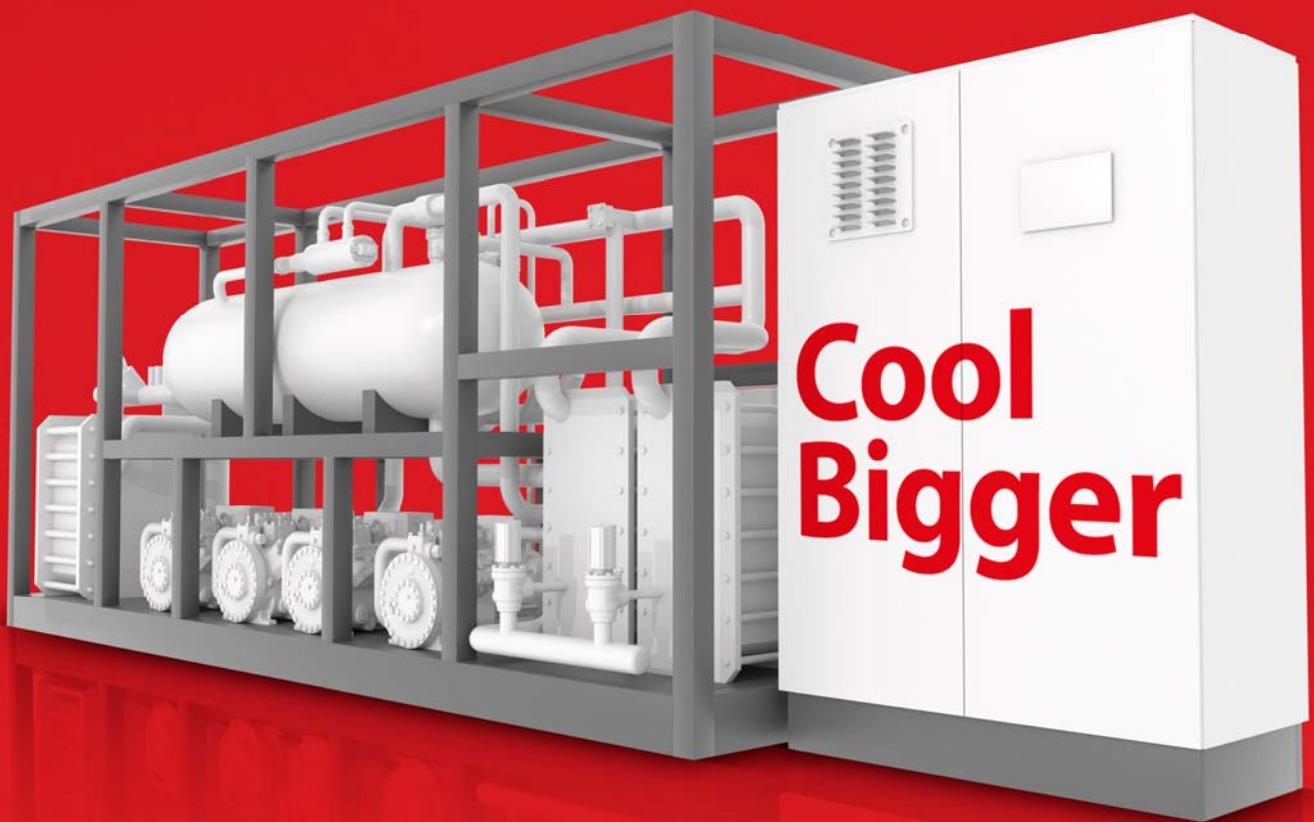


Проектування великих **промислових** **транскритичних CO₂** систем з насосною циркуляцією холодоагенту

Документ засновано на попередньому дослідженні IP.com. (Номер IP.com: IPCOM000271079D)

У цьому документі описано як транскритичну CO₂-систему, яка складається з однієї або декількох транскритичних CO₂ компресорних холодильних установок, можна об'єднати із субкритичними CO₂ системами з насосною циркуляцією холодоагенту або декількома системами з насосною циркуляцією та з безпосереднім випаровуванням холодоагенту DX. Транскритичні CO₂ компресорні холодильні установки та системи з насосною циркуляцією мають бути підключені одна до іншої (через клапани / труби), а також мати спільне управління (окреме управління суб/транскритичними компресорними холодильними установками та загальне керування системою в цілому).



FORWARD
CO₂ REFRIGERATION SOLUTIONS
NATURALLY

Зміст

Умовні позначення	3
Введення в промислове охолодження та транскритичні CO ₂ системи	4
Опис бустерної транскритичної CO ₂ системи і ключові елементи	6
Експлуатація транскритичної CO ₂ системи	8
Системи CO ₂ з насосною циркуляцією, керування насосом / резервуаром	10
Управління холодильною камерою CO ₂	11
Регулювання тиску подачі гарячого газу	12
Управління відокремленням та поверненням мастила в транскритичних системах	20

Умовні позначення, використані в цьому документі

MT:

Середньотемпературний рівень – відноситься для температури подачі рідини в діапазоні від -5 до -20 °С.

LT:

Низькотемпературний рівень – відноситься для температури подачі рідини нижче -20 °С.

IT:

Проміжний температурний рівень – відноситься для температури подачі рідини в циркуляційний ресивер в діапазоні від +8 до -5 °С.

Ці температури можуть бути нижчими, якщо мова йде лише про системи LT.

Зауважте, що ці температурні рівні є орієнтовними і можуть відрізнятися.

VFD:

Частотно-регульований привід.

ICS + CVP-H. ICS – це регулюючий клапан Danfoss, який управляється за допомогою пілота / пілотів.

Основний клапан може виконувати різні функції, залежно від встановленого пілотного клапана.

CVP-H – це пілотний клапан для регулювання тиску на вході. У разі, якщо тиск на вході ICS нижче тиску уставки клапана CVP-H, основний клапан ICS залишається закритим. Якщо вхідний тиск ICS вище, ніж налаштування клапана CVP-H, клапан ICS відкривається.

ICF + ICFD:

Клапан ICFD від Danfoss використовується для контролю рівня рідини в якості окремого модуля для клапанної станції ICF. ICFD працює як поплавковий клапан і встановлюється на дренажній лінії для зливу рідкого холодоагенту. Він забезпечує повернення до циркуляційного ресивера майже повністю конденсованого холодоагенту в процесі розморожування і лише мінімальну кількість перепускного газу. Що в свою чергу знижує енергоспоживання холодильної системи.

Розділ 1

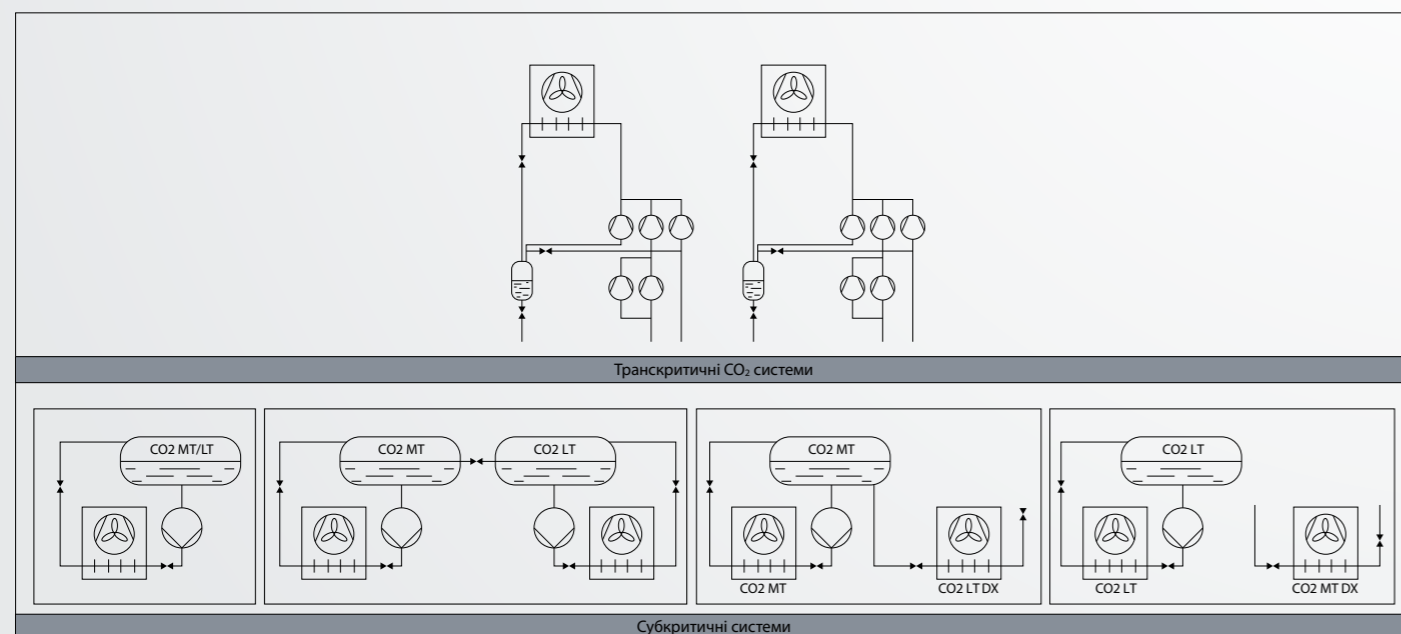
Введення в промислове охолодження та транскритичні CO₂ системи

Сегмент промислового холодильного обладнання чітко не визначений, але в порівнянні з комерційними холодильними системами безпосереднього випарування існують деякі істотні відмінності. Такі фактори, як продуктивність, термін експлуатації, надійність, довговічність, ефективність, безпека та зручність обслуговування, створюють різні очікування.

Транскритичні системи в застосуванні

Добре відомі системи з насосною циркуляцією, що використовуються на установках NH₃ і NH₃/CO₂, можуть бути ефективно застосовані до транскритичних CO₂ систем. Частково це пов'язано з розробкою та вдосконаленням транскритичних CO₂ систем в останні роки і появою більших компресорів CO₂, які відкрили двері для більших промислових транскритичних CO₂ систем. Врахування цих факторів, разом з використанням насосних систем циркуляції CO₂, може задовольнити промислові вимоги в ситуаціях, коли аміак недоцільний або заборонений до використання.

Мал. 1.1 Принципові схеми транскритичної CO₂ системи з насосною циркуляцією та безпосереднього випарування DX



Кілька переваг систем з насосною циркуляцією:

- Може безпечно і надійно справлятися з високими піковими навантаженнями завдяки двофазному стану та відділенню рідини.
- Додаткова подача рідкого холодоагенту забезпечує оптимальне заповнення внутрішнього об'єму випарника і таким чином дозволяє оптимально використовувати площу поверхні теплообміну, що призводить до підвищення ефективності.
- Додаткова подача рідкого холодоагенту також підвищує коефіцієнт теплопередачі випарника.
- Просте управління випарником завдяки відсутньому перегріву.
- Відсутність перегріву означає меншу різницю між температурою випаровування та температурою охолоджуючого середовища. У міру підвищення температури випаровування ефективність системи буде підвищуватися.
- Дуже часто спеціалізовані випарники не можуть бути використані в режимі безпосереднього випаровування DX, в такому разі застосовується насосна подача холодоагенту.
- Розморожування гарячим газом – найбільш ефективний і енергозберігаючий метод. З насосною циркуляцією – реалізувати його відносно просто, оскільки конденсований холодоагент може бути легко і безпечно повернуто в циркуляційний ресивер CO₂. А при використанні системи з контролем рівня рідини (наприклад, Danfoss ICFD) ефективність розморожування навіть підвищується.
- Однак важливо зазначити, що капітальні затрати, пов'язані з впровадженням такої системи, можуть бути вищими в порівнянні до системи DX. Також необхідно забезпечити повернення мастила з циркуляційних ресиверів CO₂ назад до системи. Крім того, необхідна ефективна координація між системою насосної циркуляції і транскритичними компресорними центральними.
- У цьому документі детально описується регулювання тиску подачі гарячого газу для розморожування, а також управління системи повернення мастила. Крім того, проектні рішення для транскритичних CO₂ систем, представлені в цьому документі, зосереджені на типових стандартах і вимогах промислового холодильного обладнання.

Технічні міркування

- Транскритичні компресорні холодильні установки, описані в цьому документі, можна розглядати або як готові, автономні, стандартні (модульні) вироби, або як спеціалізовані вироби, виготовлені на замовлення в залежності від застосування / потреби.
- Ці системи можуть працювати при одному, двох або більше температурних рівнях.
- У цьому документі розглядаються два температурних рівнях, для кожного з яких виділені окремі компресорні групи. Ці рівні температури називаються середньотемпературними MT, низькотемпературними LT і проміжними IT.
- Системи можуть мати лише LT, лише MT, обидва або більше температурних рівнів. Принцип роботи системи залишається однаковим.
- Для видалення надлишкового газу з лінійного ресивера, холодильні установки можуть комплектуватися компресорами проміжної температури (IT) (також відомі як паралельні компресори), які в свою чергу підвищують ефективність системи. Однак для функціонування системи їх встановлення не є суворо обов'язковим.
- Ми розглянемо транскритичні компресорні установки як «чорні ящики» з власною системою управління.
- Системи з насосною циркуляцією CO₂ широко визнані і зарекомендували себе як перевірена технологія, яка широко використовується в промисловому охолодженні. Ці системи часто використовуються в каскадних схемах, де NH₃ служить в якості основного холодоагенту, хоча можуть використовуватися і інші холодоагенти. Принципи, що лежать в основі систем з насосною циркуляцією, аналогічні тим, які використовуються в системах NH₃, що робить їх зрозумілими і широко застосовуваними.

Транскритичні системи CO₂ з насосною циркуляцією

Ключові елементи і конструкція

В даному розділі представлена наочна ілюстрація транскритичної CO₂ системи з насосною циркуляцією. З розвитком появи великих компресорів для транскритичних CO₂ систем можна домогтися значної продуктивності за допомогою однієї компресорної холодильної установки (див. Мал. 2.1, Холодильна установка 1). Однак можливо спроектувати систему з декількома паралельними установками (див. Мал. 2.1, Холодильна установка n).

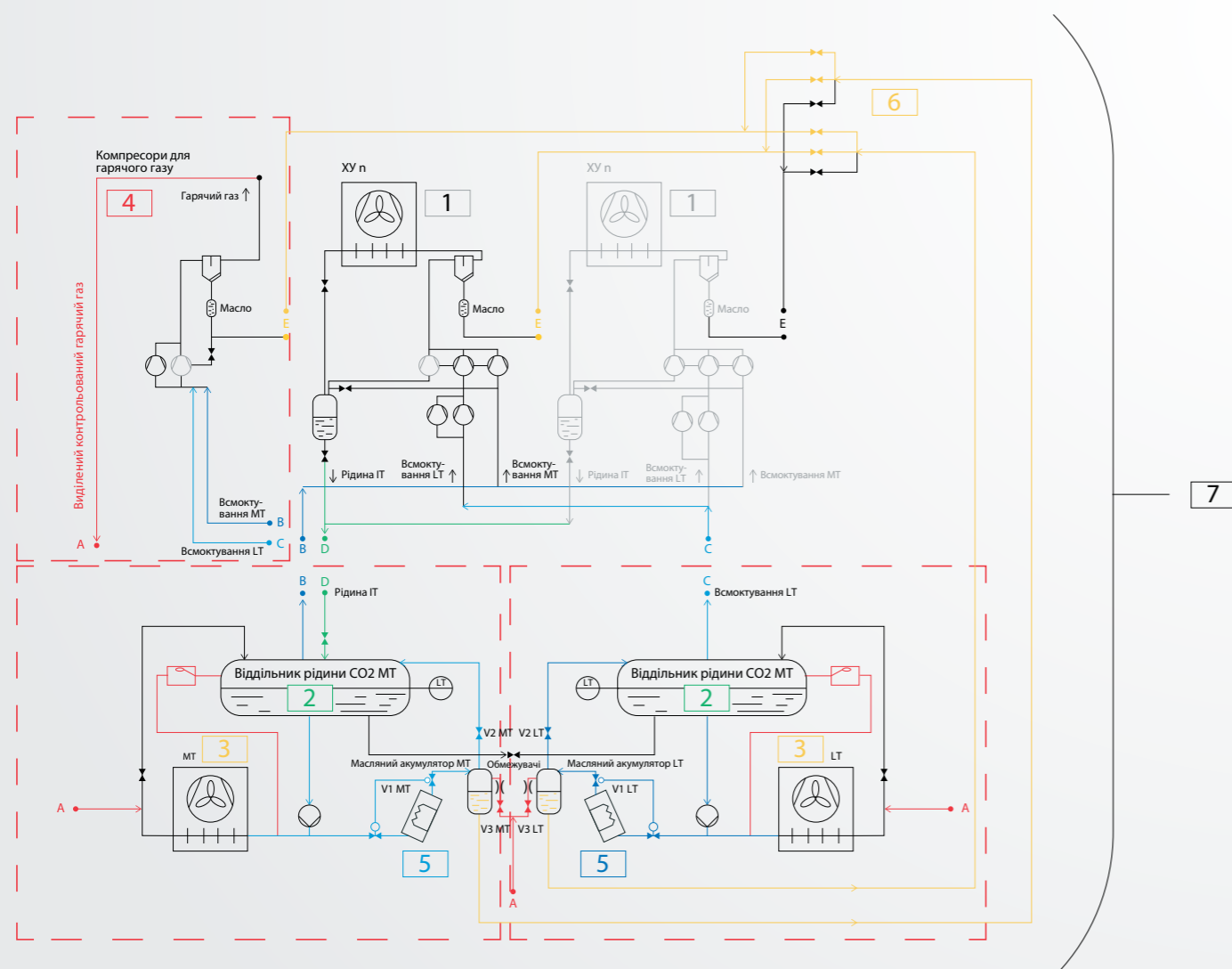
У цьому прикладі ми зосередилися на одній компресорній холодильній установці, яка включає в себе управління транскритичною холодильною централлю, віддільниками рідини LT та MT, холодильною камерою, компонентами для відділення, накопичення та повернення мастила, розморожування гарячим газом і координацію роботи холодильної системи загалом. Більш того, варто відзначити, що кількість рівнів температури не обмежується тільки MT і LT.

Ключові елементи системи:

1. Управління транскритичною холодильною компресорною установкою CO₂, в тому числі з рекуперацією тепла, наприклад, здійснюється за допомогою контролера Danfoss AK-PC 782A/B
2. Управління циркуляційним ресивером CO₂, включаючи контроль рівня рідини та роботи насосів
3. Управління холодильною камерою (наприклад, за допомогою контролера Danfoss EKE 400), в тому числі для систем безпосереднього випаровування DX, з випарниками затопленого типу та різними методами для розморожування випарника
4. Спеціальний регулятор тиску подачі гарячого газу
5. Система для відділення та накопичення мастила із циркуляційного ресивера
6. Система повернення і розподілу мастила до компресорів холодильної установки
7. Координація роботи холодильної системи загалом

У наступних розділах будуть дані докладні описи найважливіших елементів холодильної системи з особливим акцентом на розморожування гарячим газом з регулюванням по тиску та управління системою відділення та повернення мастила.

Мал. 2.1 Принципова схема промислової транскритичної CO₂ системи з насосною циркуляцією



Експлуатація транскритичної CO₂ системи

Контролери станції відіграють вирішальну роль в управлінні холодильної системи для забезпечення оптимальної ефективності при мінімальній продуктивності. Наш контролер станції АК-РС 782А/В розроблений спеціально для виконання багатьох операцій і функцій в бустерній транскритичній системі. Це універсальне і надійне рішення, яке служить центральним блоком в управлінні вашої компресорної холодильної установки.

Повний комплект контролера станції

Danfoss АК-РС 782А/В – це комплексний регулювальний блок для регулювання продуктивності компресорів (MT і LT) і вентиляторів газоохолоджувача в бустерних транскритичних системах з паралельними компресорами. Кожна компресорна станція оснащена одним контролером АК-РС 782А/В. Контролер здійснює функції управління системи відділення та повернення мастила, рекуперації тепла і регулювання тиску газу CO₂.

На додачу до управління продуктивністю, контролер можуть подавати сигнали іншим контролерам щодо умов експлуатації, таких як примусове закриття розширювальних клапанів, аварійні сигнали та повідомлення.

Характеристики Danfoss АК-РС 782А/В:

- Регулювання продуктивністю до 10 компресорів на лінії MT та до 8 компресорів на IT лінії
- Регулювання продуктивністю до 4 компресорів на LT лінії
- До 3 розвантажувальних пристроїв для кожного компресора
- Управління мастиловіддільником та ресивером мастила
- Регулювання швидкості 1-го або 2-ох компресорів для кожної групи
- Підключення до 6 входів для кожного компресора

Однак основна функція контролера полягає в управлінні роботи компресорів і газоохолоджувача для забезпечення оптимального енергоспоживання при різних значеннях тиску. Датчики тиску подають сигнали для управління тиском на обох лініях всмоктування та тиском в газоохолоджувачі. Регулювання продуктивності здійснюється на основі значення тиску всмоктування P₀.

Сигнал P₀ для паралельного компресора подається датчиком тиску P_{rec} на ресивері.

- Можливість обмеження потужності для мінімізації пікових значень споживання
- Якщо компресор не запускається, сигнали можуть бути передані на інші контролери для закриття електронних розширювальних клапанів
- Впорскування рідини до всмоктувального трубопроводу при досягненні високої температури нагнітання
- Контроль безпеки при високих тиску / температурі нагнітання / низькому тиску
- Регулювання продуктивності до 8 вентиляторів

- Плаваюча температура газу на виході з газоохолоджувача по відношенню температури зовнішнього повітря
- Функція рекуперації тепла
- Управління газоохолоджувачем CO₂ і лінійним ресивером
- Регулювання ежектора: високого тиску (HP) / низького тиску (LP) / рідинного (LE)
- Контроль безпеки роботи вентиляторів
- Аварійні сигнали можуть передаватися через мережу передачі даних
- Аварійні сигнали відображаються текстом для зручного відображення щодо причини несправності
- Окремі функції загального призначення, які повністю незалежні від регулювання, такі як аварії, термостат, функції ПІ-регулювання тиску

На стороні IT

Тиском в ресивері (IT) необхідно керувати для його підтримки на необхідному рівні. Для реалізації цього, керування тиску в ресивері здійснюється за допомогою наступних механізмів, якщо встановлені:

- Ресивер / байпасний клапан газу V_{rec}
- Паралельні компресори IT (опція)
- Скидання гарячого газу (опція)
- Додатковий клапан V_{rec} (опція), що працює одночасно або послідовно з попереднім.

Тиск ресивера

Ресивер CO₂ може мати різні робочі режими:

- Задане фіксоване значення – користувач визначає фіксоване значення тиску, яке підтримується.
- Зовнішнє зміщення – від заданого користувачем значення робиться корегування за допомогою аналогового вхідного сигналу.

- IT оптимізовано – плаваючий тиск ресивера в системі з паралельними компресорами IT для досягнення максимальної ефективності системи
- Delta P – підтримання постійної різниці тисків в ресивері та всмоктувальної лінії компресорів MT

Також важливо відзначити, що запобігання високого тиску в ресивері має вирішальне значення для безпеки системи. Радикальні дії можуть порушити функціональність інших підсистем, і тому АК-РС 782А надає такі опції:

Скасування АС	завжди активне
Обмеження рекуперації тепла	завжди активне
Збільшення продуктивності вентиляторів	завжди активне
Зменшення потужності MT (опція)	за замовчуванням вклучено
Зменшення потужності ежектора і V _{hp} (опція)	за замовчуванням вимкнено

Крім того, для забезпечення охолодження важливо уникати низького тиску в ресивері. Окрім керування клапанами для підвищення тиску в ресивері, відключається рекуперація тепла, і користувач може ввімкнути опцію поступового збільшення відкриття розширювального клапана високого тиску.

Насосна циркуляція CO₂ управління насосом / циркуляційним ресивером

Рівень рідини в циркуляційному ресивері залежить від необхідної продуктивності і вимагає ретельного контролю. Крім того, необхідно здійснювати контроль за управлінням та безпечною роботою насосів для належного функціонування системи.

Управління циркуляційним ресивером CO₂ можна здійснювати за допомогою контролера заснованого на базі вільно програмованого MCX-15B2 або ПЛК, основними функціями якого є контроль рівня рідини, управління насосом і системою відділення та повернення мастила.

Насосна циркуляція CO₂

Контроль рівня рідини може здійснюватися за допомогою цифрових входів, підключених до реле рівня і цифрових виходів, підключених до електромагнітних клапанів. А також може управлятися за допомогою аналогового вхідного сигналу від AKS4100 з PID-регулятором, із керуванням одним або двома клапанами з електроприводами ICM+ICAD для більш точного регулювання рівня.

Контролер може здійснювати управління до трьох насосів.

Захист насоса включає в себе виявлення кавітації, відключення за низьким рівнем, а також сигналізацію та вимкнення при перенавантаженні. Автоматизоване управління насосами забезпечує запуск додаткових насосів у разі виходу з ладу одного з них, а також можливість вирівнювання часу напрацювання.

Якщо до одного резервуара підключена лише одна компресорна холодильна установка, системою повернення мастила також можна керувати за допомогою цього контролера, при цьому мастило повертається до компресорів установки по всмоктувальним трубопроводам.

Холодильна камера CO₂ управління

Точне управління випарниками в транскритичних системах охолодження має вирішальне значення для досягнення ефективного охолодження, регулювання температури, якості продукції, енергоефективності, запобігання замерзанню та теплопередачі. Все це забезпечує надійну і ефективну роботу системи CO₂.

Повний контроль над холодильною камерою

Випарниками можна керувати за допомогою універсального контролера холодильної камери Danfoss EKE 400. Зв'язок з системою управління на базі ПЛК буде здійснюватися з використанням MODBUS RTU. Підтримується декілька випарників, кожен з яких оснащений контролером EKE-400. Кількість випарників буде обмежена загальною потужністю компресорної холодильної установки.

Випарники можуть встановлюватися як в системах LT, так і в системах MT. Контролер холодильної камери EKE-400 визначить коли потрібен цикл розморожування і передасть цю інформацію контролеру гарячого газу, який почне контрольовану подачу гарячого газу.

Особливості універсального контролера холодильної камери EKE 400:

- Насосна циркуляція аміаку / CO₂ / ГХФУ / ГФУ
- Безпосереднє випаровування (DX) аміак / CO₂ / ГХФУ / ГФУ
- Контроль перегріву за допомогою:
 - Фіксованої уставки перегріву
 - Корегування по навантаженню (LoadAP)
 - Мінімального стабільного перегріву (MSS)
- Модулюючий термостат (MTR) або просте увімкнення / вимкнення
- Контроль температури середовища у всмоктувальному трубопроводі
- Модулюючий термостат (MTR) шляхом регулювання клапана подачі рідкого холодоагенту
- Підтримка декількох методів розморожування:
 - Розморожування гарячим газом з контролем по тиску або рівню рідини
 - Розморожування водою або розсолем
 - Індивідуальні графіки розморожування по робочих і вихідних днях
- Режим розморожування запускається через:
 - Сигнал від ПЛК через MODBUS
 - Цифровий вхід
 - Часовий інтервал (час з моменту останнього запуску розморожування)
 - Накопичений час охолодження
 - Графіки розморожування і годинник реального часу (RTC)
 - Примусове ручне розморожування
- Зупинка розморожування відбувається за часом або визначається температурою
- Окреме управління піддоном для дренажу (окремо від основного клапана гарячого газу)
- Запуск примусового охолодження системи
- Безпечний запуск після збою живлення
- Опція сигналізації температури продукту



Розділ 6

Регулювання тиску гарячого газу для режиму розморожування

Для транскритичної CO₂ системи з насосною циркуляцією, регулювання тиску гарячого газу необхідно для двох цілей:

1. Забезпечення безпечного тиску при розморожуванні випарників субкритичної частини системи.
2. Забезпечення достатнього тиску мастила в ресиверах для його подальшого повернення до транскритичної системи.

У цьому розділі ми розглянемо регулювання тиску гарячого газу, який необхідний для розморожування, тоді як у наступному розділі ми детально зупинимся на системі управління мастилом в транскритичній CO₂ системі охолодження.

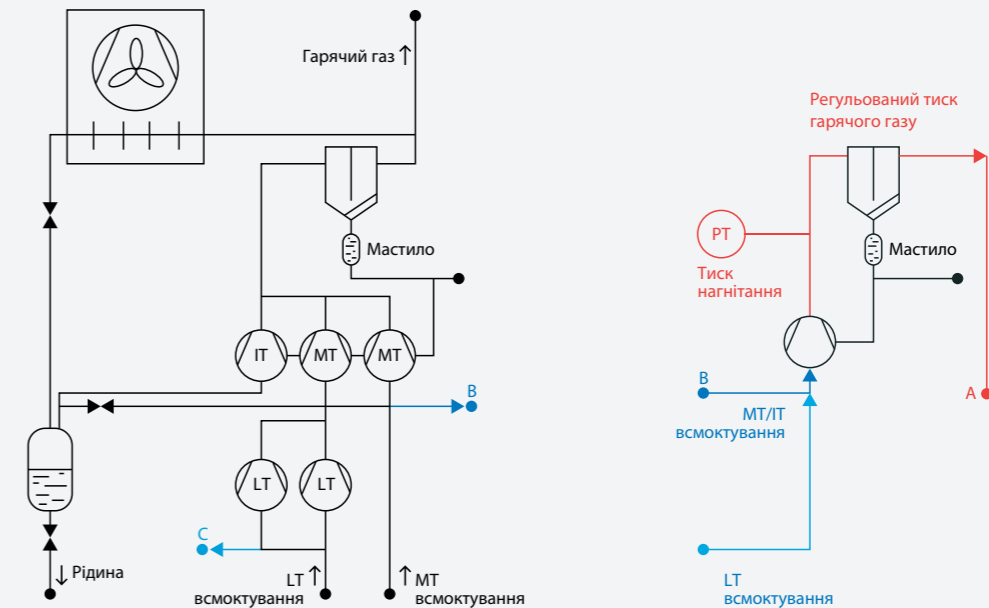
Тиск розморожування детально

З точки зору ефективності, має сенс використовувати окремі (виділені) компресори для подачі гарячого газу для розморожування випарників. Перевага цього полягає в тому, що цикл розморожування не впливає безпосередньо на роботу основних компресорів холодильної системи, а витрату та тиск можна регулювати до необхідного рівня незалежно від потреб системи охолодження.

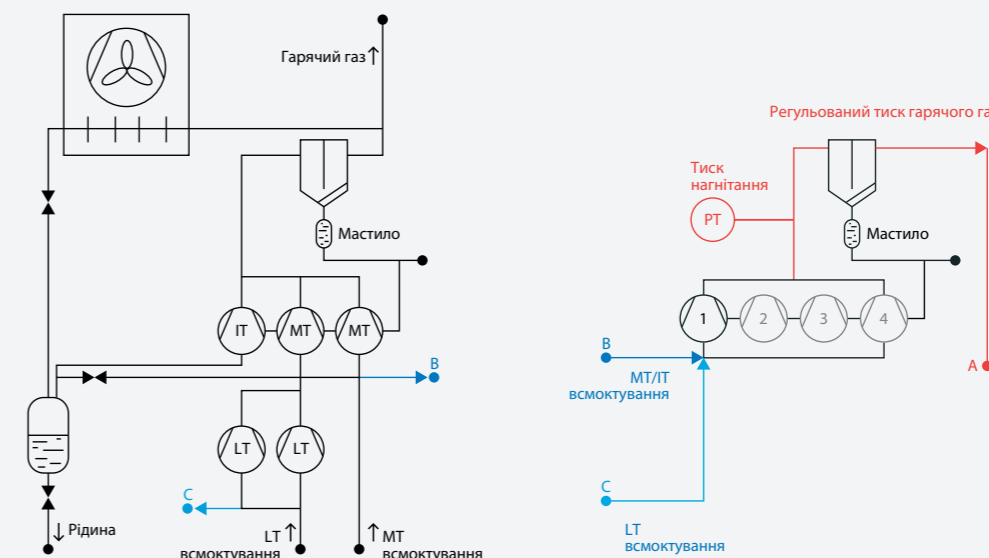
Необхідна продуктивність гарячого газу залежить від розміру холодильної системи і температури випарників. Чим більше випарників в системі, тим частіше потрібні цикли розморожування. Виділені компресори для гарячого газу підключаються до центральних ліній всмоктування LT або MT/IT і забезпечують необхідну кількість гарячого газу. Тиск нагнітання необхідно контролювати таким чином, щоб подача гарячого газу в повітроохолоджувачі / випарники субкритичної системи здійснювалася ефективно та безпечно. Субкритична система, як правило, розрахована на нижчий тиск, ніж транскритична система.

На наведених нижче принципових схемах, точкою «А» позначено місце регулювання тиску розморожування, а всмоктувальний патрубок для виділених компресорів гарячого газу показаний точкою «В» на рівні MT/IT і точкою «С» на рівні LT.

Мал. 6.1 Принципові схеми з 1 виділеним компресором для подачі гарячого газу



Мал. 6.2 Принципові схеми з декількома виділеними компресорами для подачі гарячого газу (в прикладі показані 4 компресора)



Відстань між компресорами для розморожування і випарниками може бути достатньо великою. Це може призвести до конденсації гарячого газу в довгих трубопроводах лінії нагнітання, особливо під час зупинки компресорів.

Коли в цих трубопроводах накопичується конденсована рідина, яка, потенційно, може бути рухатися по ним при наступному запуску компресорів розморожування, що може спричинити гідравлічний удар, якого хотілося б уникнути.

Спосіб вирішити цю проблему – необхідно встановити розширювальний клапан в найнижчій точці центральних нагнітальних трубопроводів.

Вихід з цих розширювальних клапанів приєднується до віддільників рідини MT або LT. Щоразу, коли компресори розморожування не працюють, накопичена рідина проходить через розширювальний клапан, яка потім надходить у віддільники рідини MT або LT. Крім того, існує кілька способів реалізації контролю. Періодичне контрольоване відкривання протягом певного проміжку часу часто буває достатньо, щоб звільнити центральну нагнітальну магістраль від сконденсованої рідини.

Залежно від необхідного максимального робочого тиску тут можуть бути застосовані розширювальні клапани серії Danfoss ICM (TS) або CCM (T). Важливо також зазначити, що системи повинні бути сконструйовані таким чином, щоб конденсована рідина не могла повернутися у компресори для подачі гарячого газу.

6.1 Деталі управління компресором гарячого газу

Контролер компресора подачі гарячого газу Danfoss може керувати кількома виділеними компресорами для розморожування. В цьому випадку управління базується на підтримці постійного тиску нагнітання компресорами гарячого газу за допомогою датчика тиску, встановленого на верхній кришці циліндрів компресора. Відповідно до цього значення контролер модулює або ступінчасто вмикає / вимикає роботу компресорів для підтримання заданого значення уставки тиску.

Варіанти конфігурації:

- Компресор без пристроїв ступеневого регулювання продуктивності і без VFD. Компресор циклічно вмикається / вимикається для підтримки бажаного тиску нагнітання.
- Компресор із пристроями ступеневого регулювання продуктивності і без VFD. Компресор вмикається і збільшує / знижує продуктивність для підтримки бажаного тиску нагнітання.
- Компресор без ступенів продуктивності, але з VFD. Компресор вмикається, і його швидкість змінюється для підтримки бажаного тиску нагнітання.
- Компресор зі ступенями продуктивності і VFD. Компресори вмикаються, і регулюються як ступені продуктивності так і швидкість для підтримки бажаного тиску нагнітання.

Виділений компресор (або декілька) для гарячого газу можуть мати будь-які з перерахованих вище властивостей. Деякі будуть з фіксованою продуктивністю і регулюватися вмиканням / вимиканням, інші – можуть мати ступені продуктивності та/або VFD. Компресори можуть бути встановлені послідовно для підтримки бажаного тиску нагнітання, при цьому кількість компресорів гарячого газу може варіюватися від одного до п'яти в залежності від конструкції установки.

6.2 Відведення конденсату при розморожуванні в транскритичних CO₂ системах

Важливо відзначити, що потрібно не лише регулювати тиск подачі гарячого газу, також важливо контролювати трубопроводи відведення конденсованого газу через дренажну лінію.

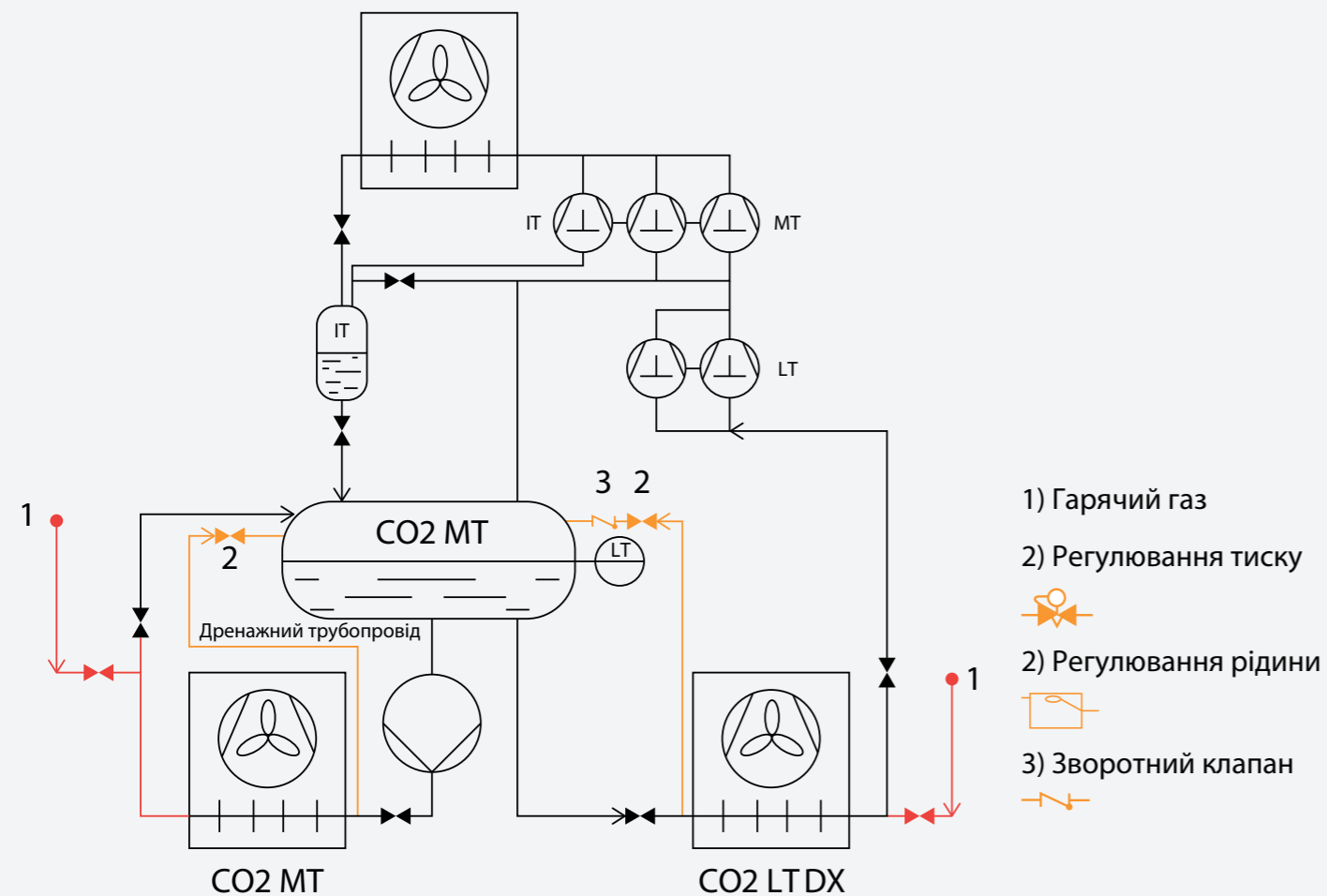
Контролер холодильної камери Danfoss EKE 400 підтримує два способи управління дренажними лініями:

- **Контроль по тиску.** У цьому випадку тиск розморожування у випарнику регулюється протягом періоду розморожування. Тиск розморожування повинен бути достатньо вищим по відношенню до тиску насичення газу при якому конденсація відбувається при температурі вище 0 градусів Цельсія, щоб лід / інії могли розтанути на поверхні випарника. (Прикладом релевантного тиску розморожування є комбінація клапанів Danfoss ICS+CVP-H6).
- **Контроль рівня рідини.** У цьому випадку в систему повертається практично повністю конденсований гарячий газ (рідина з низькою ентальпією). Це більш ефективний метод, ніж регулювання тиску, який зменшує споживання електроенергії холодильної системи. (Прикладом управління та контролю зливу дренажу є комбінація клапанної станції ICF + поплавковий клапан ICFD від Danfoss).

6.2.1

Розморожування гарячим газом випарників з насосною циркуляцією на лінії МТ та безпосереднім кипінням DX на лінії LT

Мал. 6.3 Принципова схема розморожування гарячим газом з насосною циркуляцією на лінії МТ та безпосереднім кипінням DX на лінії LT



На Мал. 6.3 показане принципова схема системи з насосною циркуляцією на лінії МТ в поєднанні з системою безпосереднім кипінням DX на лінії LT з розморожуванням гарячим газом. Подача та регулювання тиску гарячого газу здійснюється за допомогою окремого компресора (компресорів) до випарників (в точці 1 на схемі). Дренажна лінія як в системах МТ, так і в системах LT, приєднані до циркуляційного ресивера МТ.

Примітка: коли потрібна відносно невелика продуктивність LT порівняно з продуктивністю МТ, випарники LT можуть працювати та управлятися за схемою із безпосереднім кипінням DX.

Клапан 2 управляє дренажною лінією, яка може працювати за схемами з контролем рівня рідини, наприклад, за допомогою Danfoss ICF+ICFD, або з контролем по тиску, наприклад, за допомогою Danfoss ICS+CVP-H. А конденсований холодоагент випарників LT направляється до циркуляційного ресивера МТ для підвищення ефективності.

Нижче по потоку повинен бути встановлений регулятор зливу дренажу випарника LT, зворотний клапан 3, щоб запобігти перетікання холодоагенту з лінії МТ до випарників LT.

6.2.4

Розморожування гарячим газом випарників з насосною циркуляцією на лінії LT та безпосереднім кипінням DX на лінії MT

На Мал. 6.4 показане принципова схема холодильної системи з насосною циркуляцією на лінії LT в поєднанні з системою безпосереднього кипіння DX на лінії MT з розморожуванням гарячим газом.

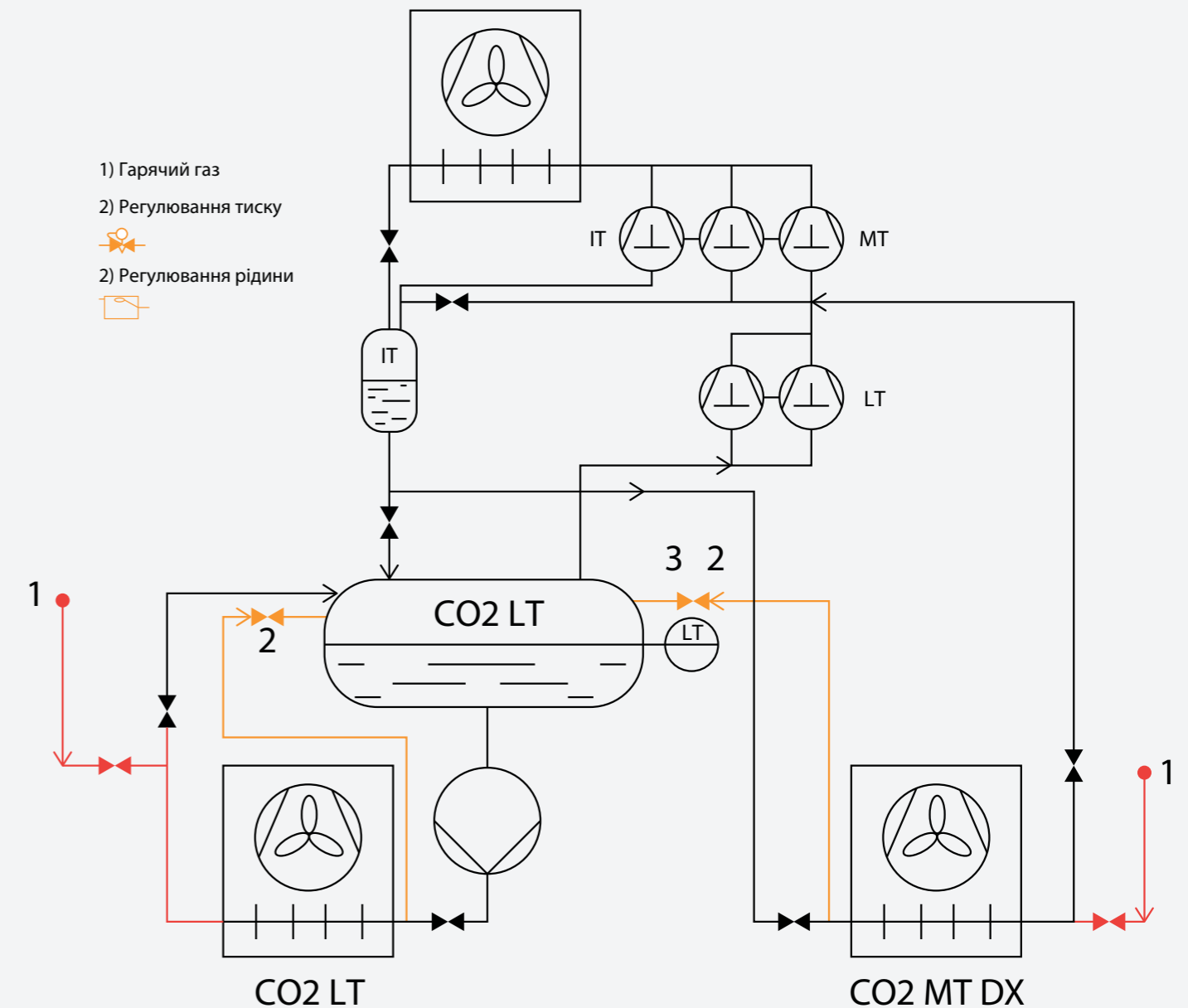
Подача та регулювання тиску гарячого газу здійснюється за допомогою окремого компресора (компресорів) (точка 1 на кресленні) до випарників. Дренажна лінія як в системах MT, так і в системах LT приєднана до циркуляційного ресивера LT.

Примітка: Коли потрібна відносно невелика продуктивність MT в порівнянні з продуктивністю LT, випарники MT можуть керуватися за схемою з безпосереднім кипінням DX.

Клапан 2 яка може працювати за схемами з контролем рівня рідини, наприклад, за допомогою Danfoss ICF+ICFD, або з контролем по тиску, наприклад, за допомогою Danfoss ICS+CVP-H.



Мал. 6.4 Принципова схема розморожування гарячим газом з насосною циркуляцією на лінії LT та безпосереднім кипінням DX на лінії MT



Розділ 7

Управління відділенням та поверненням мастила в транскритичних системах

Надійна і ефективна циркуляція мастила в холодильній системі – надважлива. Оскільки компресори в транскритичних системах піддаються великим навантаженням, правильне змащення необхідне для підтримки працездатності рухомих частин та охолодження вашої CO₂ системи.

Вибір мастила має значення

Розробка та визначення технічних характеристик мастила для транскритичної системи залежить від різних умов. Ось деякі з найважливіших аспектів, які слід враховувати при виборі відповідного мастила:

- Температура і тиск всмоктування і нагнітання
- Холодоагент
- Частота обертання компресора (об/хв)
- Умови часткового або повного навантаження
- Тип компресора

Тому виробники компресорів мають чіткі рекомендації щодо типу мастила для кожного типу компресора, холодоагенту та області застосування.

7.1

Винесення мастила – неминуча проблема

Єдиним призначенням компресорного мастила – це функція змащення і в ідеальній ситуації воно мало би залишатися тільки всередині компресора. Однак це не так. Неминуча істина полягає в тому, що мастило, яке знаходиться в картері компресора, змішується з холодоагентом, стискається і в кінцевому результаті потрапляє до нагнітаючого патрубку компресора.

Явище, яке називається «винесенням мастила».

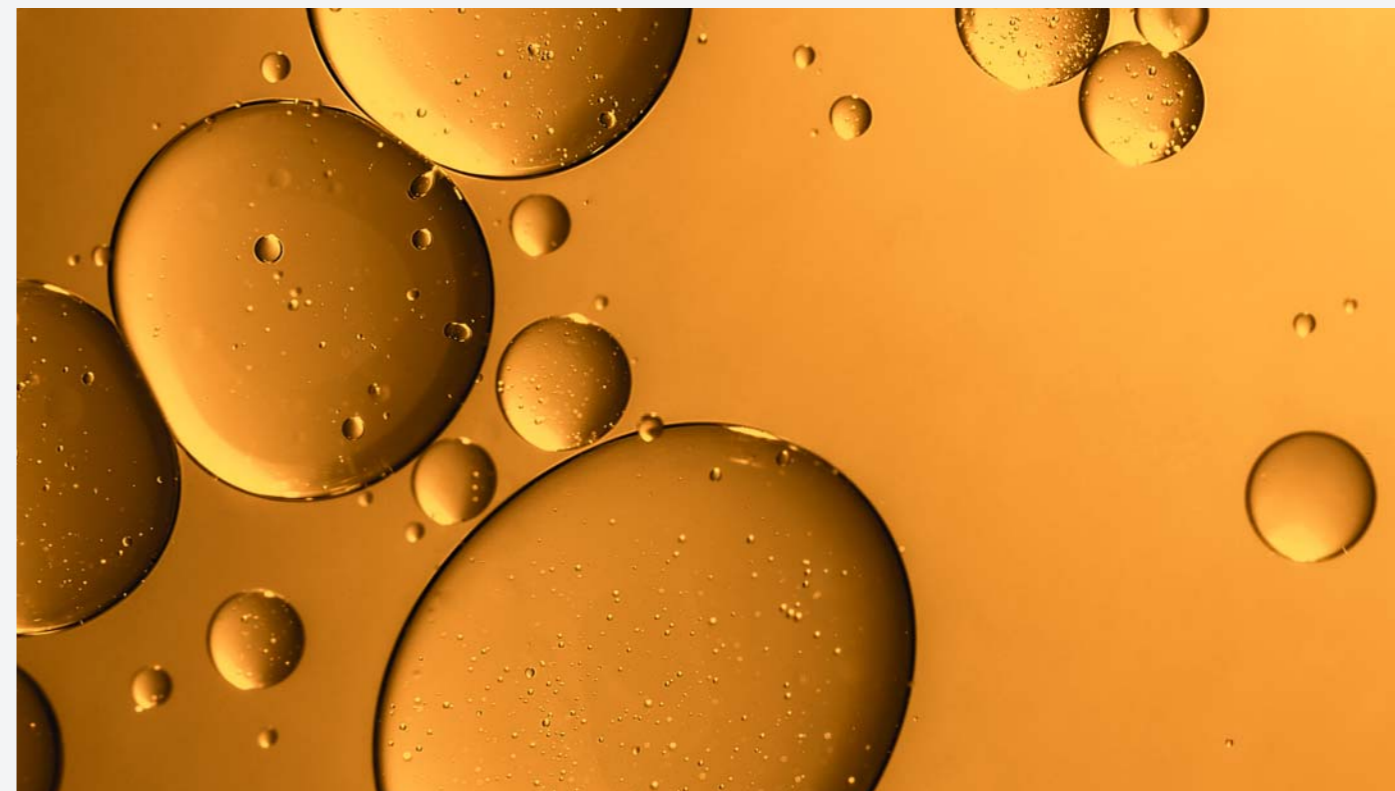
Винесення мастила має бути зведене до мінімуму, оскільки в кінцевому результаті воно потрапляє до системи охолодження, що в свою чергу спричиняє дві проблемами:

1. Мастило утворює плівку всередині випарників (засмічення), що призводить до зниження коефіцієнту теплопередачі та зниження ефективності системи в цілому.
2. Як повернути мастило із системи назад для змащення компресорів.

Залежно від типу системи, безпосереднє кипіння холодоагенту або затопленого типу, необхідно дотримуватися різних підходів для управління системою повернення мастила.

Як відбувається винесення мастила в CO₂ системах

Бустерні CO₂ системи мають компресори як на рівнях LT, MT так і IT, і, звичайно, винесення мастила відбувається на всіх рівнях. Однак компресори MT і IT мають більш високий ступінь винесення масла в порівнянні до компресорів LT. Це викликано більш високою щільністю всмоктуваної пари і, головним чином, більш



високими навантаженнями на охолодження на рівні MT.

Таким чином, мастиловіддільники можуть бути встановлені на лініях нагнітання компресорів LT і MT / IT, але обов'язкове їх встановлення на лінії MT. Тим не менш, мастиловіддільники не часто зустрічаються на лініях нагнітання компресорів LT, хоча б це зменшило винесення мастила до всмоктувальної магістралі компресора MT і, таким чином, зменшило б винесення мастила компресорами MT загалом.

7.2

Повернення мастила в системах з безпосереднім кипінням DX

Важливо зазначити, що типові комерційні холодильні установки – це системи з безпосереднім кипінням DX холодоагенту, де в більшості випадків розчинене мастило повертається назад до компресорів по всмоктувальному трубопроводу.

Хороша змішувальність рідкого CO₂ з мастилом POE, так само як і висока густина пари на стороні всмоктування системи, забезпечують легке повернення мастила до всмоктувальних трубопроводів компресорів, за умови дотримання аналогічних швидкостей як для всмоктувальних трубопроводів, які працюють з ГФУ холодоагентами.

При роботі з частковим навантаженням, наприклад, вечором взимку, масові витрати і швидкості всередині випарників та всмоктувальних трубопроводів знижуються, що ускладнює процес повернення мастила.

Для надійного розподілу мастила при будь-яких навантаженнях необхідно застосувати відповідні системи повернення мастила. Поєднання CO₂ та мастил на принципі змішування – довели свою виняткову надійність в комерційних системах DX.



Управління мастилом в системах з безпосереднім кипінням DX

При використанні систем управління мастилом, в яких масло повертається через всмоктувальні трубопроводи, існує ймовірність того, що розподіл мастила між компресорами не рівномірно, в результаті чого його рівень всередині картерів компресорів LT підніметься вище максимального.

Таким чином, ефективність масловіддільника повинна бути високою і бути в межах норми винесення мастила з компресорів MT/IT для забезпечення збалансованого стану.

Це важливий факт, який приводить нас до висновку, що ефективність будь-якої системи управління мастилом починається

з рівня винесення мастила з компресорів (якомога нижче) і ефективності основних масловіддільників (якомога вище).

7.3

Управління мастилом в транскритичних CO₂ системах з насосною циркуляцією

В системах CO₂ з насосною циркуляцією мастило виноситься до системи і в кінцевому результаті накопичується в циркуляційному ресивері (-ах) і не повертається разом із всмоктуваним газом. Отже, це призводить до необхідності прикладання певних зусиль для його видалення з циркуляційного ресивера (-ів), що напряму пов'язане з обсягом його винесення. Що в свою чергу ще раз підтверджує істотну важливість високо-ефективного первинного виділення мастила в масловіддільниках. І у випадках, коли в системі присутні декілька циркуляційних ресиверів, мастило буде накопичуватися в кожному з них.

Відокремлення та повернення мастила

Отримана суміш з циркуляційного ресивера має пройти етап відділення мастила, яке потім необхідно повернути назад в компресори. Також, мастило, яким заправлена холодильна система, може бути як змішуваним, так і незмішуваним. При використанні змішаного мастила з рідким CO₂, дану суміш можна відносно легко видалити з циркуляційного ресивера.

Однак, при використанні мастила, що не змішується, залежно від типу мастила та режиму експлуатації холодильної системи, мастило може знаходитися в середньому шарі циркуляційного ресивера (-ів), тож можна для його видалення використовувати кілька точок відбору плівки мастила з правильного місця. Незалежно від типу мастила, система відділення та його накопичення є обов'язковою. Цей процес здійснюється з використанням компонентів для відокремлення мастила, за добре відомим принципом як в фреонових системах так і в субкритичних системах CO₂ з насосною циркуляцією.

Повернення мастила в систему може бути здійснено багатьма способами. Електронні розширювальні клапани керують процесом відділення – суміш мастила / CO₂, що виходить з масловіддільника, в принципі, може бути спрямована назад безпосередньо у всмоктувальні трубопроводи компресорів, підключених до циркуляційного ресивера, де відбувається відділення мастила.

У будь-якому випадку рекомендується встановлювати віддільники рідини. Однак жодна система не є схожою і багато параметрів можуть впливати на баланс мастила, що виноситься до системи і видаляється з неї.

Основні параметри, які необхідно врахувати:

- Чи в системі є один циркуляційний ресивер LT або один циркуляційний MT, або в системі є і те, і інше?
- Чи є в системі кілька циркуляційних ресиверів LT і MT?
- Чи холодопродуктивність LT така ж, як і холодопродуктивність MT? Або вона вище чи нижче?
- Яка продуктивність масловіддільника?
- Чи знаходиться система в рівновазі? Чи враховується часткове навантаження?

Таким чином, система керування мастилом, описана в цьому документі, з використанням мастило збірників для кожного циркуляційного ресивера, де здійснюється накопичення мастила. У разі необхідності в забезпеченні мастилом, відбувається його подача до мастило приймача конкретної компресорної установки із мастило збірника, де воно накопичується та зберігається. Завдяки спеціальним мастило збірникам – система стає незалежною від багатьох факторів і гарантує безпечне і ефективне повернення мастила до компресорних установок.

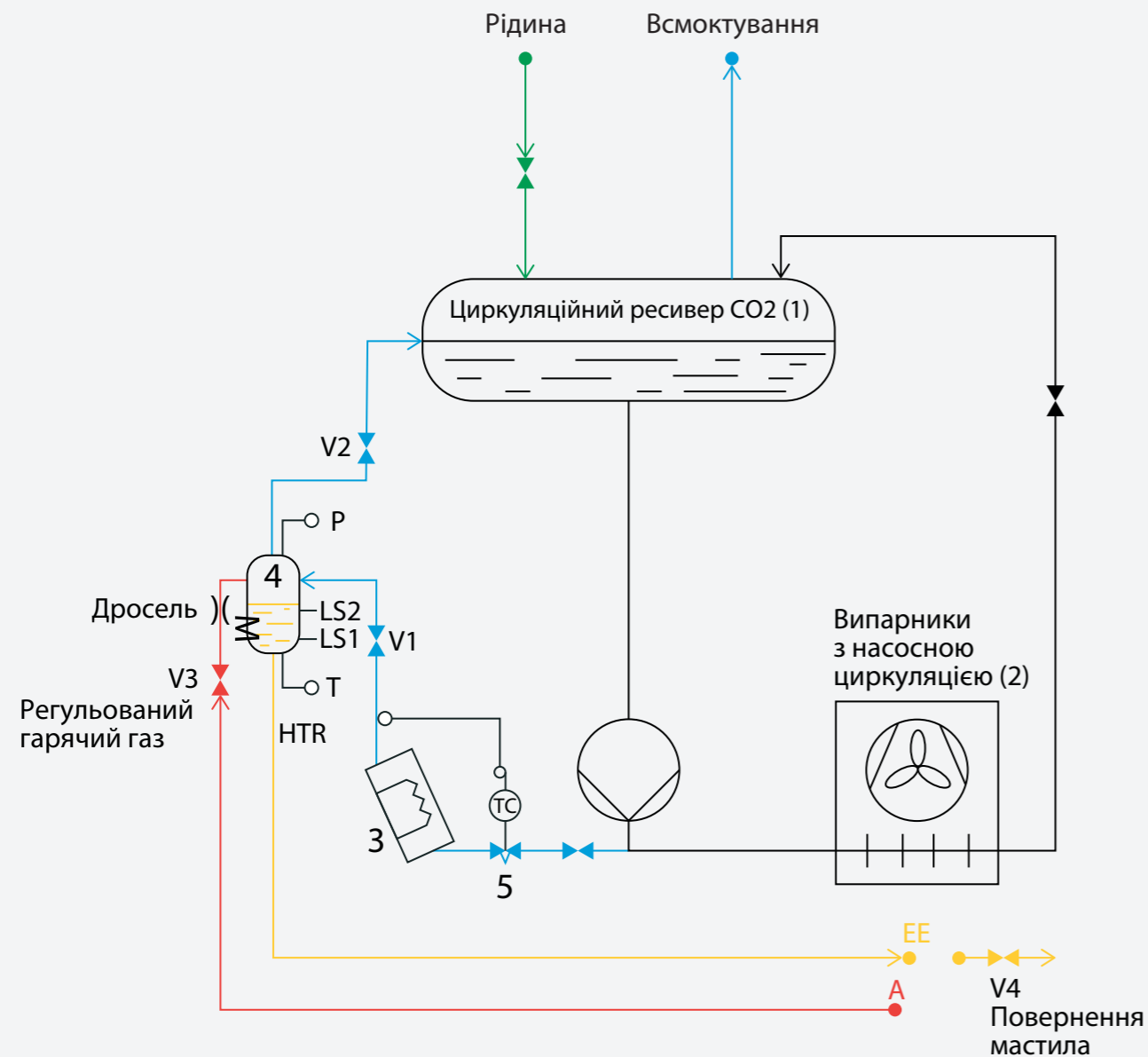
Управління мастилом в бустерних транскритичних CO₂ системах, описаних в цьому документі, здійснюється наступним чином:

- Відокремлення та накопичення мастила
- Повернення і розподіл мастила

7.4

Управління системою відділення та накопичення змішаного мастила в транскритичних CO₂ системах з насосною подачею

Мал. 7.1 Відокремлення та накопичення змішаного мастила



На Мал. 7.1 показана базова конфігурація управління мастилом CO₂ системи та описується процес відокремлення мастила для MT, LT або декількох циркуляційних ресиверів.

- Якщо циркуляційний ресивер знаходиться на лінії MT (поз. 1), випарники (поз. 2) працюють на лінії MT, подача рідини до них здійснюється з лінійного ресивера LT, а всмоктувальні трубопроводи цих випарників приєднані до циркуляційного ресивера MT.
- Якщо циркуляційний ресивер знаходиться на лінії LT (поз. 1), випарники (поз. 2) працюють на лінії LT, подача рідини до них

здійснюється з циркуляційного ресивера MT, а всмоктувальні трубопроводи цих випарників приєднані до циркуляційного ресивера LT.

- Рекомендується перегрівати газ, який подається на лінію всмоктування компресорів. Будь ласка, слідуйте рекомендаціям виробника компресорів.

Процес відокремлення та накопичення

Масило необхідно відокремити в мастиловіддільнику, накопичити і повернути компресорної установки (установок). Відокремлювач мастила (поз. 3) – це по суті теплообмінник, який розділяє насичений мастилом рідкий CO₂ у пари CO₂ і мастило. Відокремлене мастило накопичується в ресивері мастила (поз. 4), а CO₂, що випарувався в процесі кипіння повертається через клапан V2 назад до циркуляційного ресивера.

На даному прикладі, в процесі відділення мастила, рідина впорскується до відокремлювача мастила через електронний розширювальний клапан (поз. 5) з регульованим перегрівом. І в залежності від необхідного максимального робочого тиску цей клапан може бути типу Danfoss CCM, CCMT, ICM або ICMTS. Насос забезпечує перепад тиску, необхідний для роботи розширювального клапана.

Можлива робота відокремлювача мастила за принципом термосифона при відсутності насоса.

Функції управління під час відокремлення та накопичення мастила на Мал. 7.1

- Відокремлення мастила: клапани V1 і V2 знаходяться у відкритому положенні, розширювальний клапан (поз. 5) – в режимі регулювання при працюючих насосах холодоагенту, рівень мастила в ресивері нижче «LS2» і при цьому відсутній запит на подачу мастила від компресорних установок. Цей процес триває до тих пір, поки рівень мастила не досягне «LS2». Після досягнення цього рівня – клапани V1 і V2 закриваються, впорскування рідини припиняється, а наявна кількість мастила відокремлюється і накопичується.
- Нагрівач (HTR) включається при температурі насичення або нижче в ресивері мастила. Датчик тиску (P) і датчик температури (T) використовуються для розрахунку температури насичення CO₂.
- Щоразу, коли рівень мастила в ресивері нижче «LS1», нагрівач (HTR) вимикається.
- Коли рівень мастила досягає «LS2», датчик LS2 ресивера мастила сигналізує про те, що накопичено достатню кількість мастила.

7.5

Повернення і розподіл змішаного мастила в транскритичних системах CO₂ з насосною циркуляцією

З ресивера (ресиверів) мастило подається назад в маслоприймач (маслоприймачів) компресорної установки, в разі необхідності. Процес повернення мастила може бути здійснений шляхом підвищення тиску в ресивері мастила за допомогою подачі регульованого тиску гарячого газу, створюваного спеціальним компресором (компресорами) для подачі гарячого газу. Потік регулюється за допомогою ручного регульовального клапана або фіксованого дроселя. Мастилоприймач (мастилоприймачі), що встановлені на компресорній установці (установках) повинен бути оснащений реле низького і високого рівня.

Коли рівень мастила в будь-якому наявному маслоприймачі (маслоприймачах) опускається нижче необхідного рівня, починається процес повернення масла. Якщо мастилоприймач (мастилоприймачі) компресорної установок (установок) знову досягне потрібного рівня, процес повернення мастила зупиниться.

Функції управління: (Див. Мал. 7.1)

- Клапани V1 і V2 закриті, а впорскування рідини припинено.
- Нагрівач (HTR) може бути ввімкнений або вимкнений в залежності від температури насичення.
- Для підвищення тиску в ресивері мастила здійснюється за допомогою регульованого тиску гарячого газу, який подається з виділених компресорів у точку А на Мал. 7.1. Для створення потоку – регульований тиск повинен бути вище тиску в мастилоприймачах компресорних установок. Подача великої кількості газу CO₂ високого тиску до ресивера мастила є небезпечною і не є необхідною. Тому трубопроводи подачі гарячого газу повинні бути добре спроектовані і мати обмеження витрати, наприклад, бути з фіксованим дроселем або клапаном ручного регулювання. Коли процес відділення та повернення мастила добре збалансований, він стає безперервним та повторюваним. Таким чином, потік мастила і одночасно потік гарячого газу мають менше значення, ніж добре контрольоване та безпечне повернення мастила в часі.

- В разі необхідності в забезпеченні мастилом компресорної установки, відкривається клапан подачі гарячого газу (V3). Дросель забезпечує обмеження, тому підвищення тиску відбувається повільно і безпечно. Крім того, клапан повернення мастила (V4) відкритий і воно подається до маслоприймача компресорної установки, для якої це необхідно.
- Якщо рівень в ресивері мастила опускається нижче «LS1» або рівень мастилоприймача (мастилоприймачів) досяг необхідного, нагрівач (HTR) вимикається, і процес повернення мастила припиняється. Клапан подачі гарячого газу (V3) і клапан повернення мастила (V4) закриваються. Таким чином, компресор гарячого газу зупиняється і переходить або в відключений режим, або в режим розморожування гарячим газом в разі необхідності.
- Далі клапан V2 повільно відкривається, для скидання тиску з ресиверу мастила, і відкривається клапан V1 для повторного запуску циклу відокремлення мастила. Клапан V1 відкриється тільки тоді, коли тиск в ресивері мастила знизиться до тиску циркуляційного ресивера. Цикл відокремлення мастила повторюється, як описано вище.
- Якщо при подачі «регульованого гарячого газу» до ресивера мастила тиск досягає заданого значення «Максимального тиску», клапан гарячого газу (V3) закривається. Клапан подачі гарячого газу (V3) можна періодично вмикати для підтримки тиску в ресивері мастила, але не допускати його перевищення.
- Підвищення тиску в системі, які можуть бути спричинені через несправні або невідповідні клапани, накопичення рідини, відключення електроенергії або будь-які інші фактори – слід запобігти за допомогою встановлення реле тиску та запобіжних клапанів.

7.6

Управління системою відділення та повернення змішаного мастила в транскритичних CO₂ системах з насосною циркуляцією та декількома циркуляційними ресиверами

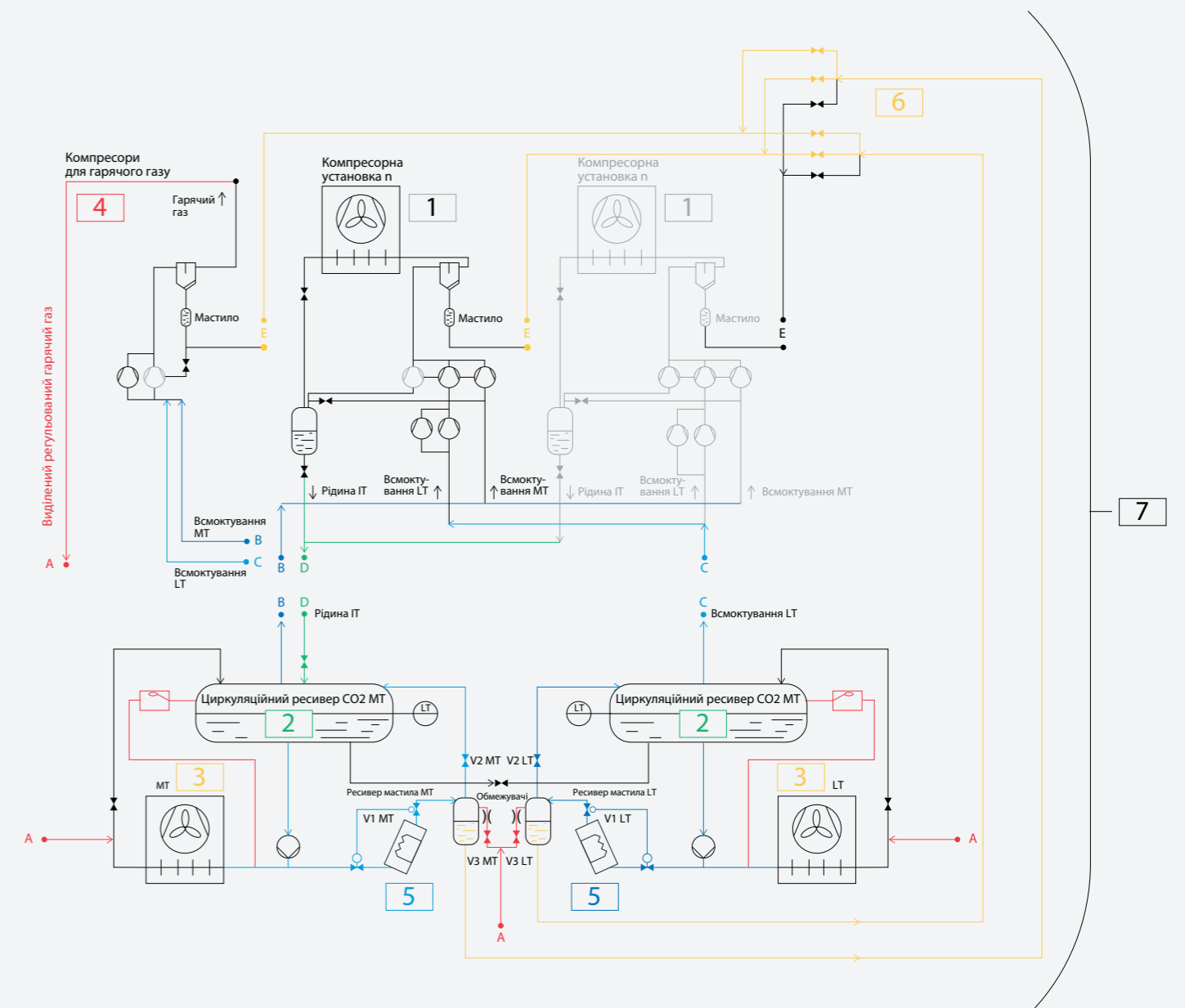
При наявності декількох циркуляційних ресиверів кожен з них повинен мати свій власний процес відділення та накопичення мастила, для запобігання дисбалансу системи управління маслом. Це означає, що система буде працювати так, як описано в розділах 7.4 і 7.5, але з декількома ресиверами мастила, з яких воно подається до маслоприймача (маслоприймачі) компресорної установки (установок).

На Мал. 7.2 нижче показані два циркуляційних ресивера на лініях MT і LT. Кожен з них оснащений власною системою відділення, накопичення, повернення і розподілу мастила.

- Через клапани повернення мастила (V4MT), накопичене мастило із циркуляційного ресивера MT подається до маслоприймача (маслоприймачів) компресорної установки (установок), яким воно необхідне.
- Через клапани повернення мастила (V4LT), накопичене мастило із циркуляційного ресивера LT подається до маслоприймача (маслоприймачів) компресорної установки (установок), яким воно необхідне.
- При встановленні електромагнітних клапанів, необхідно додатково передбачити зворотні клапани нижче по потоку. В іншому випадку мастило може перекачуватися з одного ресивера мастила до другого через інші клапани на лінії мастила.

Для управління системою відділення та накопичення незмішаного мастила в транскритичних системах CO₂ з насосною циркуляцією див. повне дослідження на www.IP.com

Мал. 7.2 Управління системою відділення та накопичення змішаного мастила транскритичної CO₂ системи з декількома циркуляційними ресиверами





Про компанію **Danfoss**

Компанія Danfoss зосереджена на створенні кращого майбутнього. Починаючи з одного з перших у світі радіаторних термостатів і серійних перетворювачів частоти і закінчуючи безліччю рішень і технологій, які розширюють межі можливого сьогодні, ми завжди прагнули до побудови кращого майбутнього. Наша подорож розпочалася в 1933 році, коли Мадс Клаузен заснував компанію Danfoss на фермі своїх батьків у Нордборзі, Данія. З тих пір бізнес виріс з індивідуального підприємства в одного з провідних світових постачальників інноваційних та енергоефективних рішень.

Пристрасть до технологій і наших клієнтів привела до того, що у спадок нам дісталися рішення все більш складних завдань і досягнення виняткових результатів. З обіцянками якості, надійності та інновацій, глибоко вкоріненими в нашій ДНК, ми пропонуємо широкий асортимент продуктів і рішень для багатьох сегментів бізнесу. Наша зосередженість на досягненні цілей ESG вирізняє нас з-поміж інших, і ми віримо, що це дозволяє нам бути першопрохідцями у сфері декарбонізації, створення найкращих у своєму класі циркулярних продуктів, прозорості та кращого клієнтського сервісу. Співпрацюйте з нами, і давайте разом проектувати майбутнє.