ком}^{ТНУ} = N_k - N_e \quad (2.3)$$

де G_{RC318} – витрата фреону в контурі ТНУ і визначається по формулі:

$$G_{RC318} = \frac{N_k}{q_1} \quad (2.4)$$

Потужність генератора АХМ буде складатися із потужності конденсатора НУ і сонячних колекторів:

$$N_{ген}^{АХМ} = N_{к} + N_{СолКол} \quad (2.5)$$

Технічні характеристики теплонасосної установки на с-С₄F₈ приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики теплонасосної установки на с-С₄F₈

Коефіцієнт перетворення		4,0	
Температура насичення	Температура випару	25	°С
	Температура конденсації	86	°С
Витрата фреону		0,83	кг/с
Електрична потужність (компресора)		22,73	кВт
Потужність випарника		67,18	кВт
Потужність конденсатора		90,0	кВт

Слід відмітити, що сонячні колектори використовуються в піки температурних навантажень, коли потрібна максимальна інтенсивність кондиціонування і охолодження приміщень. Для більш ефективної роботи установки і підвищення ККД пропонується використовувати вакуумні сонячні колектори, які мають дуже високими показниками ефективності в заданому інтервалі температур. На відміну від плоских колекторів, де теплоізоляція виконана мінеральною ватою, в вакуумних колекторах в якості ізоляції використовують розрядження-вакуум, що і дозволяє використовувати їх навіть взимку.

Загальний холодильний коефіцієнт перетворення блоку централізованого кондиціонування АХМ-ТНУ-СолКол визначається за формулою:

$$\varepsilon_{АХМ-ТНУ-СолКол} = \frac{Q_1^{АХМ}}{N_{ком}^{ТНУ} + N_{насос}^{АХМ} + N_{насос}^{СолКол}} \quad (2.6)$$

В таблиці 2.3. показані характеристики АХМ в режимі одноступінчатої роботи в періоди найбільшої навантаження кондиціонування (природно і максимальної сонячної інсоляції, внесок сонячних колекторів і ТНУ в теплопостачання генератора в співвідношенні 50% на 50%,):

Таблица 2.3 - Технические характеристики блока централизованного кондиционирования АХМ-ТНУ-СолКол (50% ТНУ и 50% СолКол обеспечения теплотой генератора)

Холодильный коэффициент		6.03	
Холодопроизводительность		150	кВт
Потребляемая электрическая мощность компрессора ТНУ		22.73	кВт
Потребляемая мощность на привод насосов АХМ		2.2	кВт
Контур охлажденной воды (кондиционирование)	Температура на входе	12	°С
	Температура на выходе	7	°С
	Расход хладоносителя	25.8	м3/ч
Контур горячей воды (теплоснабжение генератора)	Температура на входе в АХМ	105	°С
	Температура на выходе из АХМ	75	°С
	Температура на входе в ТНУ	75	°С
	Температура на выходе из ТНУ	90	°С
	Температура на входе в СК	90	°С
	Температура на выходе из СК	105	°С
	Расход горячей воды	5.2	м3/ч
Тепловая мощность генератора		180.7	кВт
Контур охлаждающей воды (отвод теплоты абсорбера и конденсатора АХМ)	Температура на входе	28	°С
	Температура на выходе из испарителя ТНУ	32.77	°С
	Температура на выходе из конденсатора АХМ	34	°С
	Расход охлаждающей воды	47.3	м3/ч
Холодопроизводительность градирни		262.6	кВт

2.2 Аналіз схемного рішення з використанням двоступеневої АХМ на гарячій воді

Двоступеневі АХМ в порівнянні з одноступінчастими призначені для роботи на більш низьких температурних параметрах яка надходить в генератор води. Наприклад, вони можуть використовуватися для утилізації охолоджуючої води газопоршневих електрогенеруючих установок в діапазоні від 95/55 °С до 70/60 °С.

Низька температура підігріву генератора двоступеневої АХМ призводить до зниження її холодильного коефіцієнта в порівнянні одноступеневої АХМ. Отже, при включенні ТНУ до складу такої АХМ буде гарантовано високий коефіцієнт перетворення теплоти.

Нижчі параметри роботи сонячних колекторів в складі двоступеневої АХМ розширюють також можливість вибору типу конструкції ефективних сонячних теплообмінних апаратів.

На малюнку 2.3 представлена схема двоступеневої АХМ на гарячій воді з підключенням в якості джерела теплової енергії для генератора теплонасосної установки і послідовно з'єднаних до неї сонячних колекторів.

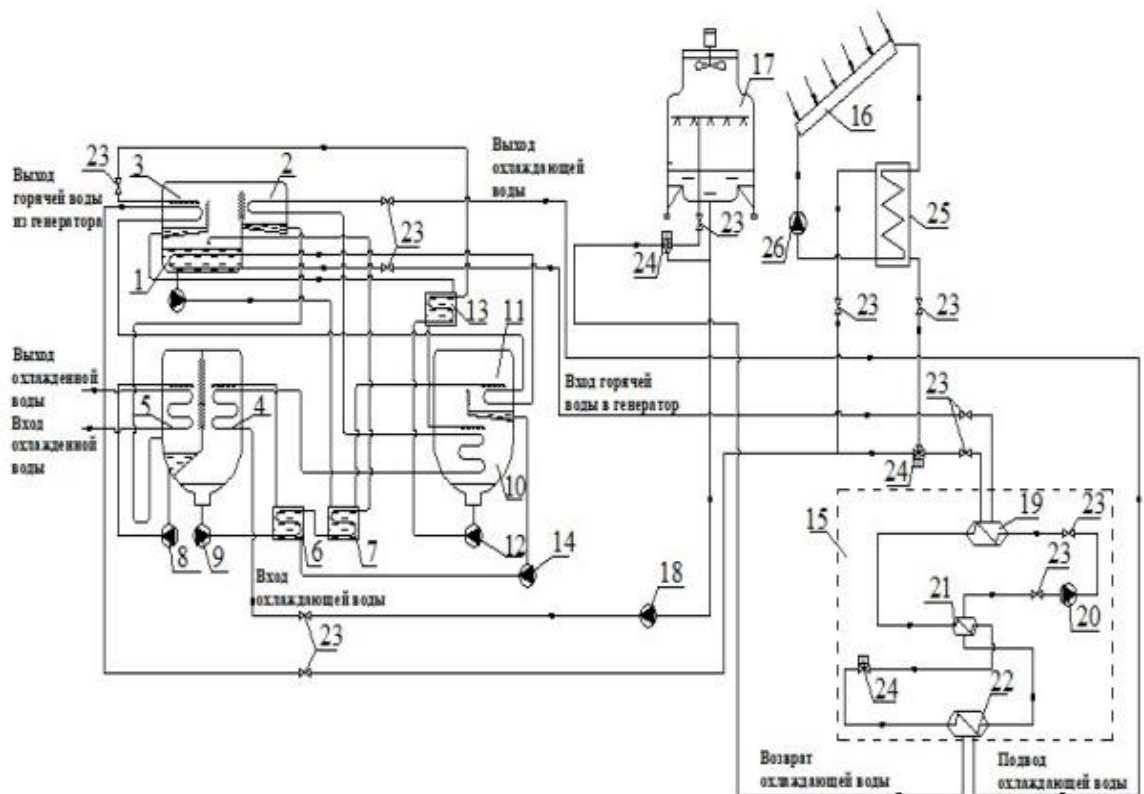


Рисунок 2.3. Двоступенева АХМ із вбудованою теплонасосною

установкою і сонячними колекторами

Передбачається в результаті такого технічного рішення в порівнянні з попередньою схемою знизити на 27- 53% навантаження щодо відведення теплоти (потужність охолодження) на градирню, ще більше підвищити холодильний коефіцієнт АХМ і маневреність навантажень.

Двоступенева АХМ з вбудованою теплонасосною установкою містить: блок генератора першого ступеня 1 з конденсатором АХМ 2 і додатковим генератором 3, блок абсорбера 4 з випарником АХМ 5, низькотемпературний регенеративний теплообмінник 6, високотемпературний регенеративний теплообмінник 7, насос холодоагенту 8, насос слабкого розчину 9, додатковий абсорбер 10 з генератором другого ступеню 11, насос додаткового розчину 12, додатковий теплообмінник 13, насос міцного розчину 14, теплонасосну установку 15, сонячні колектори 16, градирню 17 і насос охолоджуючої води 18.

Теплонасосна установка 15 включає в себе конденсатор ТНУ 19, компресор 20, регенеративний теплообмінник 21 і випарник ТНУ 22.

Сонячні колектори оснащені акумулюючим баком 25 і насосною групою сонячних колекторів 26. На схемі показані також затвори 23, а також регулюючі клапана 24.

Двоступенева АХМ з вбудованою теплонасосною установкою працює в такий спосіб. Двоступеневий абсорбційний чілер на гарячій воді має основний і додатковий цикли. охолоджувана вода охолоджується в випарнику АХМ 5, а пари холодоагенту (води), що утворилися поглинаються концентрованим розчином абсорбенту (наприклад, LiBr) в абсорбері 4, який надходить з генератора другого ступеня 11.

Концентрований розчин, що надходить з генератора другого ступеня 11, перетворюється в слабкий (розведений) розчин, а теплота абсорбції відводиться охолоджуючою водою, яка надходить з градирні 17.

Слабкий розчин з абсорбера 4 подається насосом слабкого розчину 9 в генератор першого ступеня 1 через низькотемпературний теплообмінник 6 і

високотемпературний теплообмінник 7, гаряча вода нагріває розбавлений розчин, відбувається утворення парів холодоагенту і слабкий розчин стає проміжним розчином.

Розчин абсорбенту в генераторі першого ступеня 1 направляється в генератор другого ступеня 11 через високотемпературний теплообмінник 7. Проміжний розчин в генераторі другого ступеня нагрівається гарячою водою, і відбувається утворення пари холодоагенту. Пари холодоагенту з генератора другого ступеня поглинаються абсорбуючим розчином в додатковому абсорбері 10 і перетворюються в додатковий проміжний розчин. Додатковий проміжний розчин подається насосом додаткового розчину 12 в додатковий генератор 3 через додатковий теплообмінник 13, де відбувається нагрівання розчину гарячою водою з генератора другого ступеня і перетворення розчину в додатковий міцний розчин. Пари холодоагенту з генератора першого ступеня і додаткового генератора конденсуються в конденсаторі АХМ 2, а потім потрапляють в випарник АХМ 5, теплота в конденсаторі АХМ відводиться охолоджуючою водою.

Гарячий теплоносій низького температурного потенціалу з генератора 1 направляється в конденсатор ТНУ 12, де підігрівається за рахунок теплообміну з гарячим робочим тілом теплонасосної установки 8, проходить в акумулюючий бак 25, в якому підігрівається за рахунок теплообміну з гарячим робочим тілом, підігрітим сонячними колекторами 16, які періодично включаються для додаткового підігріву теплоносія в піки навантажень, і повертається в генератор 1 в якості теплоносія високого температурного потенціалу.

Теплонасосна установка 15 працює для перенесення теплової енергії від охолоджуючої води (з низькою температурою) до гарячої води, використовується в генераторі абсорбційної холодильної машини, з більш високою температурою.

В якості базової для розрахункового аналізу обрана широко представлена на ринку двоконтурна абсорбційна бромістолітєва холодильна машина LUC-2AB75 (виробництво фірми «Lessar», Чехія).

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики двоступеневої абсорбційної бромістолітєвої холодильної машини LUC- 2AB75

Холодопотужність		264	кВт
Холодильний коефіцієнт		0,6	
Контур охолодженої води (кондиціювання)	Температура на вході	12	°С
	Температура на виході	7	°С
	Витрата холодоносія	45,4	м ³ /Г
Контур гарячої води (теплозабезпечення генератора)	Температура на вході	95	°С
	Температура на виході	55	°С
	Витрата гарячої води	9,4	м ³ /Г
Теплова потужність генератора		437,6	кВт
Контур охолоджувальної води (відведення теплоти абсорбера і конденсатора АХМ)	Температура на вході	31	°С
	Температура на виході	36,5	°С
	Витрата охолоджуючої води	108,6	м ³ /Г
Холодопотужність градирні		695,4	кВт
Потужність приводу насосу		6,2	кВт

Висновки по другому розділу

На підставі аналізу та розрахунку запропонованої схеми одноступеневої АХМ - ТНУ - СолКол можна зробити наступні висновки: розроблена схема забезпечує підвищення холодильного коефіцієнта всього комплексу кондиціонування в режимі повного забезпечення теплопостачання генератора за допомогою ТНУ.

ВИСНОВКИ

Абсорбційні холодильні машини є високоефективним, екологічно чистим енергозберігаючим обладнанням і широко застосовуються в світі.

Однак існує ряд проблем, які стримують широке використання АХМ до яких в першу чергу належить необхідність забезпечення генератора потужністю в декілька сотень кіловат. Для рішення даної проблеми пропонується використовувати АХМ з ТНУ і сонячними колекторами.

У порівнянні з найбільш поширеними системами компресійного кондиціонування АХМ в складі з ТНУ і сонячними колекторами має наступні незаперечні переваги: більш високий холодильний коефіцієнт, більш високу надійність. В періоди максимального навантаження кондиціонування внесок сонячних колекторів збільшується і дозволяє ще більше підвищити загальну енергетичну ефективність комплексу. Застосування ТНУ як базової основи тепlopостачання генератора АХМ забезпечує істотне підвищення холодильного коефіцієнта всього комплексу і зниження холодопродуктивності градирні, а значить зменшення витрат на основне обладнання.

На сьогоднішній день відомо велика кількість типів АХМ, в даній роботі представлений розрахунок схеми АХМ- ТНУ- СолКол з одноступеневої і двоступеневої машинами. Застосування двоступеневої АХМ в порівнянні з одноступеневою дає можливість досягнення більш високого холодильного коефіцієнта, а також зниження навантаження на градирню. Температурний діапазон горючого теплоносія в генераторі 95-105 ° С забезпечує більш високу ефективність основних процесів АХМ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цветков О. Б. Холодильные агенты: монография. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004.
2. Кошкин Н. Н., Сакун И. А., Бамбушек Е. Н. Холодильные машины и установки // Издательство «Машиностроение», 1985.
3. Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. Г., Попов А. В. Абсорбционные преобразователи теплоты // СПб, 2005. - 337с.
4. Мереуца Е. В., Сухих А. А. Основные системы теплоснабжения генератора абсорбционных холодильных машин, их преимущества и недостатки // Вестник современных исследований. 2017. №5-1(8). С.148-155.
5. Попов А. В. Абсорбционные бромистолитиевые машины для охлаждения и нагрева // Энергосбережение №7 2007. С. 52-55.
6. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Термодинамическая эффективность теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2013. № 1. С. 21-26.
7. Антаненкова И. С., Сухих А. А. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2012.
8. Антаненкова И. С., Сухих А. А., Сычев В. В. Экспериментальное исследование энергетической эффективности теплонасосных установок на новых рабочих веществах // Холодильная техника. 2014. №10. С.44-48. №11. С.34-39.
9. Lisheng Pan, Huaixin Wang, Qingying Chen Theoretical and experimental study on several refrigerants of moderately high temperature heat pump // Applied Thermal Engineering 31 (11), 2011, pp.1886-1893.
10. Казанджан, Б.И.. Современные системы солнечного теплоснабжения [Текст] // Энергия. – 2005. – №12. – С. 10–17.

11 http://docplayer.ru/41112881-Osobennosti-primeneniya-gelioustanovok-s-teplovymi-nasosami.html#tab_1_1_1