МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій ВАНЄЄВ

«23» червня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», освітньо-професійної програми «Опалення, вентиляція, кондиціювання повітря та штучний холод»

на тему: Проєктування горизонтального кожухотрубчастого випарника холодильної машини холодопродуктивністю 35кВт

Здобувача групи ХК-01/1оп Поліщука Ігоря Вікторовича

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

Ігор Поліщук

Керівник Бага Вадим Миколайович

Консультант

Суми – 2024

Зміст

1. Вступ……3
2. Вихідні дані для розрахунку……...4
3. Класифікація випарників, переваги/недоліки……5
   3.1 Основні випарники……5
   3.2 Пластинчасті випарники……5
   3.3 Теплові випарники……..9
   3.4 Спіральні випарники……..15
   3.5 Регенеративні теплообмінники……17
4. Схема аміачної холодильної машини…….....20
   4.1 Визначення розрахункових тепературі……..21
5. Основні компоненти холодильної системи……24
   5.1 Аміачний контур……24
   5.2 Ениленглікольно-водневий контур……...24
   5.3 Принцип роботи системи……...25
   5.4 Зрощувальний кожухотрубчастий випарник……...28
6. Розрахунок кожухотрубчастого випарника……30
   6.1 Тепловий розрахунок……..30
   6.2 Конструктивний розрахунок……..33
   6.3 Гідравлічний розрахунок……35
7. Охорона праці……..35
8. Список джерел……45

1. Вступ

Західні науковці активно досліджують технології випарників, зокрема їх енергоефективність і застосування для сонячної дистиляції води.

Наприклад, дослідження Jin та його колег присвячено використанню сонячних випарників з наночастинками для утворення пари. Вони з'ясували, що локалізація тепла суттєво підвищує ефективність випаровування, про що повідомляється в журналах "Nano Energy" та "Nature Communications". Інша команда під керівництвом L. Zhang розробляє гідрофобні мембрани, які ефективно перетворюють світло в тепло і здатні самовідновлюватися. Ці мембрани мають великий потенціал для використання у системах сонячної дистиляції води. Результати їхніх досліджень опубліковані в журналі "Advanced Materials", де детально описані фізичні принципи і методи виготовлення таких випарників.

Інше важливе дослідження, опубліковане в журналі "Environmental Science: Water Research & Technology", розглядає стійкість до осадження солей у фототеплових матеріалах. Науковці вивчали випарники з гідрофобними та супергідрофільними властивостями, які зменшують накопичення солей і забезпечують тривалу ефективність випаровування. Ці технології особливо перспективні для регіонів з високою засоленістю води. Крім того, в університетах, таких як Оксфорд, широко застосовують випарники для підтримки досліджень у сфері медичної хімії. Вони використовуються для видалення розчинників із синтетичних сполук і зразків для ЯМР аналізу. Такі системи, як Smart Evaporator C1, підвищують ефективність лабораторних процесів.

2. Вхідні данні

Теплове навантаження на випарник	$Q_0 = 35$кВт
Робочий агент	Аміак
Система охолодження	«Етиленглікольно-водна»
Холодильна установка	одноступенева
Температура Аміаку на виході з випарника:	$t_{s2} = 5^{\circ}C$

3. Класифікація випарників переваги/недоліки

Випарники застосовуються в різних промислових галузях. У харчовій промисловості їх використовують для згущення соків, молока та інших продуктів. У хімічній промисловості випарники розділяють рідинні суміші та отримують концентровані розчини. У нафтопереробці випарники виділяють і очищають різні фракції нафти. У фармацевтичній галузі без випарників неможливо виготовляти ліки та інші медичні препарати.

Випарники також використовують для очищення води, видаляючи надлишкову вологу і забруднення. У виробництві алкоголю випарники важливі для процесів бродіння та дистиляції. В обробці пластмас вони видаляють розчинники та інші леткі речовини.

Кожен тип випарника розроблений для конкретних умов експлуатації. Тому важливо правильно обрати випарник для конкретної системи, щоб забезпечити її ефективну і безпечну роботу. Від цього вибору залежить не лише продуктивність, але й економічна доцільність і екологічна безпека виробничих процесів

3.1 Основні типи випарників:

1. Голий трубчастий випарник (**Bare Tube Evaporator**):

Рисунок 1 – Голий трубчастий випарний з сталевих трубок

Голий трубчастий випарник складається з сталевих або мідних трубок, які розміщені в зигзагоподібному або овальному положенні. Цей тип випарника отримав свою назву через відсутність додаткових елементів для збільшення площі поверхні теплообміну, таких як ребра або пластини.

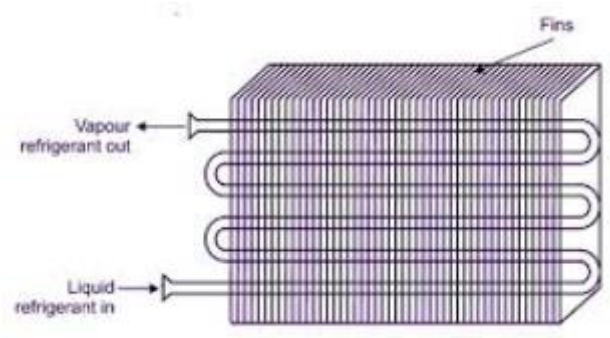

Рисунок 2 – голий трубчастий випарний з сталевих трубок (креслення), де refrigerant out – вихід хлодагенту, refrigerant in – вхід, Fins – решітки

Основний принцип роботи голого трубчастого випарника полягає в тому, що рідкий холодоагент проходить через випарник, де він випаровується і поглинає тепло з навколишнього середовища. Це теплообмінне обладнання використовується в різних холодильних та кондиціонерних системах завдяки своїй простій конструкції і легкості обслуговування.

Переваги:

1. **Проста конструкція:**

Голі трубчасті випарники мають дуже просту конструкцію, яка складається з мідних або сталевих трубок. Це робить їх виготовлення та обслуговування досить простим та економічним

2. **Легкість очищення та розморожування:**

Завдяки відсутності додаткових елементів, таких як оребрення, голі трубчасті випарники легко очищуються від накипу та льоду, що підвищує їхню довговічність та ефективність роботи.

3. Універсальність в застосуванні:

Голі трубчасті випарники використовуються в різних сферах, включаючи побутові холодильники, промислові охолоджувальні системи та системи кондиціонування повітря. Вони підходять для застосувань, де температура підтримується нижче 0 °C.

4. Висока ефективність теплообміну:

Хоча голі трубчасті випарники мають меншу площу поверхнітеплообміну в порівнянні з оребреними випарниками, вони все ж забезпечують ефективний теплообмін завдяки простоті конструкції і можливості створення доброго контакту з охолоджуваним середовищем.

5. Міцність та довговічність:

Використання матеріалів, таких як мідь або сталь, забезпечує високу міцність та довговічність випарників. Це робить їх стійкими до корозії та механічних пошкоджень.

6. Економічна вигідність:

Завдяки простій конструкції та легкості виготовлення, голі трубчасті випарники є економічно вигідними у порівнянні з іншими типами випарників. Це робить їх привабливим вибором для багатьох промислових та побутових застосувань.

Недоліки:

1. Менша площа поверхні теплообміну:

У порівнянні з оребреними або пластинчастими випарниками, голі трубчасті випарники мають меншу площу поверхні теплообміну. Це знижує їх ефективність в умовах, де потрібна велика швидкість охолодження або висока ефективність теплопередачі.

2. Низька ефективність у великих системах:

Голі трубчасті випарники можуть бути менш ефективними у великих промислових системах, де потрібна висока продуктивність. Для досягнення

потрібної ефективності може знадобитися використання більшої кількості трубок або додаткових випарників, що збільшує вартість і складність системи

3. **Схильність до обмерзання**:

Голі трубчасті випарники можуть швидко покриватися льодом, особливо при роботі в умовах нижче нуля. Це може знижувати ефективність теплообміну і вимагати частого розморожування

4. **Нерівномірний розподіл температури**:

Через просту конструкцію, температура охолоджуваного середовища може розподілятися нерівномірно по всій поверхні випарника, що може впливати на загальну ефективність системи охолодження

5. **Вразливість до забруднення та корозії**:

Трубки можуть бути вразливими до накопичення забруднень та накипу, що знижує їх ефективність. Також можливий ризик корозії, особливо якщо випарник виготовлений зі сталі і використовується в агресивних середовищах

6. **Обмеження в застосуванні з чутливими до температури матеріалами**:

Через менш ефективне теплообмінювання голі трубчасті випарники можуть бути не підходящими для використання з матеріалами, чутливими до змін температури, або для охолодження продуктів, які вимагають стабільної та рівномірної температури

Висновок:

Голий трубчастий випарник, хоча і має кілька важливих переваг, таких як проста конструкція та легкість очищення, все ж має низку обмежень, які можуть знижувати його ефективність у певних умовах. Вибір цього типу випарника слід ретельно розглядати з урахуванням специфічних вимог системи охолодження.

3.2 Пластинчасті випарники (Plate Evaporators)

Рисунок 3 – Пластинчастий випарник

Пластинчасті випарники є одним з найпоширеніших типів випарників, що використовуються в сучасних системах охолодження. Вони мають декілька ключових переваг, таких як компактність, висока ефективність теплообміну та гнучкість у застосуванні.

Принцип роботи

1. **Вхід рідини:**

Холодоагент і теплоносій подаються до випарника через окремі входи. Холодоагент зазвичай надходить у випарник у рідкому стані.

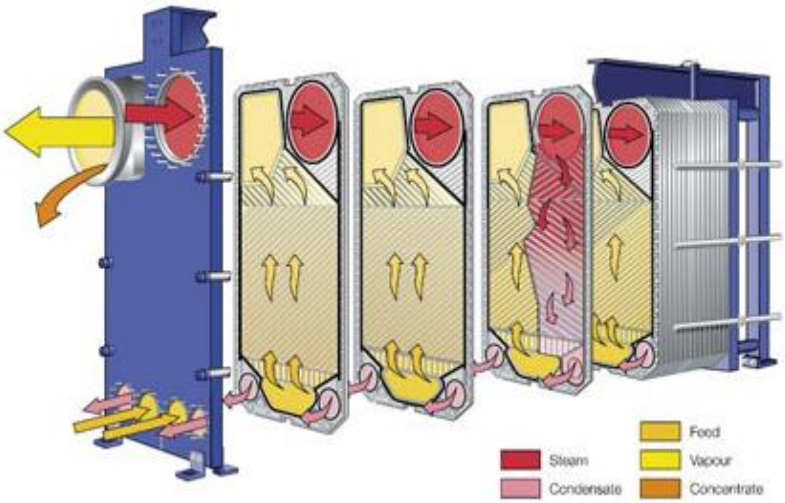

Рисунок 4 – Детальний вигляд руху рідини по пластичному випарнику

2. Розподіл потоків:

Рідини розподіляються через спеціальні прокладки між пластинами так, щоб створювати канали для потоку рідин. Потоки холодоагенту та теплоносія зазвичай спрямовані у протилежних напрямках для забезпечення ефективнішого теплообміну (протитечія).

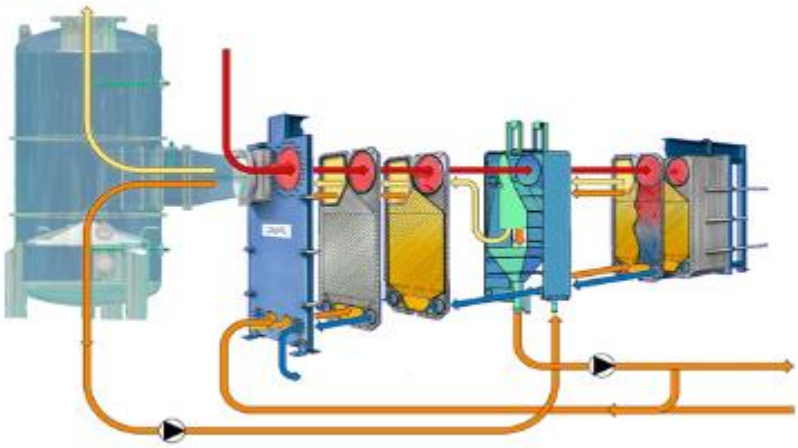

Рисунок 5 – більш детальне зображення руху рідини

3. Випаровування хлодоагенту:

Холодоагент, проходячи через канали між пластинами, випаровується завдяки теплу, яке передається від теплоносія через поверхню пластин. Цей процес супроводжується поглинанням тепла від теплоносія, що призводить до його охолодження.

4. Турбулентний потік:

Рельєфна поверхня пластин створює турбулентний потік рідини, що покращує теплообмін за рахунок збільшення площі контакту та змішування рідини. Турбулентність допомагає уникнути утворення термічних шарів, що можуть знизити ефективність теплообміну.

5. Вихід рідини:

Охолоджений теплоносій і випарований (газоподібний) холодоагент виходять з випарника через окремі виходи. Газоподібний холодоагент направляється до компресора, де він стискається для подальшої конденсації і повторного використання у циклі охолодження.

Основні компоненти пластинчастого випарника

1. Пластини:

Виготовлені з корозійностійких матеріалів, таких як нержавіюча сталь. Пластини мають рельєфну поверхню для збільшення площі теплообміну і створення турбулентного потоку. Пластинчасті випарники складаються з серії тонких металевих пластин (зазвичай з нержавіючої сталі, титану або нікелевих сплавів), які розташовані в пакеті і розділені прокладками для створення каналів для потоку рідини.

Рисунок 6 – Пластина з корозійностійких матеріалів

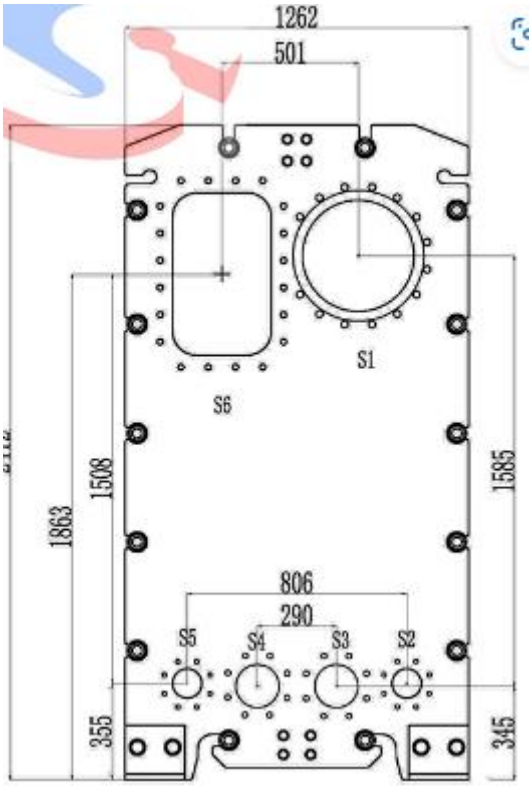

Рисунок 7 – Креслення пластини для заводських випарників

2. Прокладки:

Гумові або інші еластичні матеріали, що розташовані між пластинами, створюючи герметичні канали для рідин. Прокладки також запобігають змішуванню холодоагенту і теплоносія.

Рисунок 8 – Прокладка між пластинами

3. Корпус:

Металевий каркас, що утримує пластини і забезпечує герметичність всієї конструкції.

Процес теплообміну:

Рідини потрапляють у випарник через окремі входи і розподіляються по каналах між пластинами. Холодоагент (рідина, яку потрібно випарувати) проходить через один набір каналів, тоді як гарячий теплоносій (рідина, що передає тепло) протікає через інший набір каналів у протилежному напрямку (протитечія).

Тепло передається від теплоносія до холодоагенту через стінки пластин, що призводить до випаровування холодоагенту. Випаровування відбувається завдяки теплопередачі від гарячої рідини до холодної, що забезпечує охолодження теплоносія і випаровування холодоагенту.

Переваги:

Висока ефективність: Завдяки великій площі теплообміну та турбулентному потоку рідини пластинчасті випарники мають високу ефективність теплопередачі.

Компактність: Пластинчасті випарники займають менше місця порівняно з іншими типами випарників, такими як кожухотрубчасті.

Легкість обслуговування: Розбірна конструкція дозволяє легко очищати і обслуговувати випарник, що є важливим для підтримки ефективності роботи.

Недоліки:

1. **Висока початкова вартість:**

Виробництво і матеріали для пластинчастих випарників можуть бути дорожчими порівняно з іншими типами випарників, такими як кожухотрубчасті. Це може вплинути на бюджетні обмеження при встановленні нових систем охолодження

2. **Чутливість до забруднень:**

Вузькі канали між пластинами можуть легко забруднюватися, особливо при роботі з рідинами, що містять тверді частинки або мають тенденцію до утворення осадів. Це вимагає регулярного очищення і технічного обслуговування для підтримки ефективності теплообміну

3. **Ризики витоків через прокладку:**

Пластинчасті випарники використовують прокладки для герметизації каналів. З часом прокладки можуть зношуватися або пошкоджуватися, що може призвести до витоків рідин. Регулярна перевірка і заміна прокладок необхідні для запобігання витокам

4. Обмеження по тиску і температурі:

Пластинчасті випарники можуть мати обмеження по максимальному тиску і температурі, що можуть витримати пластини та прокладки. Це може обмежити їх використання в умовах, де потрібні високий тиск або температура

5. Велика площа прокладок:

Велика площа прокладок у пластинчастих випарниках може збільшувати ризик витоків, якщо прокладки неправильно підібрані або встановлені. Це також ускладнює технічне обслуговування і підвищує витрати на обслуговування

3.3 Теплові апарати:

Теплові апарати, або теплообмінники, використовуються для передачі тепла між різними середовищами без змішування. Ось основні типи теплових апаратів:

1.Кожухотрубчасті теплообмінники (Shell-and-Tube Heat Exchangers)

Рисунок 9 – Кожухотрубчастий теплообмінник

- Конструкція: Складаються з пучка труб, розташованих всередині кожуха. Один теплоносій протікає всередині труб, інший — навколо них у кожусі.

- Застосування: Використовуються в нафтохімічній, енергетичній та харчовій промисловостях.

- Переваги: Висока міцність, здатність працювати при високих температурах і тисках.

- Недоліки: Великі розміри, складність очищення та обслуговування.

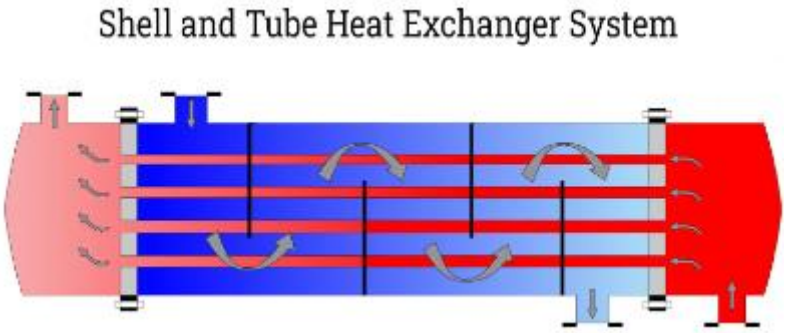

Рисунок 10 – Приклад роботи кожухотрубчастого теплообмінника

2.Повітряні теплообмінники (Air Heat Exchangers)

- Конструкція: Використовують повітря як теплоносій, часто оснащені вентиляторами для збільшення повітряного потоку.

- Застосування: Системи кондиціонування повітря, холодильні установки, автомобільні радіатори.

- Переваги: Простота конструкції, невисока вартість.

- Недоліки: Обмежена ефективність при високих температурах.

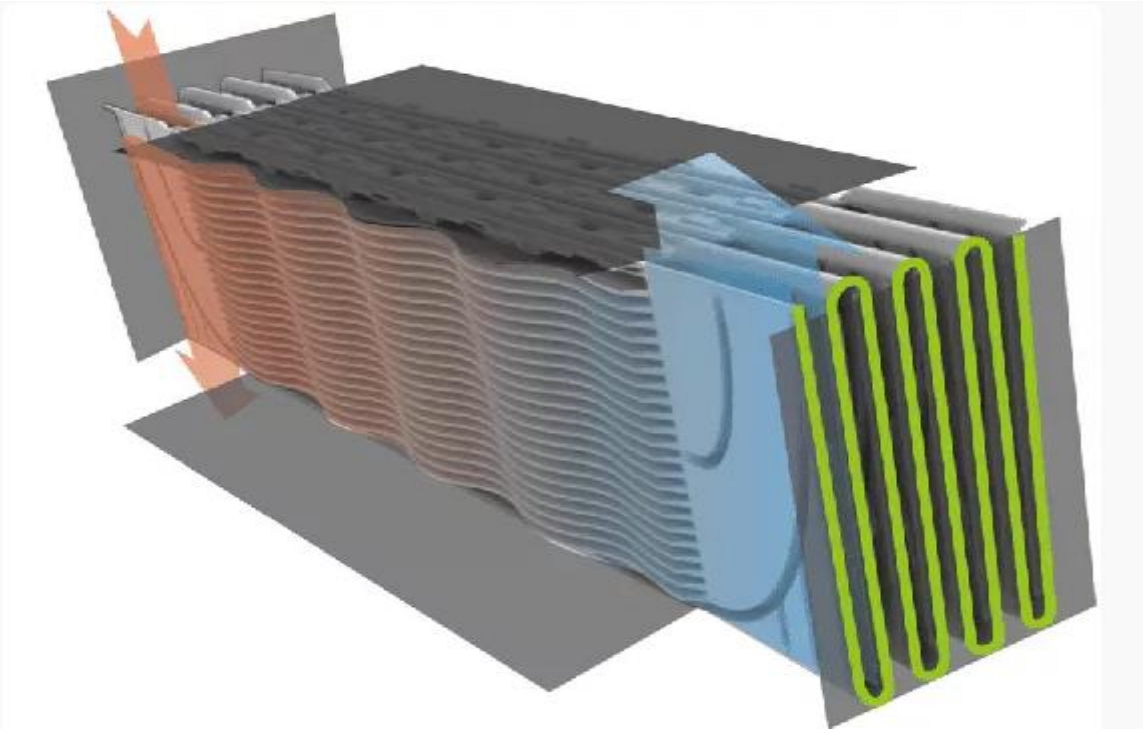

Рисунок 11, 12 – повітряний теплообмінник

3.4 Спіральні теплообмінники (Spiral Heat Exchangers)

Рисунок 13 – спіральний теплообмінник

- Конструкція: Складаються з двох спіральних каналів, через які протікають теплоносії.

- **Застосування:** Обробка в'язких рідин і рідин з твердими частинками.

- **Переваги:** Висока ефективність, компактність, самоочисні властивості.

- **Недоліки:** Висока вартість виготовлення, обмеження по тиску.

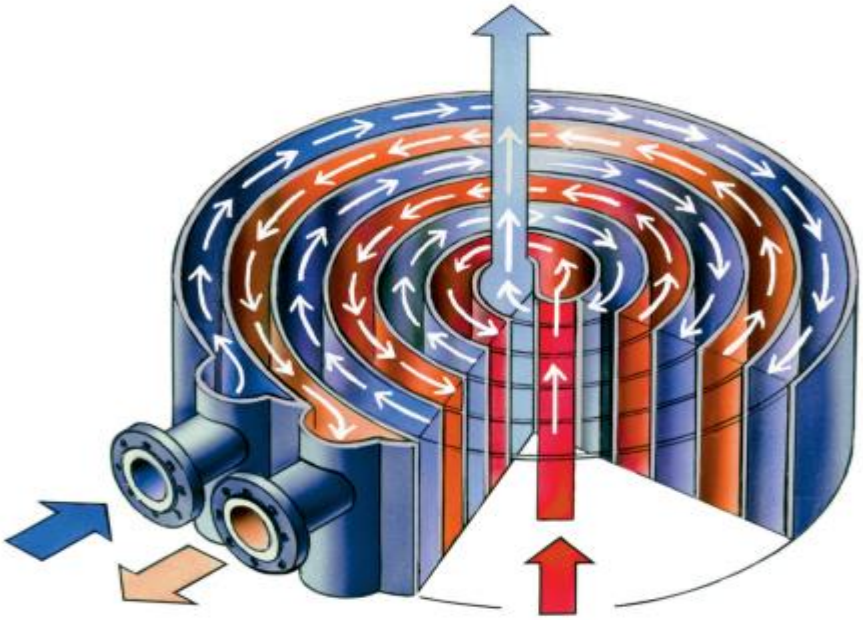

Рисунок 14 – Принцип роботи спірального теплообмінника

4. Теплообмінники з фазовим переходом (Phase Change Heat Exchangers)

- **Конструкція:** Використовують процеси випаровування і конденсації для передачі тепла.

- **Застосування:** Холодильні установки, теплові насоси, промислові процеси.

- **Переваги:** Висока ефективність за рахунок використання тепла фазового переходу.

- **Недоліки:** Складність в проектуванні і обслуговуванні, високі вимоги до матеріалів.

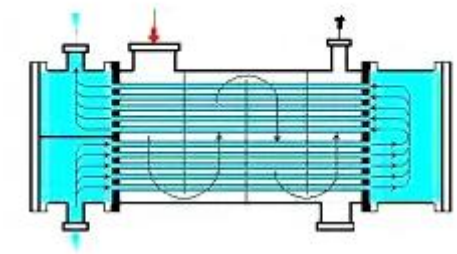

Рисунок 15 – принцип роботи теплообмінника з фазовим переходом з середини

4.5 Регенеративні теплообмінники (Regenerative Heat Exchangers)

- **Конструкція:** Використовують один і той же теплоносій, який чергується між гарячою і холодною сторонами.
- **Застосування:** Металургійна, хімічна та енергетична промисловості.
- **Переваги:** Висока ефективність, можливість відновлення тепла.
- **Недоліки:** Складність конструкції, висока вартість обслуговування.

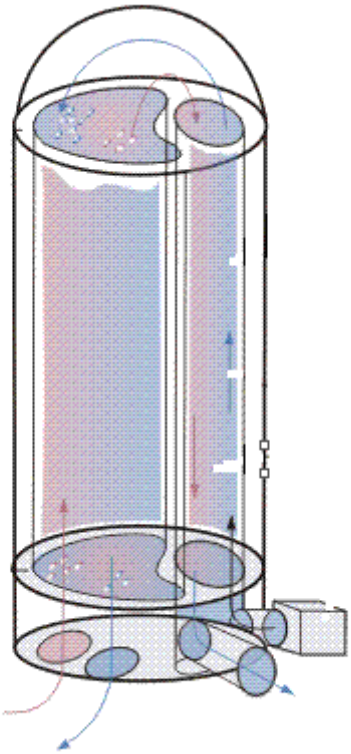

Рисунок 16 – регенеративний теплообмінник

Теплообмінники використовуються в багатьох галузях, включаючи харчову та напої, нафтохімічну, фармацевтичну, енергетичну та інші промисловості для різних цілей, таких як опалення, охолодження, конденсація та випаровування.

4. Схема аміачної холодильної машини

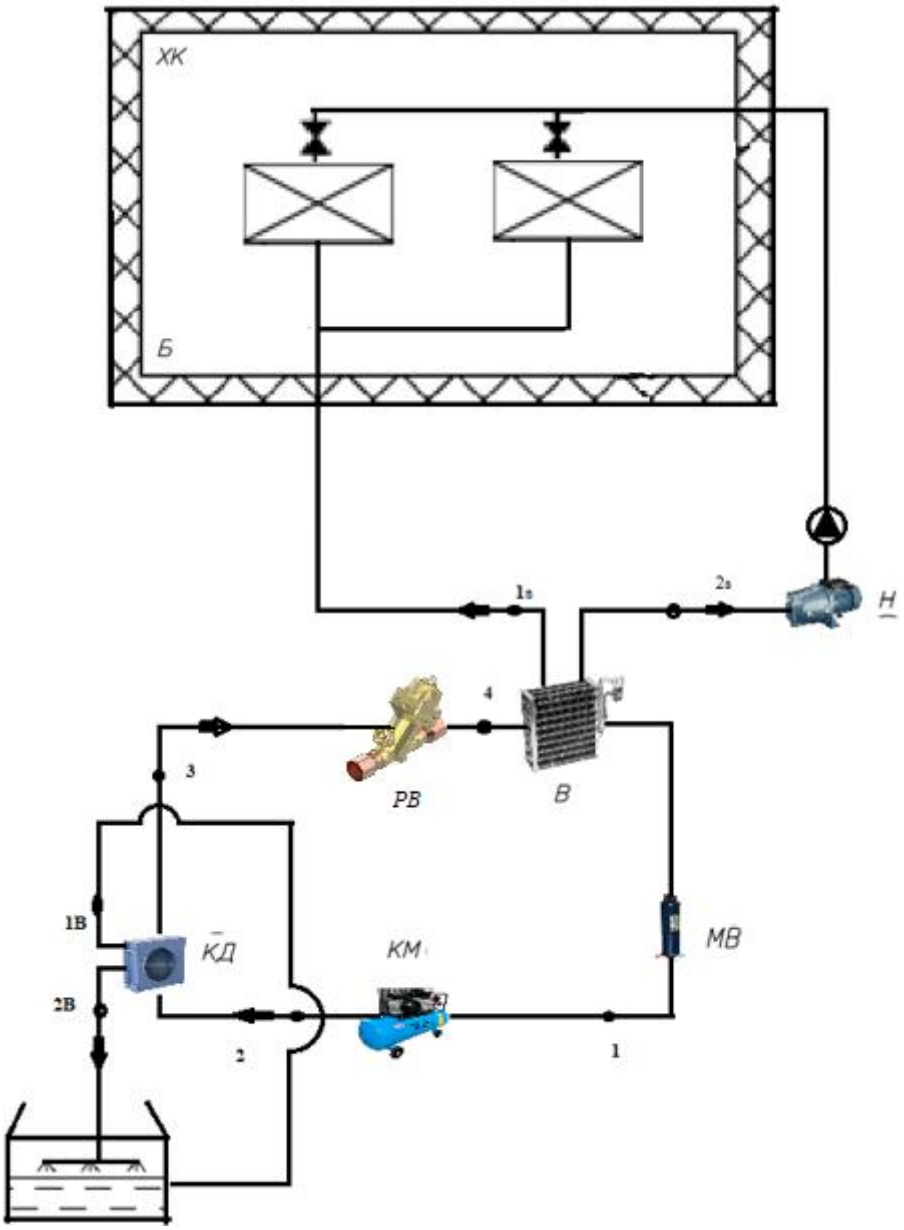

Рисунок 17 – Схема аміачної холодильної машини

КМ- компресор, КД-конденсатор, В-випрник, РВ-розширювательний вентиль, Н- насос, Б-батарея, ХК-холодильна камера.

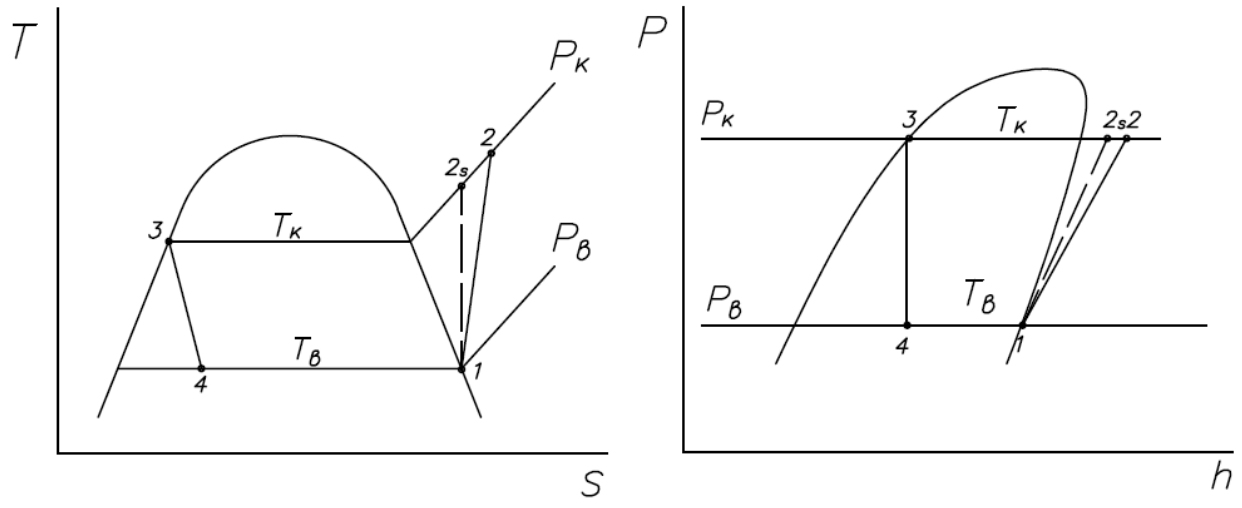

Рисунок 18 – зображено цикл одноступеневої аміачної холодильної машини

Лінія 1-2s відображає ізоентропне (ідеальне) стиснення холодильного агенту в компресорі, тоді як 1-2 демонструє реальне стиснення в компресорі. 2-3 – це процес фазового переходу пари в рідину в конденсаторі, 3-4 – процес дроселювання в дросельному вентилі. 4-1 – процес фазового переходу в випарнику з рідкого стану в пароподібний.

4.1 Визначення розрахункових температур:

Температура у випарнику визначається за рахунок недорекуперації в теплообміннику на рівні $\Delta t_{\text{П}} = 3$

Тобто. $t_{\text{в}}=t_{\text{П3}} - \Delta t_{\text{в}}=6 - 3=3°\text{C}$

Із випарника виходить суха насичена пара (точка 6 знаходиться на правій примежовій кривій).

Температура конденсації в конденсаторі стала і визначається температурними параметрами мережі системи гарячого водопостачання:

$$t_K = t_{\text{в}2} + \Delta t_K = 35 + 3 = 38°\text{C}$$

Температура пари холодоагенту на вході до компресора $t_1 = t_B + 10\ °C$.

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

Звідки визначається ентальпія $h_4 = h_3 + h_6 - h_1$.

Температура холодильного агенту на виході із компресора:

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

$$h_2 = 1570 + \frac{1640\text{-}1560}{0{,}75} = 1676 \text{ кДж/кг}$$

Розрахунки проводимо за допомогою *ph-діаграмі* для холодильного агенту R717.

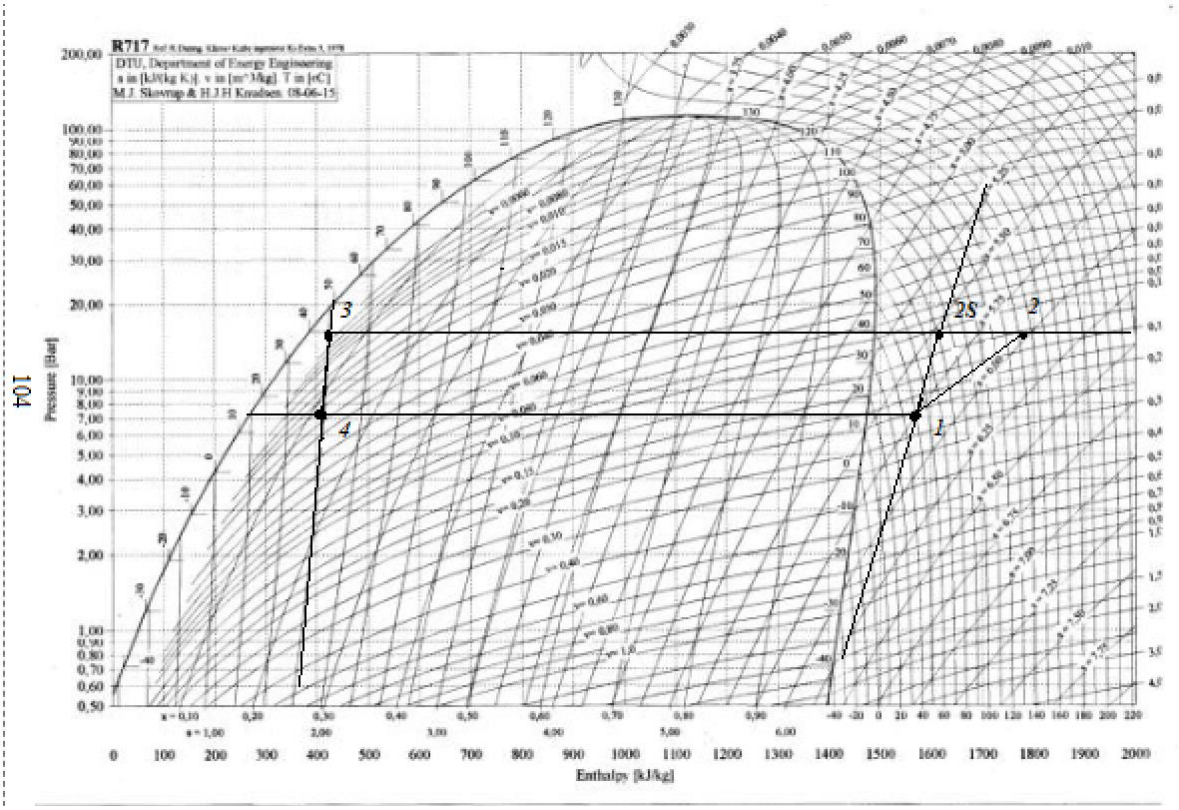

Рисунок 19 – *ph-діаграмі* для холодильного агенту R717.

Таблиця 3.1 – Питомі параметри у характерних точках циклу

Параметр	Точки				
	1	2s	2	3	4
t, °C	3	85	115	40	3
p, бар	7	15	15	5	7
h, кДж/кг	1570	1640	1676	360	360

За результатами вищенаведених табличних даних розраховуються питомі параметри ТНУ.

Питоме навантаження на конденсатор:

$$q_{КД} = h_2 - h_3,\ кДж/кг.$$

$$q_{КД} = 1676 - 360 = 1316\ кДж/кг$$

Питома адіабатна робота компресора:

$$l_S = h_{2S} - h_1,\ \frac{кДж}{кг}.$$

$$l_s = 1640 - 1570 = 70\ кДж/к$$

Питома дійсна робота компресора:

$$l = h_2 - h_1,\ кДж/кг.$$

$$l = 1676 - 1570 = 106\ кДж/кг$$

Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{КД} = \dot{Q}_T,\ кВт.$$

Масова продуктивність холодильного агенту:

$$m_a = \frac{\dot{Q}_{КД}}{q_{кд}},\ кг/с.$$

$$m_a = \frac{35}{1313} = 0{,}03\ кг/с$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_S = m_a \cdot l_S,\ кВт.$$

$$N_s = 0{,}03 \cdot 70 = 2{,}1\ кВт$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = m_a\left(h_2 - h_1\right),\ кВт.$$

$$N_e = 0{,}03 \cdot (1676 - 1570) = 3{,}18\ кВт$$

Споживана потужність приводного двигуна:

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

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

$$N_{пр} = \frac{3{,}18}{0{,}99 \cdot 0{,}85} = 3{,}77\ кВт$$

Коефіцієнт перетворення холодильної установки (холодильний коефіцієнт):

$$\varepsilon = \frac{Q_в}{N_{пр}}$$

$$\varepsilon = \frac{35}{3{,}77} = 9{,}28$$

5 Основні компоненти:

5.1 Аміачний контур:

- **Компресор:** Стискає аміак, підвищуючи його тиск і температуру.
- **Конденсатор:** В конденсаторі аміак охолоджується та конденсується в рідкий стан.
- **Розширювальний вентиль:** Знижує тиск рідкого аміаку перед його подачею у випарник.
- **Випарник:** Аміак випаровується у випарнику, поглинаючи тепло з охолоджуваного середовища (розчину етиленгліколю і води).

5.2 Етиленглікольно-водний контур:

- **Резервуар для розчину етиленгліколю та води:** Зберігає охолоджувальну рідину, що циркулює по системі.
- **Циркуляційний насос:** Забезпечує постійний потік розчину через систему.
- **Теплообмінник (випарник):** Охолоджений розчин етиленгліколю та води циркулює через випарник, де аміак поглинає тепло з розчину, охолоджуючи його.

- Теплообмінники для кінцевих споживачі: Передають холод від розчину етиленгліколю кінцевим споживачам (наприклад, холодильним камерам, системам кондиціонування повітря).

Принцип роботи системи:

Стиснення аміаку:

- Компресор стискає аміак, підвищуючи його тиск і температуру.

$$W = m(h_2 - h_1)$$

Де W – робота компресора, m – масова втрата аміаку, h2 - ентальнія аміаку після компресора, h1 – ентальпія аміаку перед компресором.

Конденсація аміаку:

- Гарячий газоподібний аміак надходить до конденсатора, де він охолоджується (зазвичай за допомогою води або повітря) і перетворюється на рідину.

$$Q_c = m(h_2 - h_3)$$

Де Q_c – тепло, що віддається в конденсаторі, h3 – ентальпія аміаку після конденсатора.

Розширення аміаку:

- Рідкий аміак проходить через розширювальний вентиль, де його тиск різко знижується, що призводить до часткового випаровування і зниження температури.

$$h_3 = h_4$$

де h_4 – ентальпія аміаку після розширувального вентилю.

Випаровування аміаку:

- Охолоджений рідкий аміак надходить у випарник, де він повністю випаровується, поглинаючи тепло з розчину етиленгліколю та води. Це охолоджує розчин, який циркулює через теплообмінник.

$$Q_e = m(h_1 - h_4)$$

Де Q_e – тепло, поглинуте в випарнику.

Охолодження розчину етиленгліколю:

- Охолоджений розчин етиленгліколю та води циркулює через систему трубопроводів до теплообмінників, де він передає холод кінцевим споживачам (наприклад, у холодильні камери або системи кондиціонування повітря).

$$Q_{glycol} = m_{glycol} C_p (T_{in} - T_{out})$$

Де Q_{glycol} – тепло, що передається розчином етиленгліколю, m_{glycol}- масова витрата розчину, C_p – питома теплоємність розчину, T_{in} - температура розчину на вході в теплообмінник, T_{out}- температура на виході.

Повернення аміаку:

- Випаровуваний аміак повертається до компресора для повторного циклу.

Переваги такої системи:

- Ефективність: Використання аміаку як холодоагенту забезпечує високу ефективність охолодження завдяки його високому коефіцієнту теплопередачі.

- Низька температура замерзання: Розчин етиленгліколю та води має низьку температуру замерзання, що дозволяє використовувати його в умовах низьких температур.

- Гнучкість застосування: Можливість використання в різних промислових додатках, таких як харчова промисловість, охолодження технологічних процесів, системи кондиціонування повітря та інші.

Ця система забезпечує стабільне та ефективне охолодження для різних промислових потреб, поєднуючи властивості аміаку як холодоагенту та розчину етиленгліколю як теплоносія.

Рисунок 20 – Фреоновий кожухотрубчастий випарник

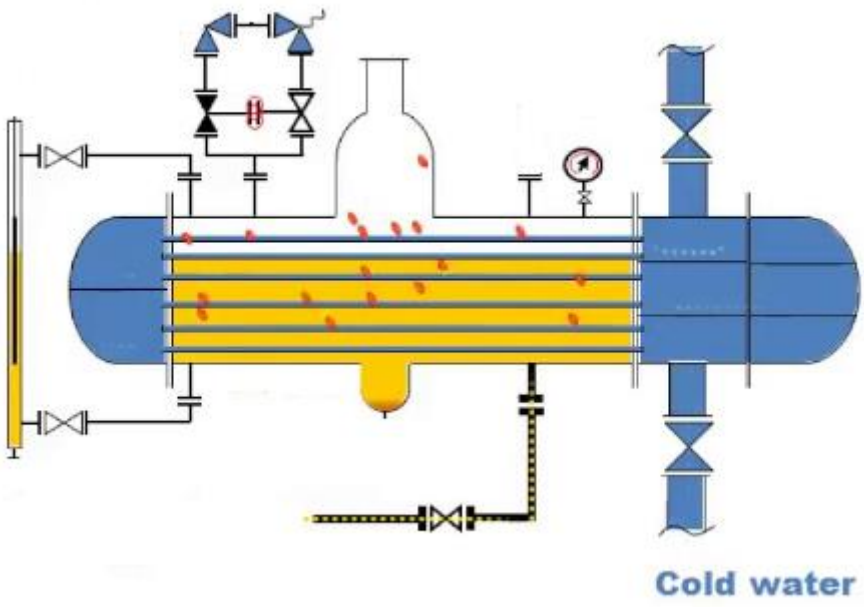

Рисунок 21 – Аміачний кожухотрубчастий випарник

5.4 Зрошувальний кожухотрубчастий випарник

Кожухотрубчасті зрошувальні випарники функціонують шляхом розпилення рідкого аміаку на зовнішню поверхню труб, через які циркулює охолоджуваний теплоносій, наприклад, розчин етиленгліколю і води. Аміак випаровується на поверхні труб, поглинаючи тепло з теплоносія, що забезпечує його ефективне охолодження. Завдяки великій площі контакту і високій теплопровідності аміаку, досягається висока ефективність теплообміну, що робить ці випарники надзвичайно ефективними для промислового охолодження.

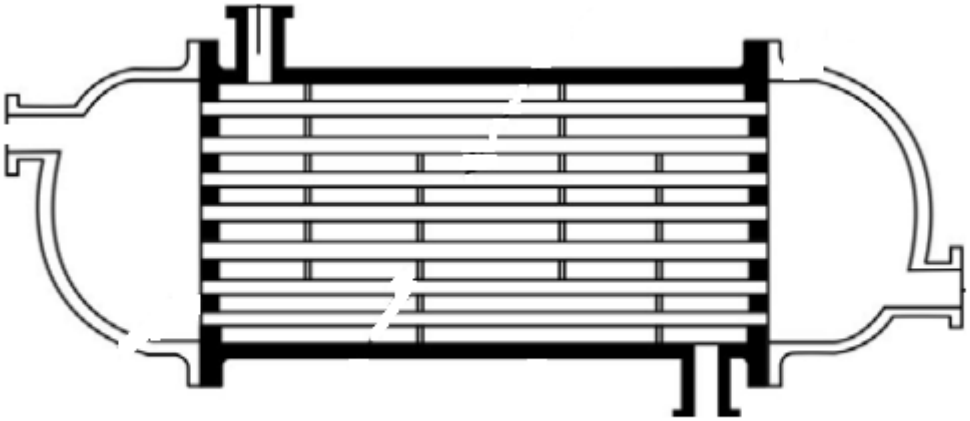

Рисунок 22 – Зрошувальний кожухотрубчастий випарник

Принцип роботи випарника: Рідкий аміак зрошуються по зовнішній поверхні труб, забезпечуючи максимальний контакт з поверхнею труб для ефективного випаровування. Аміак випаровується, поглинаючи тепло з теплоносія, який циркулює всередині труб (розчин етиленгліколю та води). Охолоджений розчин етиленгліколю та води циркулює через систему, передаючи холод кінцевим споживачам.

Переваги кожухотрубчастих зрошувальних випарників:

Завдяки зрошуванню труб і великій площі контакту з аміаком, забезпечується ефективне теплообмін. Використання міцних матеріалів, таких як нержавіюча сталь, забезпечує довгий термін служби випарника. Можливість використання в різних промислових додатках.

Формула для розрахунків:

Теплопередача в випарнику**:**

$$Q_{glycol} = m_{,glycol} \cdot C_p(T_{in} - T_{out})$$

Де Q_{glycol} – теплопередача, m_{glycol} – масова витрата розчину на вході в теплообмінник, C_p – питома теплоємність розчину, T_{in} – температура розчину на вході в теплообмінник, T_{out} - температура на виході.

6 Розрахунок кожухотрубного випарника

6.1 Тепловий розрахунок

Температура охолодження етиленглікольно-водної системи у випарнику $\Delta t_s = 2°C$, температура етиленгліколю-води при вході в випарник $T_{s1} = T_{s2} + \Delta t_s = 5 + 2 = 7°C$

Температура кипіння при різниці температур:

$$t_0 = \frac{5+7}{2} = 6°C \quad (4.1)$$

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\theta_m = \frac{\Delta t_s}{In\frac{t_{s1} - t_0}{t_{s2} - t_0}} = \frac{2}{In\frac{283 - 279}{280 - 279}} = 1{,}4$$

T_0= 279К $T_{ЗАМ} = T_0 - 7 = 279 - 7 = 272K$

Властивості при температурі 272К:

- Число Прандтля Pr = 15
- Коефіцієнт теплопроводності 0,37 Вт/мК
- Коефіцієнт кінематичной в'язкості $1{,}8 \cdot 10^{-6}$м$^2/c$
- Масова доля 40%
- Густина 1060 кг/м3
- Питома теплоємності 3.3кДж/кгК
- Коефіцієнт динамічной в'язкості 19,5 Па · с

Параметр що дорівнює теплопередачі на поверхні

$d_{\text{ВН}} = 13\text{мм}, -\text{внутрішній діаметр}, d_H = 16\text{мм} - \text{зовнішний}.$

При прийнятій швидкості розсолу в трубах випарника

$w = 1{,}5\text{м/с}$ число труб в одному ході.

$$n_1 = \frac{4Q_0}{w\pi d_{BH}^2 c\rho\Delta t}$$

$$n_1 = \frac{4 \cdot 35}{1{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}013^2 \cdot 3{,}3 \cdot 1060 \cdot 2} = 24{,}1$$

Округлюємо труби до 12

Маючи число труб в одном ході перерахуємо швидкість

$$w = \frac{4Q_0}{n_1 \cdot \pi d_{BH}^2 c\rho\Delta t}$$

$$w = \frac{4 \cdot 35}{6 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}013^2 \cdot 3{,}3 \cdot 1060 \cdot 2} = 6{,}25$$

Число Рейнольдса

$$Re_p = \frac{wd_{BH}}{v}$$

$$Re_p = \frac{6{,}25 \cdot 0{,}0013}{1{,}8 \cdot 10^{-6}} = 45140$$

Число Нусельта для перехідного режиму

$$Nu_p = 0{,}021 \cdot Re_p^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_T$$

$$Nu_p = 0{,}021 \cdot 45140^{0,8} \cdot 15^{0,43} \cdot 0{,}928 = 304{,}6$$

Коефіцієнт теплвіддачі з боку етиленглікольню-води

$$\alpha_{S_{BH}} = \frac{Nu_p A}{d_{BH}}$$

$$\alpha_{S_{BH}} = \frac{304{,}6 \cdot 0{,}37}{0{,}013} = 8669 \text{Вт/м}^2\text{К}$$

Густина теплового потоку з боку етиленглікольню-води:

$$q_{Fs} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{\alpha_{S_{BH}}} + \sum \frac{\delta}{\gamma}}$$

Де $\sum \frac{\delta}{\gamma} = 0{,}8^{10^{-3}}$ м$^2 K / Вт$ - прийнятий термічний опір стінки й забруднень

$$q_{Fs} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{8669} + 0{,}8 \cdot 10^{-3}} = 1083{,}6\theta_s$$

Густина теплового потоку з боку робочої речовини:

$$q_{F_a} = 856{,}6\theta_a^{1,667} \frac{F_H}{F_{BH}}$$

$$q_{F_a} = 856{,}6\theta_a^{1,667} \cdot 0{,}192 = \theta_a^{1,667} 947{,}8$$

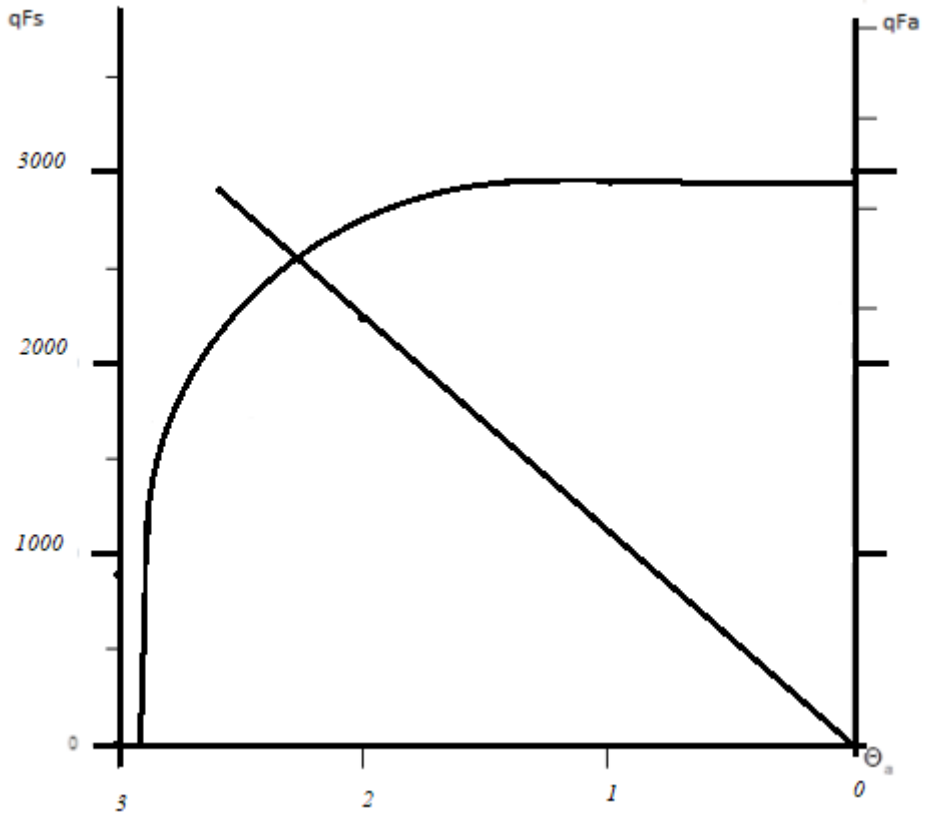

Рисунок 23 - графік залежності вирішення системи рівняння визначення густини теплового потоку.

$$q_{ВН} = 2650 Вт/м^3$$

$$F_{вн} = \frac{Q_k}{q_{вн}}$$

$$F_{вн} = \frac{35000}{2650} = 13{,}2 м^2$$

6.2 Конструктивний розрахунок

$$S = 2{,}25 d_H$$

$$S = 2{,}25 \cdot 0{,}016 = 0.036 м$$

відношення довжини труби до діаметру трубної решітки *к =5 :*

$$m = 0{,}75\sqrt{\frac{F_{BH}}{d_{BH}kS}}$$

$$m = 0{,}75\sqrt{\frac{2{,}67}{0{,}013\ \cdot 5 \cdot 0{,}036}} \approx 25{,}3$$

m = 25

Діаметр трубной решітки:

$$D = mS$$

$$D = 25\ \cdot 0{,}036 = 0{,}9\text{м}$$

Довжина труби:

$$l = kD$$

$$l = 5\ \cdot 0{,}9 = 4{,}5\text{м}$$

Кількість труб:

$$n = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi d_{\text{вн}} l}$$

$$n = \frac{2{,}67}{3{,}14\ \cdot 0{,}013 \cdot 4{,}5} = 14{,}53\ \approx 15$$

Кількість ходів:

$$n_z = \frac{n}{n_1}$$

$$n_z = \frac{15}{5} = 3$$

4.3 Гідравлічний розрахунок

Визначаємо гідравлічний опір протіканню води в трубах випарника:

$$\Delta p = \left\{\frac{0{,}42 \cdot E_{\text{ш}}}{[(w \cdot d_{\text{вн}})^{0{,}25} \cdot (t_w + 40)^{0{,}35}]} \cdot \left(\frac{l}{d_{\text{вн}}}\right) + 1{,}75\right\} \cdot \left(\frac{n_{z\cdot} \cdot w^2 \cdot \rho_w}{2}\right)$$

$$= \left\{\frac{0{,}42 \cdot 1}{[(3{,}1 \cdot 0{,}013)^{0{,}25} \cdot (20 + 40)^{0{,}35}]} \cdot \left(\frac{4{,}5}{0{,}013}\right) + 1{,}75\right\}$$

$$\cdot \left(\frac{3 \cdot 3{,}1^2 \cdot 1060}{2}\right) = 120966\text{Па} \approx 0{,}12\text{МПа}$$

7 Охорона праці

Міжнародні організації, такі як Міжнародна організація праці (ILO) та Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO), активно працюють над розробкою стандартів та рекомендацій для покращення умов праці та запобігання виробничим травмам і захворюванням. Вони також надають інструменти для урядів, роботодавців та працівників для впровадження безпечних практик на робочих місцях

Ризики та небезпеки на робочому місці:

Різні галузі, такі як виробництво, будівництво, транспорт і зберігання, характеризуються високим рівнем виробничих ризиків. Зокрема, тимчасові та сезонні працівники, молодь, мігранти й інші вразливі групи часто стикаються з дискримінацією та маргіналізацією, що підвищує їхню вразливість до небезпек на робочому місці.

Ризики та небезпеки на робочому місці є різноманітними та часто залежать від конкретної робочої сфери й умов праці. Вони можуть включати фізичні (наприклад, падіння, шум, вібрація), хімічні (контакт з токсичними речовинами), біологічні (вплив мікроорганізмів), ергономічні (незручні робочі пози, повторювані рухи) та психосоціальні фактори (стрес, конфлікти на роботі). Кожен з цих факторів може призвести до серйозних травм або захворювань, що вимагає ретельного управління та контролю.

Охорона праці є критично важливою для забезпечення безпеки та здоров'я працівників у всьому світі. Одним з ключових міжнародних стандартів є ISO 45001:2018, який встановлює вимоги до систем управління охороною праці (OHSMS) з метою підвищення безпеки працівників, зменшення ризиків на робочому місці та створення кращих умов праці. Основні аспекти ISO 45001 включають розробку політики охорони праці, регулярну ідентифікацію та оцінку ризиків, встановлення цілей та програм для зменшення ризиків, реалізацію програм з охорони праці, включаючи навчання персоналу та впровадження процедур реагування на надзвичайні ситуації, а також постійний моніторинг і оцінку ефективності системи управління через внутрішні аудити та перегляд вищим керівництвом.

Впровадження ISO 45001 дозволяє [12] знизити кількість нещасних випадків, підвищити продуктивність праці, забезпечити відповідність вимогам законодавства та покращити репутацію компанії. Крім ISO 45001, існують інші стандарти, такі як OHSAS 18001, який був замінений ISO 45001, але все ще використовується деякими організаціями, та рекомендації Міжнародної організації праці (ILO-OSH 2001), які надають рамкові інструкції для національних систем управління охороною праці.

Глобальна стратегія з охорони праці ILO на період 2024-2030 років спрямована на підвищення безпеки та охорони праці у всьому світі. Впровадження міжнародних стандартів з охорони праці, таких як ISO 45001, є важливим кроком для забезпечення безпечних умов праці, допомагає організаціям ефективно управляти ризиками та створювати безпечне робоче середовище, що сприяє зниженню кількості нещасних випадків та професійних захворювань. ISO 45001 є єдиним міжнародним стандартом для управління охороною праці, який пропонує чітку структуру для всіх організацій, що прагнуть покращити свої показники в сфері охорони праці. Цей стандарт був розроблений комітетами експертів з охорони праці з понад 70 країн і спрямований на запобігання виробничим травмам, захворюванням і смертям, що дозволяє організаціям управляти ризиками охорони праці як частиною своїх бізнес-процесів.

Одним з ключових аспектів впровадження ISO 45001 є підвищення лідерської відповідальності та залучення, аналіз контексту і ризиків, а також забезпечення кращої узгодженості з іншими стандартами ISO для управління системами, такими як ISO 9001 та ISO 14001. Стандарт допомагає організаціям усіх розмірів та галузей активно запобігати травмам і захворюванням на робочому місці, що є важливим для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, підвищення продуктивності та забезпечення довготривалого успіху.

Впровадження ISO 45001 також сприяє поліпшенню ідентифікації небезпек і оцінки ризиків, зниженню простоїв і загальних витрат на інциденти, а також зменшенню кількості страхових премій. Цей стандарт дозволяє компаніям демонструвати, що вони вжили всі необхідні заходи для захисту своїх працівників, що сприяє поліпшенню продуктивності завдяки ефективним системам управління.

Основні категорії ризиків:

1.Фізичні ризики:

- Механічні небезпеки: рухомі частини машин та обладнання можуть спричинити травми, якщо не використовувати захисні пристрої.

Рухомі частини машин: Необхідність захисту працівників від контакту з рухомими частинами машин і обладнання. Це досягається за допомогою встановлення захисних екранів і огорож.

Рисунок 24 – кран-балка на підприємстві.

Кран-балки – це важливе обладнання, яке широко використовується на промислових підприємствах для підйому і переміщення важких вантажів. Проте, вони можуть становити серйозну небезпеку для працівників і виробничого процесу, якщо не дотримуватися правил безпеки та технічного обслуговування. У цій доповіді розглянемо основні небезпеки, пов'язані з експлуатацією кран-балок, та заходи для їхнього зниження.

Механічні пошкодження:

- Відсутність регулярного технічного обслуговування може призвести до зношування або виходу з ладу компонентів кран-балки, що може спричинити падіння вантажу або обвалення конструкції.
- Неправильне завантаження або перевантаження кран-балки може спричинити її руйнування або втрату стійкості.

Електричні небезпеки:

- Несправна електропроводка або неправильне заземлення може призвести до ураження електричним струмом працівників.
- Відсутність належного захисту електричних компонентів може спричинити коротке замикання або пожежу.

Небезпека для працівників:

- Недостатня підготовка або відсутність досвіду у працівників, які керують кран-балкою, може призвести до неправильної експлуатації та аварій.
- Перебування людей у зоні роботи кран-балки без належного захисту може спричинити травми або смертельні випадки у разі падіння вантажу.

Екологічні небезпеки:

- Витоки гідравлічних рідин або мастил з кран-балки можуть забруднити навколишнє середовище та спричинити екологічну шкоду.

Гострі предмети: Використання гострих інструментів, таких як ножі або пили, вимагає спеціального навчання та застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для запобігання порізам і пораненням.

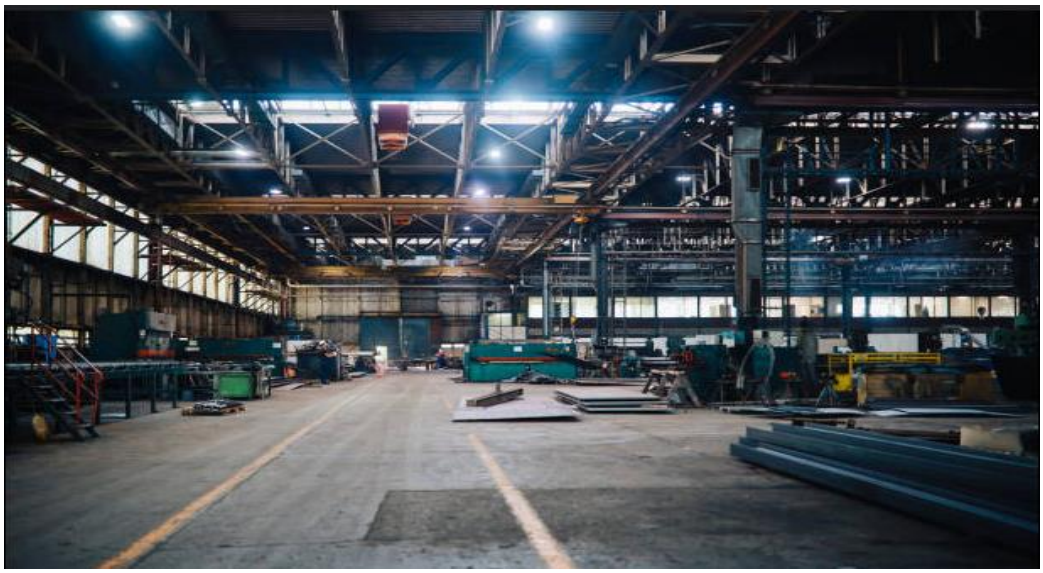

Рисунок 25 – підприємство.

- **Шум:** високий рівень шуму може призвести до втрати слуху та інших проблем зі здоров'ям.

- **Вібрація:** вплив вібрацій на тіло може спричинити розлади опорно-рухового апарату.

- Температурні екстремуми: робота при дуже високих або низьких температурах може викликати тепловий удар або обмороження.

2. Хімічні ризики:

- **Токсичні речовини:** контакт з хімікатами може викликати отруєння, опіки, алергічні реакції та хронічні захворювання, такі як рак.

- **Аерозолі:** вдихання дрібнодисперсних частинок, таких як пил або пара, може призвести до респіраторних захворювань.

3. Біологічні ризики:

- **Патогени:** працівники в галузях охорони здоров'я або сільського господарства можуть бути піддані ризику інфекційних захворювань, таких як туберкульоз або гепатит.

- **Алергени:** контакт з певними тваринами або рослинами може викликати алергічні реакції.

4. Ергономічні ризики:

- **Неправильна постава:** тривала робота в незручних позах може призвести до проблем зі спиною, шиєю та суглобами.

- Повторювані рухи: виконання одних і тих же дій може викликати розлади, такі як синдром зап'ястного каналу.

5.Психосоціальні ризики:

- **Стрес:** високий рівень стресу на робочому місці може призвести до психічних і фізичних проблем, таких як депресія, тривожність, серцево-судинні захворювання.

- **Насилля та домагання:** психологічний тиск та конфлікти на робочому місці можуть мати серйозні наслідки для психічного здоров'я працівників.

Для забезпечення максимальної безпеки на робочому місці важливо впровадити комплексний підхід, що включає кілька ключових стратегій. Перше, створення культури безпеки починається з лідерства керівництва, яке повинно демонструвати відданість безпеці та здоров'ю працівників, надавати необхідні ресурси і активно залучати працівників у процеси прийняття рішень з питань безпеки. Друге, забезпечення ефективної комунікації на всіх рівнях організації для швидкого виявлення та усунення небезпек. Третє, регулярні оцінки ризиків та огляди системи управління охороною праці для виявлення потенційних небезпек та впровадження превентивних заходів. Четверте, забезпечення працівників відповідними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) та навчанням з безпечного виконання робіт. П'яте, впровадження програм заохочення безпечної поведінки, включаючи визнання та нагородження працівників, які дотримуються правил безпеки. Шосте, створення і підтримка чистого та організованого робочого середовища, що зменшує ризики травм. Сьоме, підготовка до надзвичайних

ситуацій шляхом розробки планів евакуації та регулярних навчальних тривог. Ці рекомендації допоможуть створити безпечне робоче середовище, яке сприяє зменшенню кількості нещасних випадків та підвищенню продуктивності.

Забезпечення максимальної безпеки на робочому місці є однією з найважливіших задач для будь-якої організації. Для цього необхідно комплексно підходити до впровадження різноманітних заходів безпеки. У цьому розділі розглянемо конкретні рекомендації для кожного виду ризику, які допоможуть створити безпечне та здорове робоче середовище.

Фізичні ризики

Фізичні ризики включають шум, вібрації, температурні екстремуми та інші небезпеки, пов'язані з робочим середовищем.

1. Шум: Для зниження рівня шуму можна встановити шумозахисні екрани, забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, такими як навушники або вкладиші, та регулярно обслуговувати обладнання. Крім того, корисно організувати зони відпочинку з мінімальним рівнем шуму, що допоможе зберегти здоров'я працівників.

2. Вібрація: Знизити вплив вібрацій на працівників можна за допомогою антивібраційних рукавиць та спеціальних підкладок під обладнання. Регулярне технічне обслуговування також сприяє зменшенню вібрацій. Важливо надавати працівникам можливість відпочинку, особливо тим, хто піддається впливу вібрацій.

3. Температурні екстремуми: Для захисту від екстремальних температур необхідно забезпечити працівників відповідним захисним одягом, організувати робочий час з перервами для відпочинку та охолодження або зігрівання, а також встановити системи кондиціонування чи обігріву. Інструктажі з питань гідратації та уникнення перегріву або переохолодження також допомагають зберегти здоров'я працівників.

Хімічні ризики

Хімічні ризики виникають при впливі шкідливих речовин у вигляді рідин, газів, парів або пилу.

1. Контроль за хімічними речовинами: Важливо встановити вентиляційні системи для видалення шкідливих парів, забезпечити працівників засобами індивідуального захисту (маски, рукавиці) та навчити їх безпечному поводженню з хімікатами. Розробка та дотримання процедур зберігання та утилізації хімічних речовин є важливими для зниження ризиків. Необхідно також регулярно моніторити рівні хімічних речовин у повітрі робочих приміщень.

Біологічні ризики

Біологічні ризики включають вплив інфекційних агентів, таких як бактерії, віруси, грибки та інші патогени.

1. Інфекційні агенти: Для зниження біологічних ризиків необхідно використовувати засоби індивідуального захисту (рукавички, маски), регулярно дезінфікувати робочі місця та навчати працівників гігієнічних практик. Впровадження процедур для своєчасного виявлення та ізоляції інфікованих працівників, а також надання їм медичної допомоги допомагає запобігти поширенню інфекцій.

Ергономічні ризики

Ергономічні ризики виникають через неправильні робочі пози, повторювані рухи та інші фактори, що спричиняють фізичне напруження.

1. Неправильна постава та повторювані рухи: Щоб знизити ризик травм, робочі місця повинні бути налаштовані з урахуванням ергономічних принципів, працівникам слід забезпечити регульовані крісла та робочі поверхні, а також

організувати регулярні перерви для розтягування та зміни положення тіла. Важливо навчати працівників правильним робочим позам і рухам.

Психосоціальні ризики

Психосоціальні ризики включають стрес, насильство, домагання та інші фактори, що впливають на психічне здоров'я працівників.

1. Стрес і навантаження: Для створення підтримуючої робочої атмосфери можна впровадити програми з управління стресом, забезпечити можливість консультацій з психологом та залучити працівників до прийняття рішень, що стосуються їхніх умов праці. Важливо також проводити тренінги з управління часом та розвитку навичок стресостійкості.

Безпекові ризики

Безпекові ризики виникають через небезпечне обладнання та умови праці, які можуть призвести до травм.

1. Небезпечне обладнання та умови праці: Важливо встановлювати захисні екрани і бар'єри, навчати працівників безпечному використанню обладнання, проводити регулярні інструктажі та тренінги з безпеки. Також слід регулярно оглядати та обслуговувати обладнання для виявлення та усунення потенційних небезпек.

Екологічні ризики

Екологічні ризики виникають через вплив навколишнього середовища та фактори, що впливають на здоров'я працівників.

1. Вплив навколишнього середовища: Для зменшення впливу навколишнього середовища необхідно забезпечити належну вентиляцію, контролювати якість повітря і води, а також своєчасно утилізувати відходи і небезпечні матеріали. Впровадження екологічно чистих технологій та практик також допомагає знизити ці ризики

8 Список джерел

1. Home For All Things Refrigerators/Refrigeration... - In-depth Refrigerators Reviews (refrigeratorsreviewed.com)
2. Home For All Things Refrigerators/Refrigeration... - In-depth Refrigerators Reviews (refrigeratorsreviewed.com)
3. Shell and Tube Evaporator - Cool Fab Equipments
4. Офіційний сайт OSHA: Home | Occupational Safety and Health Administration (osha.gov)
5. Workplace Hazards: Types & Examples | SafetyCulture: SafetyCulture | Improve Workplace Operations
6. Top 7 Types of Workplace Hazards with Examples | Safetymint: Ensuring Safety and Compliance at Workplace | Safetymint
7. Applying the Hierarchy of Controls to Different Types of Risks | Safety Management Group: Home – MS - SMG (safetymanagementgroup.com)
8. Masterclass: Shell & Tube Evaporators-Part 15 (acr-news.com)
9. Shell and Tube Heat Exchanger: What Is It? Types, Process (iqsdirectory.com)
10. Can Air to Air Heat Exchanger keep the house cool? (stollpche.com)
11. Spiral Heat Exchanger Manufacturer, Exporter from Ankleshwar (fitzerincorporation.in)
12. REGENERATIVE HEAT EXCHANGERS (thermopedia.com)
13. Відцентровий насос Насоси + Обладнання JET 40 побутовий насос для подачі води, тиск 38м, 600Вт купить во Львівській області | Цены на Відцентрові насоси для води в "Sun Service - інтернет-магазин". Узнать подробнее - звоните 067 6728067, 050 3714719 (sunservis.com.ua)
14. Fundamental basis and implementation of shell and tube heat exchanger

project design: condenser and evaporator study Fundamental basis and implementation of shell and tube heat exchanger project design: condenser and evaporator study | Heat and Mass Transfer (springer.com)

15. **Performance Prediction of Plate-Finned Tube Heat Exchangers for Refrigeration: A Review on Modeling and Optimization Methods**.: Energies | Free Full-Text | Performance Prediction of Plate-Finned Tube Heat Exchangers for Refrigeration: A Review on Modeling and Optimization Methods (mdpi.com)