

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ВАНЄСВ  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

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

на тему: «Проектування газоохолоджувача транскритичної холодильної  
системи»

Здобувача групи

ХК-01-2  
(шифр групи)

Назаренка Максима Валерійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

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

\_\_\_\_\_

(підпис)

Максим НАЗАРЕНКО  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник Доцент кафедри ТТФ, доцент, к.т.н. Юрій МЕРЗЛЯКОВ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_

(підпис)

# ЗМІСТ

С.

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 3  |
| 1 Перспективи використання діоксиду вуглецю як холодильного агенту..... | 5  |
| 2 Розрахунок циклу транскритичної холодильної машини.....               | 10 |
| 3 Розрахунок газоохолоджувача транскритичної холодильної системи.....   | 14 |
| 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях .....               | 26 |
| Список використаних джерел.....   | 30 |

|           |      |           |       |      |   |                    |       |         |
|-----------|------|-----------|-------|------|---|--------------------|-------|---------|
|           |      |           |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ   |                    |       |         |
|           |      |           |       |      |   |                    |       |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.  | Підп. | Дата | Проектування газоохолоджувача<br>транскритичної холодильної системи | Літ.               | Аркуш | Аркушів |
| Розроб.   |      | Назаренко |       |      |   |                    | 2     | 30      |
| Перевір.  |      | Мерзляков |       |      |   |                    |       |         |
| Н. контр. |      |           |       |      |   |                    |       |         |
| Затв.     |      | Ванєєв    |       |      |   |                    |       |         |
|           |      |           |       |      |   | СумДУ, гр. ХК-01-2 |       |         |

## ВСТУП

Тенденція переходу від звичайних холодильних агентів до діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) набирає обертів як у всьому світі, так і в Україні [1-3], що стає все більш актуальним та важливим питанням для бізнесу та фахівців у цій галузі.

Розвиток цього напрямку підтримується кількома ключовими чинниками, такими як зростання цін на традиційні холодильні речовини, впровадження екологічних стандартів Європейського Союзу (ЄС), а також розвиток відповідної інфраструктури та технологій для виробництва та використання  $\text{CO}_2$ . Ще на початку 1850-х років науково було доведено, що  $\text{CO}_2$  є одним з найбільш надійних, ефективних і екологічно чистих холодоагентів, але технологій того часу було недостатньо, щоб впоратись з високими тисками  $\text{CO}_2$  на робочих режимах. Зараз у всьому світі він використовується як засіб забезпечення сталих та економічно ефективних рішень у системах охолодження, що відповідають зростаючим екологічним стандартам сьогодення і майбутнього.

Діоксид вуглецю, являючись природним та екологічно чистим холодоагентом, відіграє важливу роль у різноманітних природних та промислових процесах. Ця природна сполука виявляється не лише надійним, але й ефективним засобом охолодження, забезпечуючи оптимальні умови для функціонування різноманітних систем та технологій.

Використання  $\text{CO}_2$  вносить вагомий внесок в його застосуванні в бізнесі. Наприклад, для власників супермаркетів, що досягається завдяки високій об'ємній ефективності, мінімізації енергоспоживання та зменшенню кількості необхідного холодоагенту для заправки системи охолодження.

У системах охолодження для супермаркетів досить часто спостерігається втрата до 20% холодоагенту протягом експлуатації. Проте

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 3     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

перехід до CO<sub>2</sub> дозволяє зменшити експлуатаційні витрати магазинів і сприяє активним позитивним змінам у кліматі.

Ця заміна не лише знижує кількість витраченого холодоагенту, але й має важливе екологічне значення, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище та сприяючи удосконаленню енергоефективності виробничих процесів.

Про це йдеться в «Кіотському» та «Монреальському» протоколах, що використання CO<sub>2</sub> у системах охолодження повинно відповідати стандартам, встановленими цими міжнародними угодами. Це сприяє зменшенню викидів шкідливих газів та речовин, що мають негативний вплив на клімат та оточуюче середовище, забезпечуючи екологічно чисті та ефективні технології охолодження.

Проте при переході з традиційних холодильних агентів на CO<sub>2</sub> виникають нові виклики, які потребують уваги та рішень. Одним з таких викликів є потреба у модернізації існуючих систем охолодження для їх адаптації до роботи з CO<sub>2</sub>. Це може включати заміну обладнання, впровадження нових технологій та встановлення додаткових заходів безпеки.

Крім того, виникає необхідність у підвищенні кваліфікації фахівців з монтажу та обслуговування холодильних систем, оскільки робота з CO<sub>2</sub> вимагає специфічних знань та навичок.

Такі фахівці повинні бути ознайомлені з новими технологіями, процедурами безпеки та вміти працювати зі спеціалізованим обладнанням. Такий перехід потребує не лише матеріальних витрат, але й інвестування в розвиток персоналу, щоб забезпечити безперебійну та ефективну роботу нових систем охолодження з використанням CO<sub>2</sub>.

Діоксид вуглецю є екологічно чистим, безпечним та економічно вигідною альтернативою традиційним холодильним агентам. Перехід на CO<sub>2</sub> може допомогти Україні зменшити викиди парникових газів та захистити довкілля.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 4     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

## 1 Перспективи використання діоксиду вуглецю як холодильного агенту

Перехід від традиційних холодильних агентів до використання діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) у холодильній індустрії України набуває великої важливості та актуальності для підприємств і фахівців цієї галузі. Цей перехід підкреслюється зростанням цін на традиційні холодильні речовини, впровадженням суворих екологічних норм Європейського Союзу та розвитком відповідної інфраструктури та технологій для виробництва і застосування CO<sub>2</sub>.

Протягом останніх двадцяти років компанія «Danfoss» успішно розробила інноваційні рішення, які дозволяють супермаркетам та іншим користувачам холодильних систем з усього світу отримувати всі переваги використання діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) як надійного та екологічно чистого холодоагента в різних кліматичних умовах. CO<sub>2</sub> є природним холодоагентом, який підходить для комерційних та промислових систем, а також для магазинів будь-якого розміру та в будь-якому кліматі.

Холодильні системи супермаркетів можуть втрачати до 20% холодоагента у процесі експлуатації. Заміна речовин з високим коефіцієнтом глобального потепління (GWP) на CO<sub>2</sub> допомагає знизити операційні витрати на охолодження та сприяє позитивним змінам у кліматі.

Дослідження підтверджують, що компанії, які активно працюють над зменшенням своїх викидів в атмосферу, в середньому досягають більшого фінансового успіху порівняно з конкурентами. Це означає, що вони в змозі зберегти більше прибутку. Наприклад, за результатами досліджень, такі компанії можуть отримувати на 1 мільярд доларів більше прибутку. Це показує, що заходи, спрямовані на скорочення викидів, мають не лише екологічну, а й значну економічну вагу. Організації, які приділяють увагу ефективному управлінню викидами, можуть виявити себе більш конкурентоспроможними та стійкими в довгостроковій перспективі (рис. 1).

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 5     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

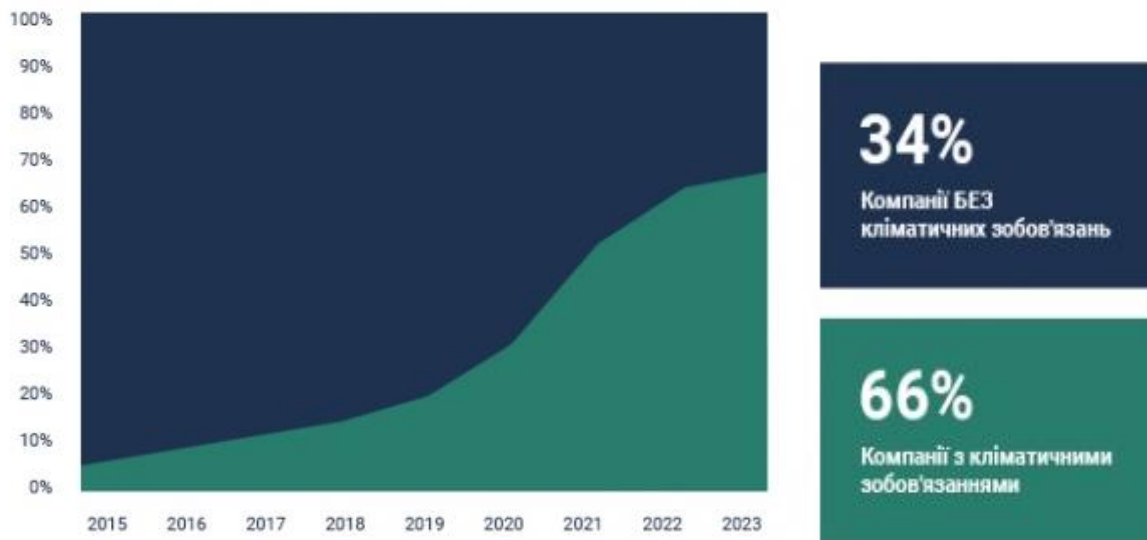


Рисунок 1 – Графік зростання кліматичних зобов’язань компаній Fortune Global 500

Систематичне та точне вимірювання викидів дозволяє компаніям встановлювати більш об’єктивні та реалістичні цілі щодо зменшення викидів та ефективно контролювати їх виконання. Це створює основу для оцінки ефективності різноманітних ініціатив і програм, спрямованих на зменшення викидів та збереження довкілля. Дані про викиди також допомагають компаніям кількісно оцінювати ризики, пов’язані з екологічними проблемами, що дозволяє їм розробляти більш точні та ефективні стратегії управління ризиками.

Що стосується якісної звітності, вона є важливим інструментом для формування ефективної корпоративної політики та прийняття стратегічних рішень у сфері сталого розвитку. Чітка та повна звітність дозволяє не лише ретельно оцінити екологічний вплив діяльності компанії, а й ідентифікувати ключові аспекти, на яких слід акцентувати у процесі зменшення викидів та удосконалення екологічної політики. Такий підхід допомагає компаніям виявити пріоритетні напрямки діяльності та ефективніше спрямувати свої зусилля на досягнення збалансованих екологічних та економічних цілей.

Протягом найближчих років очікується стійкий та поступовий зріст використання діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) в Україні з кількох ключових причин. По-перше, цей тренд пов'язаний з прийняттям Кігалійської поправки до Монреальського протоколу. Ця поправка передбачає поступове виведення з використання холодильних агентів з високим коефіцієнтом глобального потепління (GWP), таких як R134a, R404A та R410A. Хоча ці агенти не мають негативного впливу на озоновий шар, їхній високий GWP суттєво сприяє глобальному потеплінню. Такий контекст стимулює пошук екологічно безпечних альтернатив, і CO<sub>2</sub> є однією з найбільш привабливих опцій. Він відносно недорогий та доступний для виробництва в Україні, що робить його економічно вигідним і не залежним від імпорту.

Друга важлива причина полягає в розвитку інфраструктури та технологій, які підтримують використання CO<sub>2</sub> у холодильних системах. Це включає в себе як інвестиції в виробництво та технологічний розвиток, так і підготовку фахівців з монтажу та обслуговування таких систем. Широке застосування альтернативних холодильних агентів, включаючи CO<sub>2</sub>, свідчить про перехід до більш екологічно чистих та ефективних рішень у цій сфері.

Третій чинник, що сприяє переходу до використання CO<sub>2</sub>, полягає в різних обмеженнях та регуляціях, таких як Європейський Регламент щодо F-газів. Ці заходи спрямовані на зменшення викидів вуглецевих сполук та пом'якшення впливу на глобальне потепління. Внаслідок цього спостерігається зменшення використання холодильних агентів з високим GWP, що відкриває шлях для альтернатив, таких як CO<sub>2</sub>.

Для успішного впровадження CO<sub>2</sub> у холодильних системах необхідно врахувати не лише технічні аспекти, але й забезпечити належну підготовку та підтримку фахівців, а також створити стимули для підприємств щодо інвестування в ці екологічно чисті технології.

Перехід зі стандартних холодильних агентів на CO<sub>2</sub> вносить нові виклики, які потребують уваги. Одним із них є необхідність модернізації

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 7     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

існуючих холодильних систем для роботи з CO<sub>2</sub>. Це означає, що фахівці з монтажу та обслуговування холодильних систем повинні отримати підвищену кваліфікацію, щоб забезпечити безперебійну роботу таких систем з використанням CO<sub>2</sub>. Це включає у себе розуміння особливостей та вимог цього холодильного агента, а також вміння виконувати необхідні технічні налаштування та ремонти. Такий підвищений рівень кваліфікації є важливим для забезпечення безпеки та ефективності роботи холодильних систем з CO<sub>2</sub>.

CO<sub>2</sub> має чудові термодинамічні характеристики, високу об'ємну холодопродуктивність, меншу металоємність за рахунок зменшення діаметру трубок і розміру компресорів, має високу щільність та покращує ефективність теплообмінних апаратів, але при цьому має високі робочі тиски холодильного агента (при температурі +30 °C тиск становить 71 бар).

Перехід від фреонової системи до системи з використанням CO<sub>2</sub> як холодоагента допомагає знизити витрати енергії, особливо в теплих кліматичних зонах. Транскритичні системи з CO<sub>2</sub> є ефективним, простим та економічно вигідним рішенням, що може бути успішно впроваджене в будь-якому кліматі.

У найближчому десятиріччі перспективи використання CO<sub>2</sub> в Україні суттєво залежатимуть від темпів економічного зростання та інтеграції української економіки зі світовими ринками. Потенційний вступ до Європейського Союзу може мати значний вплив на цей процес. В умовах вступу до ЄС Україна може очікувати збільшення обсягів торгівлі та інвестицій, а також активний трансфер технологій та впровадження стандартів, що відповідають європейським нормам.

Цей процес, у свою чергу, може сприяти розвитку екологічних технологій та збільшенню використання екологічно чистих холодильних агентів, зокрема CO<sub>2</sub>. Розширення міжнародних економічних зв'язків може стимулювати попит на екологічно чисті рішення у всіх сферах господарства, включаючи холодильну техніку.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 8     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |



Успішне впровадження екологічно чистих технологій, в тому числі систем з використанням CO<sub>2</sub>, може залежати від ефективного впорядкування українського законодавства до європейських стандартів. Впровадження відповідних правових норм та стандартів сприятиме створенню сприятливого середовища для розвитку та використання екологічних технологій, що сприяє зеленому росту та збереженню довкілля.

Отже, впровадження систем холодильних установок на базі CO<sub>2</sub> може стати важливим напрямком для України в майбутньому, особливо за умови активного розвитку економіки та впровадження високих екологічних стандартів у відповідності до європейських норм.

У найближчі роки Україну очікує вплив різноманітних факторів, серед яких значне місце займає геополітична ситуація. Вона може вплинути на розвиток країни у різних напрямках, включаючи економіку, торгівлю та інвестиції.

Незважаючи на ці виклики, Україна має великий потенціал для розвитку нових галузей та інновацій. Один із таких напрямків - це сектор холодопостачання. У цьому контексті використання діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) як холодильного агента має велике значення для майбутнього України.

Використання CO<sub>2</sub> в холодильних системах відкриває нові можливості для підвищення ефективності, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та зниження викидів шкідливих речовин. Це може стати не лише стратегічним кроком у сфері збереження навколишнього середовища, але й сприяти створенню нових ринків та можливостей для розвитку української економіки.

Таким чином, CO<sub>2</sub> має потенціал стати важливим фактором для розвитку сучасних систем холодопостачання в Україні, що відповідає вимогам сталого розвитку та сприяє формуванню інноваційної економіки країни.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 9     |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

## 2 Розрахунок циклу транскритичної холодильної машини

Предметом розрахунку є система холодопостачання складського комплексу, що забезпечує необхідний температурний режим для зберігання продуктів харчування в холодильних камерах.

Таблиця 1 – Параметри зберігання продуктів

| № приміщення | Найменування зони   | Продукт   | Темп-ра в камері, °С |
|--------------|---|---|----------------------|
| 1            | Шоколад   | Шоколад, цукерки  | +12...+18            |
| 2            | Овочі та фрукти, що не виділяють етилен                           | Лимон 25%, мандарин 25%, Баклажан 25%, Огірок 25%             | +8...+12             |
| 3            | Овочі та фрукти, які виділяють етилен і чутливі до холоду         | Яблука 25%, Банани 25%, Диня 25%, Помідори 25%                | +8...+12             |
| 4            | Овочі та фрукти, які виділяють етилен.                            | Апельсини 25%, Персики 25%, Редис 25%, Сливи 25%              | +4...+8              |
| 5            | Коренеплоди   | Морква 50%, Буряк 50%   | +2...+6              |
| 6            | Молоко, молочні продукти, яйця, фасовані м'ясні та рибні продукти | Молоко 25%, яйця 25%, М'ясні продукти 25%, рибні продукти 25% | +2...+4              |
| 7            | Свіже м'ясо   | Яловичина 50%, курка 50%                                      | +2...+4              |
| 8            | Зона завантаження   | -   | +2...+4              |
| 9            | Зона вивантаження   | -   | +2...+4              |

Програма Coolselector ідеально підходить для роботи над моїм дипломним проектом [10].

Coolselector®2 — це вкрай важливе програмне забезпечення для інженерів, консультантів і проектувальників систем, які працюють у галузі з виробництва холодильного обладнання та обладнання для кондиціонування повітря. За допомогою Coolselector®2 можна легко оптимізувати енергоспоживання і підвищити ККД HVACR системи — потрібно лише провести розрахунки, базуючись на даних конкретних умов роботи, а потім вибрати найкращу комбінацію компонентів для системи, яка проектується.

Ця програма допомагає мені в побудові та розрахунку транскритичної холодильної системи.

Природні охолоджуючі речовини, такі як повітря, вода, вуглеводні, діоксид вуглецю та аміак, стають все важливішими в зв'язку зі зменшенням виробництва та використання речовин, що шкодять озоновому шару та призводять до парникового ефекту. Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>, R744) є одним з найбільш перспективних природних охолоджуючих речовин і може бути використаний у різних системах охолодження.

Транскритичні охолоджувальні системи з використанням CO<sub>2</sub> стали популярними в роздрібній торгівлі. Вони працюють за особливим циклом, де охолоджувальна речовина перебуває у стані надкритичної рідини, що дозволяє досягти високої ефективності теплообміну та знизити в'язкість.

Важливою відмінністю транскритичних систем є теплообмінник – газовий конденсатор, який працює при високому тиску та температурі. Для підтримки тиску у системі під час зупинки застосовуються додаткові системи охолодження та вивільнення CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Випарники транскритичних систем не вимагають особливо великих тисків, а розміри трубопроводів можуть бути зменшені за рахунок ефективності CO<sub>2</sub>. Важливою особливістю є можливість ефективно

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 11    |

використовувати рекуперацію тепла для отримання гарячої води та нагрівання теплоносія.

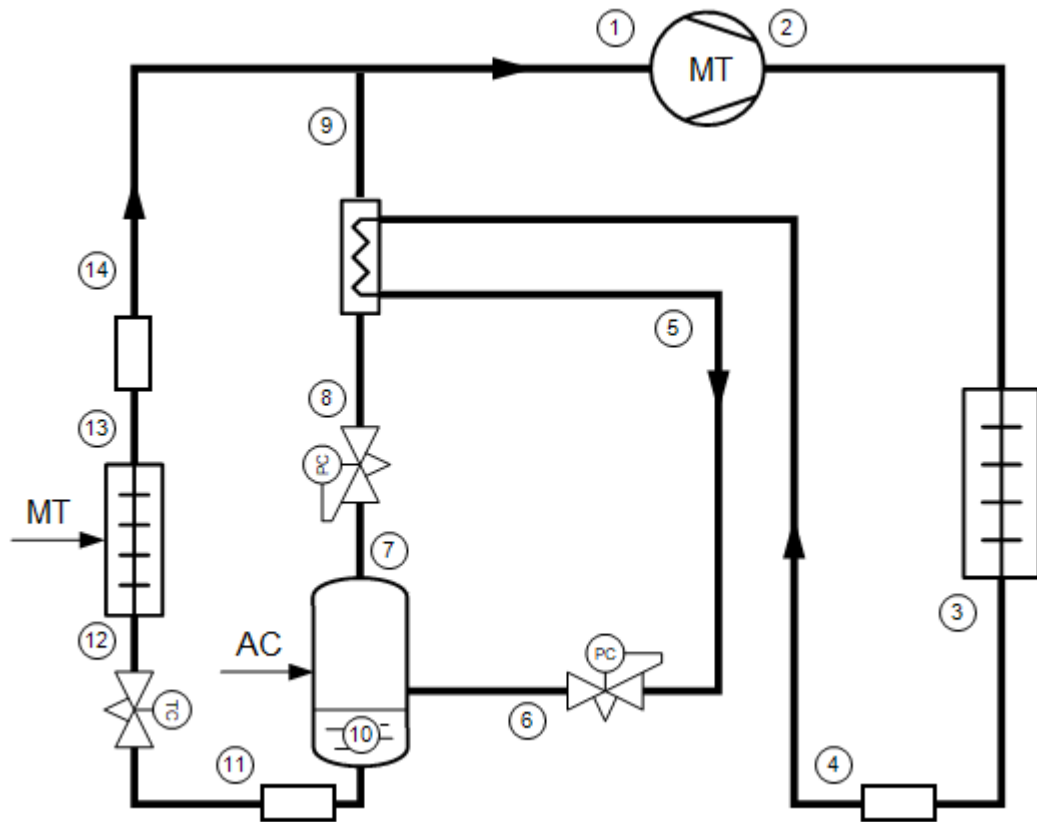


Рисунок 2 – Схема транскритичної холодильної машини

Таблиця 2 – Умовні позначення схеми

| Точка | Найменування  |
|-------|---|
| 1     | Всмоктування середньотемпературного (MT) компресора       |
| 2     | Нагнітання середньотемпературного (MT) компресора         |
| 3     | Вихід з газоохолоджувача                                  |
| 4     | Вихід з газоохолоджувача, додаткове охолодження           |
| 5     | Після РТО   |
| 6     | Вихід з клапана високого тиску                            |
| 7     | Насичений газ в ресивері                                  |
| 8     | Після байпасного газового клапана                         |
| 9     | Після РТО   |
| 10    | Насичена рідина ресивері                                  |
| 11    | Спільна рідинна лінія                                     |
| 12    | Після середньотемпературного (MT) розширювального клапана |
| 13    | Вихід середньотемпературного (MT) випарника               |
| 14    | Лінія всмоктування середньотемпературного (MT)            |

**Вихідні дані для розрахунку циклу:**

Холодопродуктивність: 855 кВт.

Холодильний агент: CO<sub>2</sub>.

Температура кипіння холодильного агента: -3°C.

Температура на виході газоохолоджувача: +35°C.

Температура в ресивері: +1°C.

Параметри у характерних робочих точках наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри у характерних робочих точках

| Точка | Температура | Тиск (абс.) | Густина              | Ентальпія | Ентропія    | Ступінь сухості пари |
|-------|-------------|-------------|----------------------|-----------|-------------|----------------------|
|       | [°C]        | [bar]       | [kg/m <sup>3</sup> ] | [kJ/kg]   | [kJ/(kg·K)] |                      |
| 1     | 0,8         | 32,16       | 85,05                | 438,8     | 1,885       | 1                    |
| 2     | 90,5        | 89,37       | 173,1                | 498,8     | 1,932       | 1                    |
| 3     | 35          | 89,37       | 657,5                | 299,9     | 1,319       | 1                    |
| 4     | 35          | 89,37       | 657,5                | 299,9     | 1,319       | 1                    |
| 5     | 35          | 89,37       | 657,5                | 299,9     | 1,319       | 1                    |
| 6     | 1           | 35,78       | 205,5                | 299,9     | 1,364       | 0,43                 |
| 7     | 1           | 35,78       | 100,8                | 430,3     | 1,84        | 1                    |
| 8     | -3          | 32,16       | 89,54                | 430,3     | 1,854       | 0,99                 |
| 9     | -3          | 32,16       | 89,54                | 430,3     | 1,854       | 0,99                 |
| 10    | 1           | 35,78       | 921,2                | 202,5     | 1,009       | 0                    |
| 11    | 1           | 35,78       | 921,2                | 202,5     | 1,009       | 0                    |
| 12    | -3          | 32,16       | 680                  | 202,5     | 1,01        | 0,04                 |
| 13    | 5           | 32,16       | 81,58                | 445,2     | 1,908       | 1                    |
| 14    | 5           | 32,16       | 81,58                | 445,2     | 1,908       | 1                    |

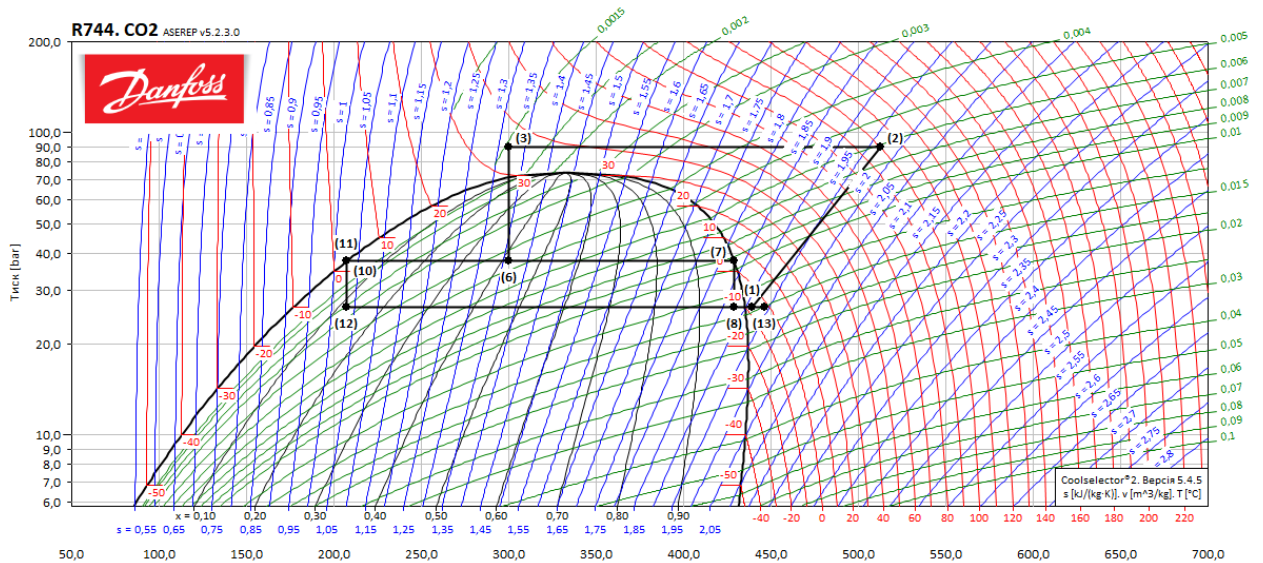


Рисунок 3 – Цикл транскритичної холодильної машини

### 3 Розрахунок газоохолоджувача транскритичної холодильної системи

Система попереднього охолодження hydroBLU™ в агрегатах Güntner використовує повітряний потік для охолодження рідини в теплообміннику. Вона спочатку використовує ефект випарного охолодження для охолодження втягнутого повітря, а потім застосовує цей ефект для охолодження самої рідини на другому етапі. Випаровування відбувається без потреби у додатковому джерелі тепла через зволожуючі подушки, які прикріплені до впускних отворів пристрою.

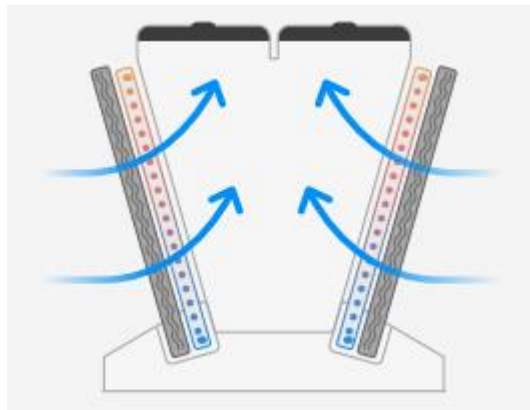


Рисунок 4 – Принцип функціонування установок Güntner з hydroBLU™

Фундаментальний принцип роботи агрегата полягає в можливості працювати як у сухому, так і у вологому режимі. Перемикання між цими режимами відбувається автоматично за допомогою системи керування. Процеси вологої операції, такі як охолодження повітря випарним методом і охолодження рідини за допомогою теплопередачі, відбуваються окремо від одного до одного як у часовому, так і у просторовому відношенні.

Використання блоку попереднього охолодження та випарного охолодження дозволяє знизити температуру рідини нижче температури навколишнього середовища, що забезпечує енергоефективну роботу агрегата. Теоретичною межею охолодження є температура, зафіксована за допомогою вологого термометра. Це дозволяє забезпечити низькі температури рідини

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 14    |

навіть при високих зовнішніх температурах, що сприяє ефективності всієї установки.

Протягом більшої частини робочого часу, можливої з жовтня по травень, агрегат може працювати в сухому режимі, коли випарне охолодження не потрібне. Тепло в такий час розсіюється в основному конвекцією до навколишнього повітря. Активація зволоження потрібна лише при зовнішніх температурах приблизно від 20 °С до 25 °С, залежно від конструкції, температур середовища, навантаження на установку та умов навколишнього середовища, таких як температура та вологість повітря.

Процес охолодження використовує зволожувальні прокладки, розташовані біля входу повітря в блок. Ці прокладки складаються з гофрованих листів целюлози, які просочені для захисту від розкладання і гниття. Вода розподіляється за допомогою розподільних шлангів, що знаходяться над зволожуючими прокладками. Внизу прокладок розташовані дренажні канали і патрубки для відведення не випарованої води. Ця вода не повторно використовується, а відводиться у стічні води без рециркуляції.

Зволоження відбувається за рахунок надлишку води, що допомагає уникнути утворення відкладень і забезпечує додатковий ефект очищення. Повітря, що втягується вентиляторами для охолодження рідини у теплообміннику, збирає випаровану воду, яка пройшла через зволожувальні прокладки.

Не досягається повне насичення повітря вологою. Енергія для зміни стану води береться з повітря, що спричиняє його адіабатичне охолодження перед потраплянням у теплообмінник. Вода не прямо охолоджує рідину.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 15    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

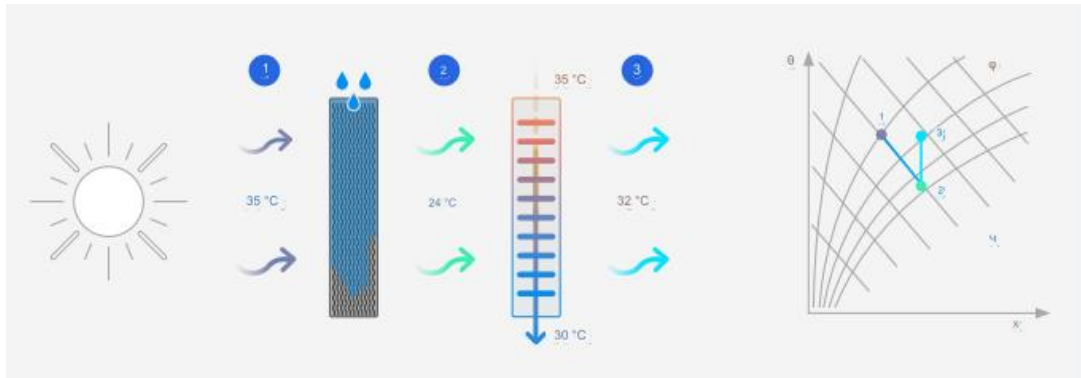


Рисунок 5 - Підпроцеси з установками Güntner, обладнаними hydroBLU™

Система автоматичного керування агрегатами з hydroBLU™ базується на принципі регулювання швидкості вентиляторів для компенсації невеликих коливань потужності. Якщо протягом певного часу потужність стає недостатньою (що призводить до підвищення температури рідини), активується зволоження або попереднє охолодження.

Під час зволоження, інтегрований контроль відкриває регулюючий клапан і направляє воду до зволожувальних прокладок. Менші коливання спочатку компенсуються регулюванням швидкості вентиляторів. Якщо цього недостатньо, регулятор налаштовує об'єм води для зволоження. Цей підхід дозволяє ефективно використовувати енергію та воду.

Для оптимізації споживання води система постійно вимірює температуру, вологість і об'єм води за допомогою інтегрованої системи контролю. На основі цих даних та заданої цільової температури рідини система керування розраховує оптимальний об'єм води. Після подачі розрахованого об'єму води на зволожувальні елементи, зволоження припиняється, а прокладки висихають завдяки безперервному потоку повітря. Зволоження відновлюється лише в разі, якщо без додаткового зволоження або попереднього охолодження повітря не можливо досягти бажаної температури охолодження.

Подушечки та система розподілу води для зволоження легко доступні для огляду та очищення. Знімні прокладки забезпечують вільний доступ

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 16    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |



повітря до теплообмінника, коли потрібно провести очищення, а також для забезпечення сухої роботи при низьких зовнішніх температурах.



Рисунок 6 – Газоохолоджувач Guntner для транскритичної холодильної системи V-Shape Compact із системою HydroPad

В роботі передбачено для охолодження газів R744 (CO<sub>2</sub>), що нагнітаються з холодильних компресорів, використання V-подібних газоохолоджувачів (газкулери) з повітряним охолодженням одного з провідних виробників теплообмінного обладнання в світі Guntner, Німеччина.

Вентилятори газоохолоджувачів оснащені високоефективними ЕС-двигунами, які дозволяють плавно регулювати обороти вентилятора, тим самим регулюючи продуктивність газоохолоджувача.

Газкулери оснащені системою адіабатичного охолодження вхідного повітря HydroPad, яка дозволяє при кліматичних параметрах Києва і області в автоматичному режимі забезпечити охолодження навколишнього повітря, що надходить в газоохолоджувач до температури +28°C, тим самим забезпечується температура виходу газу з газоохолоджувача +31°C.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 17    |

Системою адіабатичного охолодження вхідного повітря HydroPad складається з насосного блоку з клапанами, до якого подається водопровідна вода, і охолоджуючих панелей, які виконані у вигляді рамок з панелями у формі сот з целюлозного матеріалу та встановлюються на корпус газоохолоджувача. Таким чином, при підвищенні температури навколишнього повітря вище заданого значення, насос подає строго необхідну кількість води для крапельного зволоження панелей. Охолоджує повітря, засмоктується вентиляторами газоохолоджувача, проходячи через вологі панелі охолоджується до необхідної температури. У разі, коли робота адіабатичного охолодження не потрібно, то залишок води за сигналом контролера системи автоматично з труб зливається в дренаж. Виходячи з пристрою і принципу роботи системи адіабатичного охолодження HydroPad в ній немає накопичувальних ємностей, де б вода могла надовго затримуватися і в ній би могли розвиватися хвороботворні бактерії, а значить спеціальних заходів по боротьбі з бактерією Legionella виробник системи не передбачає.

Конструкції повітряних газоохолоджувачів спроектовані таким чином, щоб забезпечити безпечний легкий доступ до внутрішніх вузлів обладнання для їх очищення, ремонту або заміни.

Для керування швидкістю обертання вентиляторів, захисту двигунів вентиляторів заводом-виготовлювачем газоохолоджувачі поставляються з вбудованим блоком управління.

Газоохолоджувачі встановлюються на заздалегідь підготовленій конструкції (рамі).

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 18    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

## Методика розрахунку газоохолоджувача

Розрахунок проводиться за методиками [4-6].

1. Орієнтоване значення густини теплового потоку в конденсаторі повітряного охолодження  $q_{вн}$
2. Приймаємо діаметр труби, товщина стінки труби  $\delta_c$
3. Визначимо внутрішній діаметр труби:  $d_{вн} = d_n - 2\delta_c$
4. Приймаємо шахове розташування труб. Крок труб дорівнюватиме:  
 $s_1 = s_2 = 2 \cdot d_n$
5. Приймаємо стандартний крок  $s_1 = s_2$
6. Число рядів труб по ходу повітря приймаємо  $m$
7. Задаємо швидкість руху повітря в звуженому перерізі  $w_{суж}$
8. Необхідна витрата повітря за умовами входу в апарат:

$$V_1 = \frac{\dot{Q}}{(h_1 - h_2) \cdot v_1}$$

9. Ентальпія вологого повітря на вході в газоохолоджувач  $h_1$
10. Ентальпія вологого повітря на виході з газоохолоджувача  $h_2$
11. Питомий обсяг повітря за умовами входу в газоохолоджувач  $v_1$
12. «Живий переріз» апарату:

$$F_{жс} = \frac{V_1}{w_{суж}}$$

13. Площа теплообміну однієї секції:

$$F'_{вн} = F_{жс} \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}}{s_1 - d_n}$$

14. Кількість секцій апарату:

$$z = \frac{F_{жс}}{F'_{вн}}$$

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 19    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

15. Приймаємо  $z = 1$

16. Висота апарату:  $H = m \cdot s_1$

17. Сумарна довжина труб, що входять до апарату:

$$L = \frac{F_{жс}}{s_1 - d_n}$$

18. Довжина труби в апараті:

$$l = \frac{L}{m}$$

19. Довжина апарату в глибину:  $B = z \cdot s_2$

20. Гідродинамічні втрати повітря:

$$\Delta p = \zeta_0 \cdot C_z \cdot \frac{\bar{\rho} \cdot w_{суж}^2}{2}$$

### Розрахунок показників енергоефективності теплообмінного апарату

Визначаємо:

1. Компактність апарату:

$$K = \frac{F}{V_a}$$

2. Об'єм теплообмінного апарату:  $V_a = 1,3 \cdot L \cdot B \cdot H$

3. Металоємність апарату:

$$M = \frac{m_a}{F}$$

4. Визначимо об'єм труби:

$$V_{тр.} = \frac{\pi \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2)}{4} \cdot l_m$$

5. Визначимо масу апарату:

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 20    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

$$m_a = V_{mp} \cdot \rho_{медь} \cdot 1,3$$

6. Визначимо тепловий ККД газоохолоджувача: де - теплоємність вологого повітря

$$\eta_k = \frac{Q_k}{\dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_k - t_{w1})}$$

7. Ексергетичний ККД конденсатора:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_F} \cdot 100\%$$

8. Визначимо зміну ексергії для фреону:

$$\Delta e_{12} = e_2 - e_1 = h_2 - h_2' - T_{o.c.} \cdot (s_2 - s_2')$$

9. Визначимо зміну ексергії для повітря:

$$\Delta e_{12} = e_2 - e_1 = c_p \cdot (t_2 - t_1) - T_{o.c.} \cdot \left[ c_p \cdot \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) - R \cdot \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \right]$$

10. Визначимо повний потік ексергії для фреону:

$$\Delta E_p = m \cdot \Delta e_{12}$$

11. Визначимо повний потік ексергії для повітря:

$$\Delta E_F = m \cdot \Delta e_{12}$$

### Розрахунок та побудова характеристик проектованого апарату

Визначаємо температурний напір:

$$\theta_m^K = \frac{\Delta t_w}{\ln \left( \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}} \right)} \cdot \varepsilon$$

Для побудови характеристик апарату задаємося, що температура повітря на вході  $t_{w1} = (15; 25; 35)$ . Також задаємося рекомендаціями величиною зміни температури повітря  $\Delta t_w = (4; 5; 6)$ ;

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 21    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

Характеристика газоохолоджувача є залежністю виду:

$$Q = f(t_k, t_{w1})$$

Теплове навантаження на газоохолоджувач при різних величинах різниці температури:

$$Q_K^1 = m_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w^1$$

$$Q_K^2 = m_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w^2$$

$$Q_K^3 = m_w \cdot c_w \cdot \Delta t_w^3$$

Визначимо щільність теплового потоку за різних величин різниці температури повітря:

$$q_{F_{\text{вн}}}^1 = \frac{Q_K^1}{F_{\text{вн}}}$$

$$q_{F_{\text{вн}}}^2 = \frac{Q_K^2}{F_{\text{вн}}}$$

$$q_{F_{\text{вн}}}^3 = \frac{Q_K^3}{F_{\text{вн}}}$$

Визначимо температурні напори:

З виразу  $q_{\text{вн}} = 186,61 \cdot \theta_m^{2,06}$  висловимо температурний натиск

$$\theta_m^i = \left( \frac{q_{\text{вн}}^i}{186,61} \right)^{\frac{1}{2,06}}$$

$$\theta_m^1 = \left( \frac{q_{\text{вн}}^1}{186,61} \right)^{\frac{1}{2,06}}$$

$$\theta_m^2 = \left( \frac{q_{\text{вн}}^2}{186,61} \right)^{\frac{1}{2,06}}$$

$$\theta_m^3 = \left( \frac{q_{\text{вн}}^3}{186,61} \right)^{\frac{1}{2,06}}$$

Визначимо температури конденсації холодильного агента:

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 22    |

$$t_k^i = t_{w1}^i - \frac{\Delta t_w^i}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^i}{\theta_m^i}\right)}$$

При  $t_{w1} = 15^\circ\text{C}$

$$t_k^1 = t_{w1}^1 - \frac{\Delta t_w^1}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^1}{\theta_m^1}\right)}$$

$$t_k^2 = t_{w1}^2 - \frac{\Delta t_w^2}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^2}{\theta_m^2}\right)}$$

$$t_k^3 = t_{w1}^3 - \frac{\Delta t_w^3}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^3}{\theta_m^3}\right)}$$

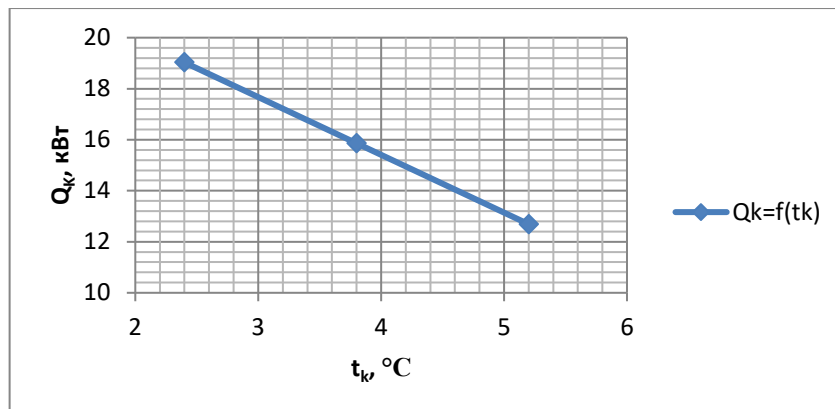


Рисунок 7 – Теплопродуктивність газоохолоджувача при температурі повітря на вході  $15^\circ\text{C}$

При  $t_{w1} = 25^\circ\text{C}$

$$t_k^1 = t_{w1}^1 - \frac{\Delta t_w^1}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^1}{\theta_m^1}\right)}$$

$$t_k^2 = t_{w1}^2 - \frac{\Delta t_w^2}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^2}{\theta_m^2}\right)} =$$

$$t_k^3 = t_{w1}^3 - \frac{\Delta t_w^3}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^3}{\theta_m^3}\right)}$$

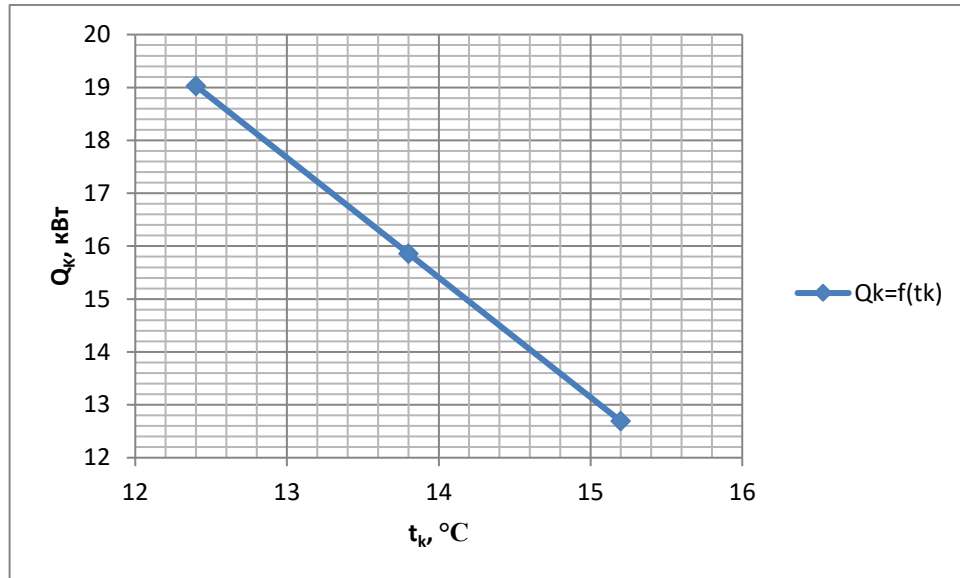


Рисунок 8 – Теплопродуктивність газоохолоджувача при температурі повітря на вході 25°C

При  $t_{w1} = 35^\circ\text{C}$

$$t_k^1 = t_{w1}^1 - \frac{\Delta t_w^1}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^1}{\theta_m^1}\right)}$$

$$t_k^2 = t_{w1}^2 - \frac{\Delta t_w^2}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^2}{\theta_m^2}\right)} =$$

$$t_k^3 = t_{w1}^3 - \frac{\Delta t_w^3}{1 - 1/\exp\left(\frac{\Delta t_w^3}{\theta_m^3}\right)}$$

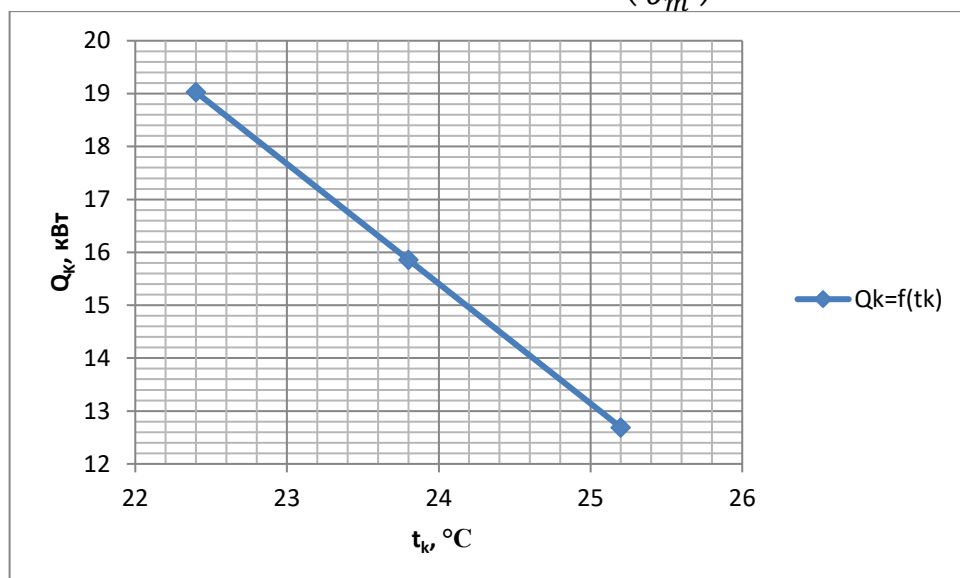


Рисунок 9 – Теплопродуктивність газоохолоджувача при температурі повітря на вході 35°C



В таблиці 4 зображені результати розрахунку зроблені за методикою зазначеною вище.

Таблиця 4 – Результати розрахунку газоохолоджувача транскритичної холодильної системи

|  |                             |                                    |                                 |
|--|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Потужність</b>                                    | 1329,1 Kw                   | <b>Середовище</b>                  | CO <sub>2</sub> (R744) 77.0 Bar |
| <b>Резерв Поверхні</b>                               | -0.8 %                      | <b>Вхід</b>                        | 82.2 Oc                         |
| <b>Об'ємна Витрата Повітря</b>                       | 392994 M <sup>2</sup> /H    | <b>Вихід</b>                       | 31.0 Oc                         |
| <b>Швидкість Повітря</b>                             | 2.0 M/S                     | -                                  | -                               |
| <b>Повітря На Вході</b>                              | 34.6 Oc/<br>42.3%           | <b>Втрата Тиску</b>                | 1.06 Bar                        |
| <b>Висота Над Рівнем Моря</b>                        | 108 M                       | <b>Об'ємна Витрата</b>             | 156.70 M <sup>3</sup> /H        |
| <b>Повітря На Виході</b>                             | 39.2 Oc                     | -                                  | -                               |
| <b>До Теплопередачі</b>                              | 14.24 W/(M <sup>2</sup> *K) | <b>Масова Витрата</b>              | 2354 Kg/H                       |
| <b>Вентилятори (Ec)</b>                              |                             | <b>Рівень Звукового Тиску</b>      | 57 Db(A)                        |
| <b>Технічні Характеристики Вентиляційного Вузла:</b> |                             | <b>На Відстані</b>                 | 10.0 M                          |
| <b>Швидкість Оберту</b>                              | 785                         | <b>Рівень Звукової Потужності</b>  | 90 Db(A)                        |
| <b>Потужність</b>                                    | 1.45 Kw                     | <b>Epr</b>                         | Compliant(3)                    |
| <b>Витрати Струму</b>                                | 1.90 A(4)                   | -                                  | -                               |
| <b>Загальне Споживання Електро Енергії</b>           | 24.53 Kw                    | <b>Клас Енерго Ефективності</b>    | -                               |
| <b>Корпус</b>  | Оцинкова Сталь<br>Ral7035   | <b>Труби:</b>                      | High-Strenght<br>Copper         |
| <b>Площа Поверхні</b>                                | 7021.5 M <sup>2</sup>       | <b>Оребрення</b>                   | Алюміній                        |
| <b>Об'єм Труб</b>                                    | 440.9                       | <b>Підключення(На Один Апарат)</b> | -                               |
| <b>Крок Обернення</b>                                | 2.40 Mm                     | <b>Вхід</b>                        | 6 X 54.0 * 3.55 Mm              |
| <b>Вага(Порожній)</b>                                | 6884 Kg                     | <b>Вихід</b>                       | 6 X 54.0 * 3.55 Mm              |
| <b>Максимально Робочий Тиск</b>                      | 120.0 Bar                   | <b>Ped Classification</b>          | Категорія L,Module<br>A         |
| <b>Розміри</b>                                       | -                           | -                                  | -                               |
| <b>Довжина</b>                                       | 11709 Mm                    | <b>Коллектор На Вихід</b>          | 6 X 60.3 * 5.00 Mm              |
| <b>Ширина</b>  | 2672 Mm                     | <b>Коллектор На Вхід</b>           | 6 X 60.3 * 5.00 Mm              |
| <b>Висота</b>  | 2850 Mm                     | <b>Кількість Контурів</b>          | 6 N                             |
| <b>Кількість Ніжок</b>                               | 8                           | <b>Розподільники</b>               | 6 * 24                          |

#### 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Монтажні роботи по установці і підключенню до холодильної системи холодильного обладнання, вузлів і елементів проводиться у відповідності з діючими нормативами, а також монтажними інструкціями заводів-виробників обладнання. Монтаж трубопроводів повинен здійснюватися кваліфікованими фахівцями відповідно до вимог діючих нормативних документів [7-9]:

- ДБН А.2.2-3:2014 "Склад та зміст проектної документації на будівництво";
- СНіП 2.11.02-87 "Холодильники. Норми проектування";
- СНіП 3.05.05-84 "Технологічне обладнання та трубопроводи";
- ДБН В.2.6-31-2016 "Теплова ізоляція будівель";
- ДСТУ-Н-Б-В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія";
- ДБН В. 2.2-9-2009 "Громадські будівлі та споруди. Основні положення";
- ДБН В.1.2-9-2008 "Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації";
- ДБН В.2.2-23:2009 "Будинки і споруди. Підприємства торгівлі";
- ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування";
- ВНТП 03-86 "Відомчі норми технологічного проектування розподільних холодильників";
- ДБН В.1.1-7-2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва";
- НАПБ А.01.001-2014 "Правила пожежної безпеки в Україні";
- НПАОП 0.00-1.73-14 "Правила охорони праці та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів";
- ДБН В.2.5-75 2013 "Каналізація. Основні положення";
- ДБН В.2.5-64 2012 "Внутрішній водопровід і каналізація";
- ДСТУ-Н Б В.2.5-40 2009 "Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб";

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 26    |

- ДСТУ EN 378-4:2014 (EN 378-4:2008+A1:2012, IDT). Холодильні установки та теплові насоси. Безпечність та екологічні вимоги. Частина 4. Експлуатація, технічне обслуговування, ремонт і поновлення.

Монтажні роботи по установці і підключенню до холодильної системи холодильного обладнання, вузлів і елементів проводяться у відповідності з діючими нормативами, а також монтажними інструкціями заводів-виробників обладнання.

Монтаж трубопроводів повинен здійснюватися кваліфікованими фахівцями відповідно до вимог діючих нормативних документів. Для забезпечення безпечної експлуатації та ремонтпридатності слід дотримуватися наступних рекомендацій:

- трубопроводи холодильної системи при монтажі повинні бути забезпечені нормативними ухилами, які вказуються на монтажних гідравлічних схемах;

- всі зварні / паяні шви трубопроводів і фітингів повинні бути у видимому доступі і не розташовуватися в місцях проходу трубопровідних магістралей через стіни і перекриття;

- монтаж трубопроводів через стіни і перекриття здійснюється через гільзи з негорючого матеріалу. Простір між гільзою і поверхнею трубопроводу герметизується негорючим ущільнювачем;

- запірна і лінійна арматура трубопровідної системи повинна розташовуватися у видимій доступності;

- після завершення монтажу трубопроводи повинні піддатися гідравлічним випробуванням на міцність і щільність зварних/паяних з'єднань. Результати випробувань фіксуються у відповідних актах;

- після успішних гідравлічних випробувань трубопроводи повинні бути покриті теплоізоляцією відповідної товщини, зазначеної в монтажних гідравлічних схемах.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 27    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

В проєкті має бути передбачено, що трубопроводи від кожного повітроохолоджувача до основної траси будуть змонтовані з мідної труби К-65 виробника Wieland (Німеччина), виробленої для роботи в холодильних системах CO<sub>2</sub> з максимальним тиском до 120 Бар.

Мідні фітинги, що використовуються для монтажу мідної труби, також призначені для монтажу трубопроводів, що працюють під високими тисками. Виробник мідних фітингів Sanha (Німеччина).

Основні гілки магістралей від зон охолодження до холодильних агрегатів, та від холодильних агрегатів до газоохолоджувачів необхідно виконати з нержавіючої суцільнотягнутої труби марки 12X18Н10Т ГОСТ 9941-81.

Фітинги для монтажу холодильних магістралей з нержавіючої труби повинні бути безшовними.

Для монтажу трубопроводів системи гліколевої відтайки використовуються поліпропіленові труби і фітинги виробника Banninger (Німеччина), що витримують максимальний тиск 20 Бар.

Всі трубопроводи повинні бути ізольовані каучуковою теплоізоляцією NMC (Бельгія).

Для зливу конденсату при відтаванні інею з теплообмінної поверхні повітроохолоджувачів необхідно від кожного повітроохолоджувача змонтувати дренажний трубопровід з каналізаційних поліетиленових труб і встановити сільфон. Дренажні трубопроводи підключаються до заздалегідь підготовлених виводів каналізації. У низькотемпературних зонах дренажний трубопровід від повітроохолоджувача до місця проходу трубопроводу через стіну морозильної камери повинен бути утеплений і оснащений ТЕНОм підігріву.

Електромонтажні роботи з підведення електроживлення до обладнання та вузлів здійснюється фахівцями відповідної кваліфікації.

Для монтажу електропроводки від розподільного щита в машинному відділенні до щитів управління споживачами використовується кабель ВВГ

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 28    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |

НГ. Прокладка кабелю здійснюється в гофрованій трубі по електричному лотку уздовж холодильних магістралей. Від щитів управління до повітроохолоджувачів і датчиків прокладається кабель ПВС в гофрованій трубі і кабельному лотку.

Заправка системи здійснюється підготовленим холодоагентом CO<sub>2</sub> з вмістом вологи не більше 5%.

Експлуатацію холодильної системи повинні виконувати робітники необхідної кваліфікації, які пройшли навчання та інструктаж.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     | 29    |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мелейчук С.С. Монтаж, експлуатація, обслуговування холодильних і теплонасосних установок : навчальний посібник / С.С. Мелейчук, В.М.Арсеньєв. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 183 с.
2. Арсенъев, В.М. Теплонасосна технологія енергозбереження : навч. посіб. / В. М. Арсенъев. — Суми : СумДУ, 2011. — 283 с.
3. Арсенъев В. М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник / В. М. Арсенъев, С. С. Мелейчук. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 364 с.
4. Хмельнюк, М. Г. Холодильні установки спеціального призначення : підручник / Хмельнюк Михайло Георгійович, Подмазко Олександр Степанович ; Одес. нац. акад. харч. технологій. - Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. - 488 с.
5. Лозовський А.П. Основи холодильних технологій : навчальний посібник / А.П. Лозовський, О.М. Іванов. – Суми : Університетська книга, 2015. – 149 с.
6. Морозюк Л.І., Соколовська-Єфименко В.В, Гайдук С.В., Грудка Б.Г. Холодильні машини спеціального призначення: посібник до практичних занять та самостійної роботи. – Одеська національна академія харчових технологій, 2018 – 45 с.
7. ДСТУ EN ІЕС 61010-2-011:2021 Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 2-011. Додаткові вимоги до холодильного устаткування, 2021.
8. ДСТУ ISO 817:2012 Холодоагенти. Система позначання, 2012.
9. ДСТУ EN 13313:2009 Установки холодильні та теплові насоси. Компетентність персоналу, 2017.
10. Сайт компанії Данфосс <https://www.danfoss.com/uk-ua/>.

|     |      |          |       |      |                     |       |
|-----|------|----------|-------|------|---------------------|-------|
|     |      |          |       |      | Б142 04.00.00.00 ПЗ | Аркуш |
|     |      |          |       |      |                     | 30    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                     |       |