

Холодоагенти та промисловий холод

Сергій Іваненко
Незалежний експерт
(холодильне обладнання)

2023 р.

У світлі необхідності ратифікації Україною Кігалійської поправки головним питанням є максимальне зниження застосування в новому устаткуванні та різке зниження використання на існуючому ГХФВ та ГФВ з їх заміною новими холодоагентами природного походження з нульовим ОРП (ODP) та низьким ПГП (GWP).



Враховуючи великі обсяги холодоагентів, якими заправляють промислові системи (від десятків та сотень кг до десятків і сотень тонн в одній системі), переоснащення промислового сегменту холодильного ринку має першорядне значення.



Перспективи використання холодоагентів для різних задач

"Natural Five" Refrigerants and Product Solutions

Refrigerant (Natural Five)	NH ₃ R-717	CO ₂ R-744	HC Hydrocarbon	H ₂ O R-718	Air R-728
90°C		Utility hot water			
60°C	Utility hot water		Utility hot water Heating HVAC	Heat recovery	
10°C	Chilled water Ice making	Chilled water Ice making		Chiller	
-15°C	Cold storage, Freezer, Fish boat				
-25°C	Specific Refrigeration needs				
-40°C	Freezer, Freeze-dry, Super Low temp storage				
-50°C					
-60°C			Cryogenics		Cryogenics
-100°C					
Notes	<ul style="list-style-type: none"> • Conventional system • National Projects 	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-Cute 	<ul style="list-style-type: none"> • Nat'l Proj. • Butane + Propane 	<ul style="list-style-type: none"> • Nat'l Proj. • Adsorption • Heat recovery 	<ul style="list-style-type: none"> • Nat'l Proj. • Air-cycle

Властивості холодоагентів

	ГХФВ	ГФВ	Природні холодоагенти
Найменування холодоагенту	R22	R134a, R410a, R407C, R404A	NH ₃ , CO ₂ , HC, H ₂ O, AIR
Озоноруйнівний потенціал (ОРР)	0,055	0	0
Потенціал глобального потепління (ПГП)	1810	53 – 14 800	0 - 3
Запах	Відсутній	Відсутній	NH ₃ : різкий запах
Горючість	Відсутня	Відсутня	NH ₃ – Низька горючість, HC – висока горючість
Вибухонебезпечність	Відсутня	Відсутня	NH ₃ – вибухонебезпечність за високої концентрації в повітрі, HC - вибухонебезпечність
Токсичність	Відсутня	Відсутня	NH ₃ – токсичний
Коефіцієнт (COP)	1,00	0,85-0,9	1,05 – 1,25

Сучасні холодоагенти типу R1234 zd, R1234yf, R1233zd, R1233ze, R1336mzz та інші аналогічні навряд чи можна розглядати як альтернативу для промислових фреонових систем. Ці холодоагенти найдоцільніше використовувати у невеликих торговельних та інших комерційних системах, малих і середніх системах, а також у агрегованому обладнанні, як-то чилери та інші машини тощо.

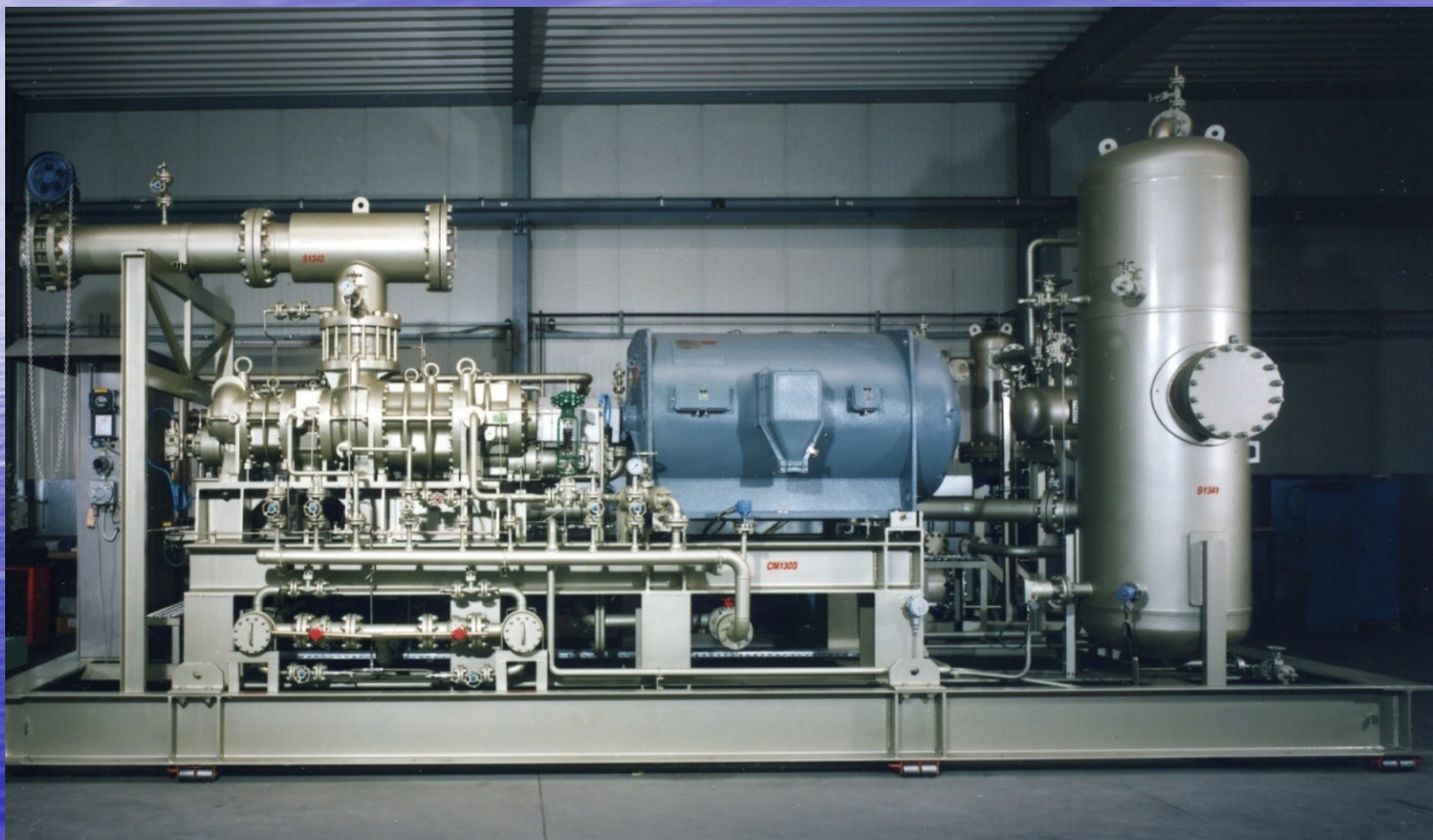


Зараз вже випускається повний спектр агрегованих холодильних машин на нових ГФО, а також відцентрових та гвинтових промислових чилерів.

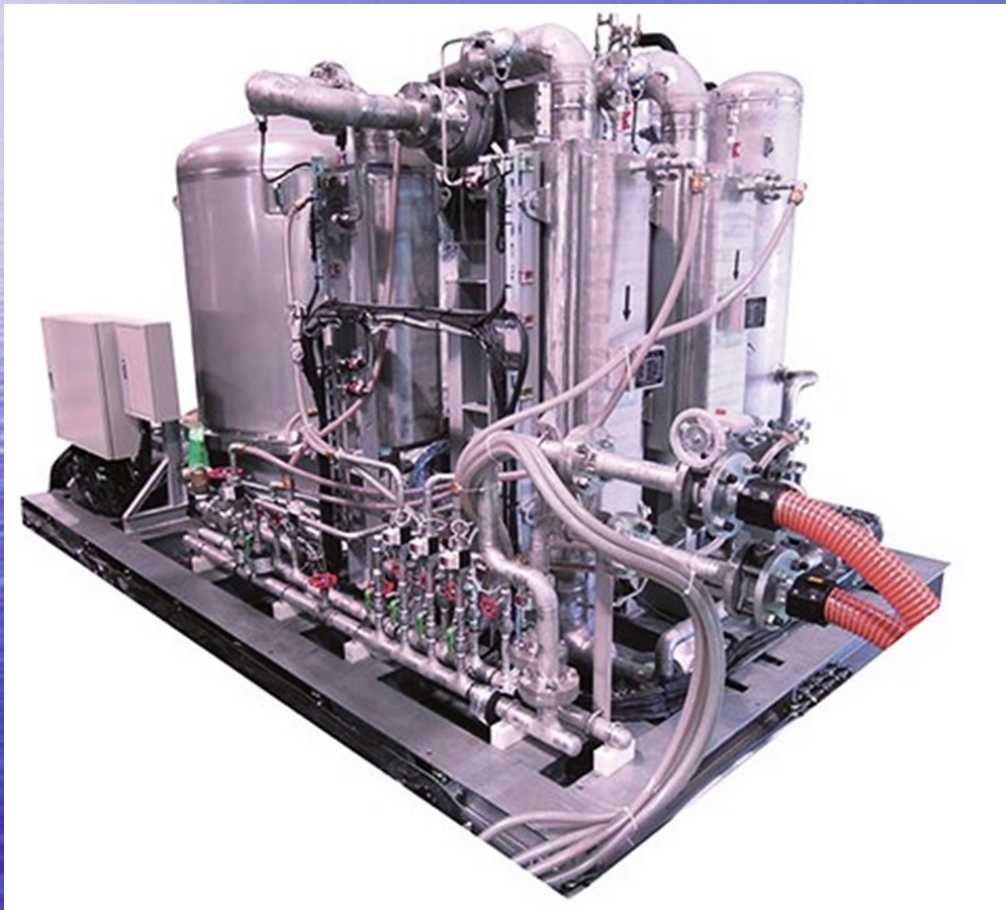


НС-гази, такі як R290, R600 та R600a.

Враховуючи їхню пожежо вибухонебезпечність, використання НС вимагає забезпечення відповідної безпеки.



Їх можна і логічно застосовувати тільки в системах, що забезпечують нафто-газовидобування, транспортування та перероблення природного газу, а також на ряді хімічних заводів, у побутових холодильниках, побутових кондиціонерах, а також у кондиціонерах автотранспорту.



CO₂ (R744) – це старий добре вивчений холодоагент, який в наші дні переживає друге народження.

CO₂ (R744) може застосовуватися в широкому спектрі споживання:

- Субкритичні і транскритичні системи магазинів, супер- та гіпермаркетів,
- Промислові централізовані холодильні системи з безпосереднім кипінням, у тому числі великі склади та логістичні центри,
- Каскадні системи аміак/CO₂ з використанням CO₂ як у вигляді холодоносія, так і з безпосереднім кипінням у низькотемпературних споживачах, у тому числі у фрізерах, великих складах та логістичних центрах,
- Теплові побутові та промислові насоси,
- Промислові чилери як з повітряним, так і водяними конденсаторами.

Можна зазначити такі характеристики CO₂:

- Високе значення об'ємної ефективності
- Екологічність – природний компонент (ОРП (ODP) = 0, ПГП (GWP)=1).



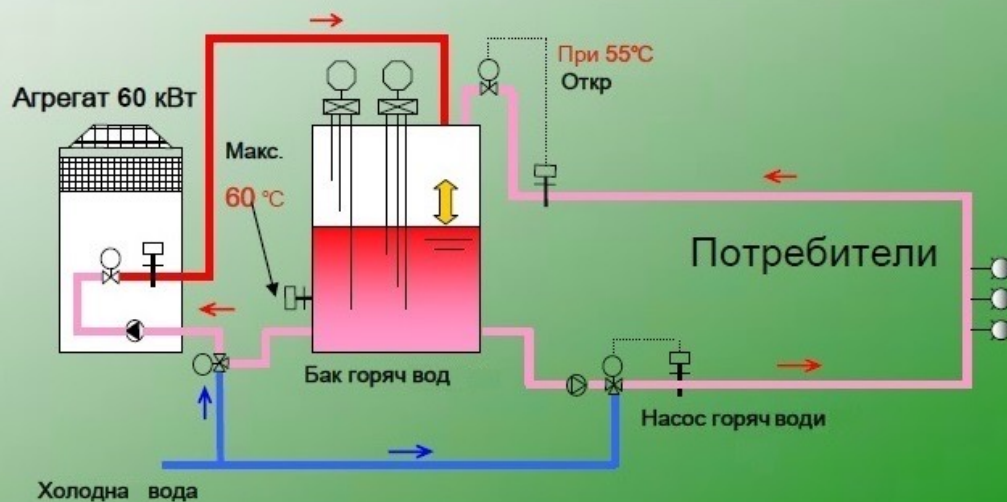
- Значна економія в енергоефективності у порівнянні з фреонами
- Технологія рекуперації теплоти.
- Значна економія води у порівнянні з іншими холодоагентами, які застосовують у системах водяні, або випарні конденсатори,
- Безпечність у використанні – негорючий, нетоксичний, вибухобезпечний (виняток – дуже високий тиск)
- Низька вартість,
- Дуже високий робочий тиск – до 90-110 бар у транскритичних системах і до 50 бар у звичайних системах та агрегованому обладнанні, у тому числі теплових насосах,
- Чудові характеристики теплопередачі





CO₂ тепловий насос для підігріву води

Схема теплового насоса для воды, 9 °C до 90 °C



Не менш відомим у застосуванні для промислових об'єктів є аміак (R717), що має унікальні теплофізичні властивості.

Аміак (R717) може застосовуватися в широкому спектрі споживачів:

- Промислові централізовані холодильні системи з безпосереднім кипінням, з проміжним холодоносієм, у тому числі будь-які промислові виробництва, а також великі склади та логістичні центри, системи спеціального призначення.





-5°C

Музей технологий

в Токио

NH_3 / Россол



Продукт

склад

NH_3 / CO_2

-25°C



NH_3 + CO_2
Каскад

-60°C

Пищевой комбинат



Агрегат
 NH_3 / хладонос

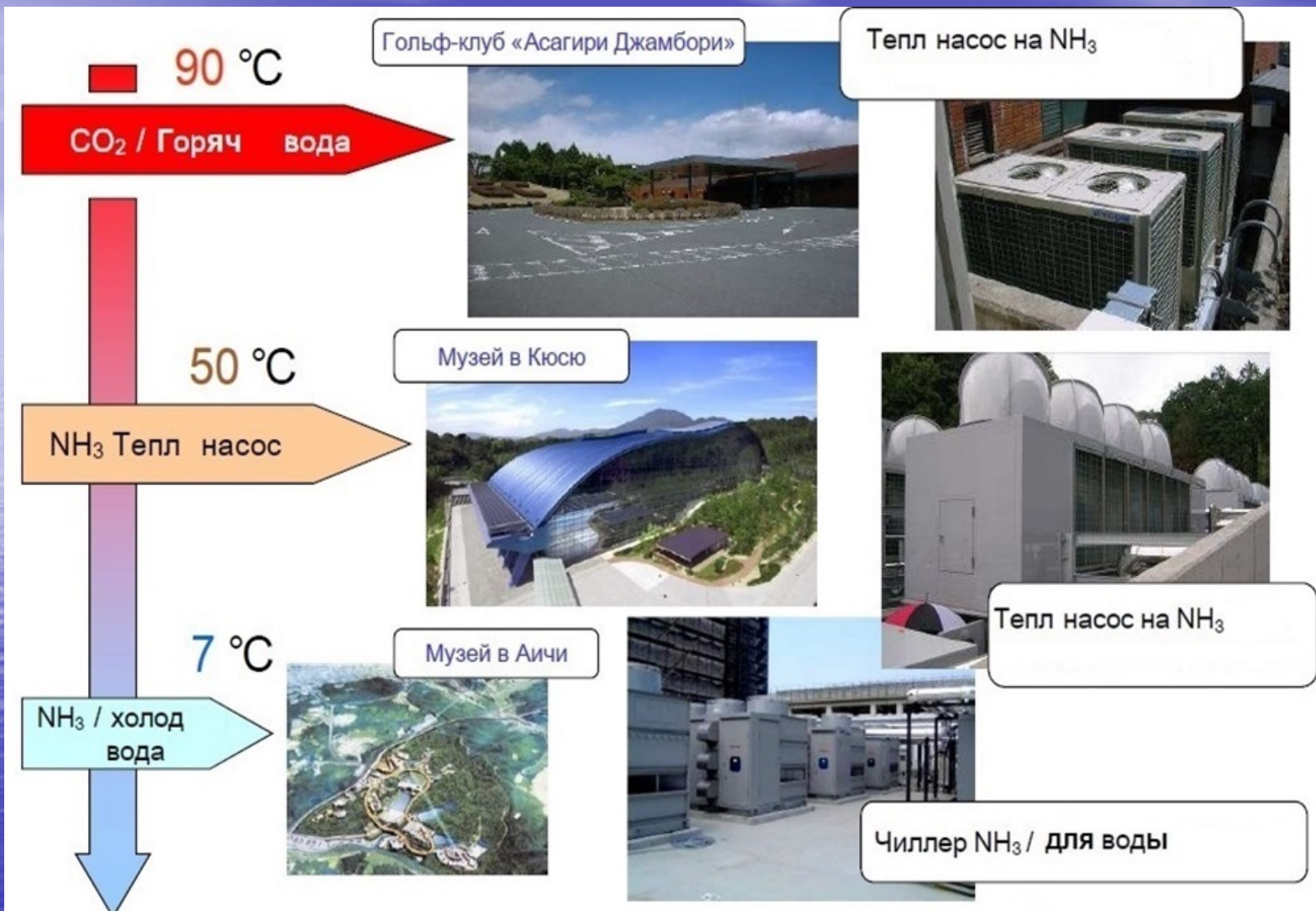


Агрегат
на NH_3/CO_2



Каскад агрегат NH_3/CO_2





- Каскадні системи аміак/ CO_2 з використанням CO_2 як у вигляді холодоносія, так і з безпосереднім кипінням в низькотемпературних споживачах, у тому числі, також фризери, великі склади та логістичні центри,
- Промислові теплові промислові насоси потужністю від 30 кВт до 5-9 МВт,
- Промислові агреговані чилери, як з повітряним, так і водяним конденсаторами, у тому числі з надмалим об'ємом заправки, що дає змогу не керуватися спеціальними нормами



Для Європи та Японії аміак наразі є основним холодоагентом для промислових підприємств. Можна зазначити такі характеристики аміаку (R717):

- Високе значення об'ємної ефективності (значно вище, ніж у CO_2 та фреонів)
- Екологічність - природний компонент . (ОРП (ODP)=0, ПГП (GWP)=0).
- Робочий тиск не перевищує значень 10-16 бар (набагато нижчий за можливі значення CO_2),
- Чудові властивості теплопередачі (значно кращі EER/COP)
- Значна Економія в енергоефективності
- Технологія рекуперації теплоти давно відпрацьована.
- Експлуатаційні затрати рівні або нижчі за випадок використання CO_2 ,
- Низька собівартість,
- Легкість пошуку витоків,
- У разі використання сучасного обладнання, арматури та автоматики/контролю не становить реальної загрози тощо.

Враховуючи той факт, що аміак належить до небезпечних речовин, його застосування неможливе на ряді об'єктів. Однак застосування агрегатованих чилерів дає змогу легко вирішувати цю проблему.



Теплові насоси.

Теплові насоси мають величезний потенціал скорочення викидів парникових газів, величина якого залежить від вибраного холодоагенту.

Згідно з проведеною оцінкою, найбільший вплив на навколишнє середовище має експлуатація агрегату. Враховуючи високі коефіцієнти EER/COP аміаку, найбільшу популярність у світі мають сучасні промислові теплові насоси з цим холодоагентом, каскадні системи аміак/CO₂ і насоси з CO₂, які мають загальні ККД 4 - 8.



холодоагент аміак (R717), безпечніші для навколишнього середовища, ніж ті, в яких застосовуються синтетичні або вуглеводневі холодоагенти, і мають найменший вплив на всі екологічні категорії завдяки своїй високій ефективності . Такі установки та системи мають найкращі показники енергоспоживання - споживання енергії зменшується на 20 % і більше порівняно із звичайними холодильними машинами з використанням HFC



Варто окремо зазначити каскадні установки аміак- CO_2 , як агреговані, так і неагреговані централізовані системи, де CO_2 слугує холодоносієм, або холодоагент одного з каскадів

PRINCIPLE SCHEME



холодильних машин, а безпека підвищується завдяки використанню CO₂ як вторинного холодоагенту та мінімальному об'єму заправки аміаком, що в більшості країн Європи додатково знижує відповідальність фірм, що експлуатують обладнання, перед органами державного нагляду.



Повітря

Крім того, не варто забувати про агреговані установки, які використовують як холодильний агент звичайне повітря. Повітря, яким ми дихаємо, також є холодоагентом і використовується у різних промислових холодильних системах, які мають внутрішню турбіну і можуть забезпечувати режими від -40°C до -100°C . Повітря не чинить негативного впливу на навколишнє середовище. Крім того, в діапазоні наднизьких температур від -50 до -90°C можна скоротити викиди CO_2 і досягти економії енергії до 50 % порівняно із звичайними системами охолодження з компресією пари.

Переваги:

- немає необхідності використовувати повітроохолоджувачі та вентилятори в холодильних камерах.
- не потрібно розморожувати холодильні камери або обладнання в приміщенні.
- зменшення енергоспоживання до 40-50 %.
- значно спрощується монтування, застосовуються лише повітропроводи.
- підвищена безпечність, відсутність традиційних холодоагентів.

Сфери застосування:

- швидке заморожування та зберігання риби, м'яса тощо за наднизьких температур. Особливо ефективний для тунця та іншої цінної риби.
- має вузьке застосування, але в подальшому розвитку техніки можна значно розширити використання таких систем та установок.
- вакуумна сублімація (сушіння заморожених продуктів).
- швидке зниження температури для таких галузей, як фармацевтична промисловість та промисловість напівпровідників.



Який з холодоагентів є найбільш перспективним:

За останні 8-10 років досвід застосування в Європі та світі обладнання на CO₂ виявили найбільш доцільні галузі його застосування та призвели до деякого зниження популярності CO₂ для великих систем.

На сьогодні найпередовіші і найбільші світові виробники холодильних компресорів, наприклад Johnson Controls, Mayekawa, GEA, в 2022-2023 р. р. відзначають інтерес споживачів та відповідно виробляють:

- до 85-90% аміачного обладнання,
- до 5-10% обладнання на CO₂
- до 3-5% разом на фреонах та інших холодоагентах

Це пов'язано з висновками експертів та споживачів про доцільність застосування того чи іншого холодоагенту.

Жоден з холодоагентів не може бути заміною всіх існуючих.

Найбільш перспективними для промислового сегмента є аміак та CO₂ та їх комбінації, але доцільність використання необхідно оцінювати у кожному конкретному випадку, враховуючи сумарний еквівалентний тепловий вплив, первинні капіталовкладення, експлуатаційні витрати, у тому числі один з найважливіших факторів – енергоспоживання.

Протягом 2016-2023 р. у Європі та світі було проведено низку порівняльних аналізів, за яких порівнювали повністю аналогічні промислові об'єкти на CO₂, аміаку та фреонах завдяки яким прийшли до деяких висновків щодо доцільності використання того чи іншого холодоагенту на конкретному об'єкті та для вирішення конкретних завдань.

Можна навести такий приклад:

Міжнародна Асоціація Холодильних Складів - International Association of Refrigerated Warehouses (IARW) – періодично проводить моніторинг своїх членів щодо енергоспоживання та оцінює їх у питомих показниках. За 2015 рік у середньому за складами це значення становило 39,6 кВт*год/м³.

Прогнозоване енергоспоживання складу для ГФВ, аміаку (NH_3) та діоксиду вуглецю (CO_2) системи з урахуванням усіх витрат електроенергії на систему (враховуючи відтаювання, керування системою тощо).

Тип системи	кВт*год за рік	відношення кВт*год
Сучасна аміачна система	717 652,0	100%
Транскритична CO_2 -система	868 462,0	121%
Традиційна фреонова система	1 620 859,0	225%

Серед інших членів асоціації компанія HCS (Henningsen Cold Storage) за 2017/2018 рік декларувала за своїми складами в середньому 17 кВт*год/м³. У 2018 року HCS ввело в експлуатацію свій новий склад заморожених продуктів.

Висновки:

Виходячи з наявних даних, ключовими моментами є такі:

- Найбільш перспективними для промислового сегмента є аміак та CO_2 та їх комбінації,
- Система на CO_2 споживає більше енергії у літні та весняно-осінні місяці, але приблизно стільки ж, скільки система на NH_3 у зимові холодні місяці. Загальні енерговитрати перевищують річну витрату аміачної системи на 6-20 % залежно від застосування максимальної модернізації,
- Система на CO_2 споживає набагато менше води, ніж система аміачна. Застосування в системі на NH_3 адіабатичного конденсатора, аналогічного газовому охолоджувачу системи на CO_2 , призведе до різкого зниження споживання води і дорівнюватиме споживанню системи на CO_2 .
- Процес видачі дозволів зазвичай простіший для системи на CO_2 у порівнянні з системою на NH_3 .
- Рентабельність капіталовкладень а обох випадках може бути підвищена за рахунок збільшення зусиль з рекуперації теплоти.
- Необхідно широко впроваджувати каскадні системи, що мають найкращі показники,

Таким чином, говорити про абсолютне лідирування одного технічного рішення щодо застосування типу холодоагенту і принципового рішення над іншими в майбутньому не видається можливим. У кожному випадку питання слід розглядати в комплексі і тільки після повного аналізування вихідних даних можна зробити правильний вибір типу системи та холодоагенту.

Вартість промислових холодильних систем коливається від декількох десятків тисяч євро до десятків мільйонів євро. Для переходу на природні екологічно безпечні холодоагенти неможливо просто перезавантажити установки та системи новими холодоагентами, або виконати простий ретрофіт. Для цього в більшості випадків необхідно провести повну заміну фреонові системи із заміною всього обладнання та трубопроводів. Багато підприємств зараз якщо і працюють, та не зможуть виконати технічне переоснащення та перехід на нові холодоагенти або виконати заміну холодильного обладнання. Нові об'єкти зараз не будуються, а існуючі не модернізуються. Промисловий ринок зараз не готовий до таких навантажень. Небезпека знищення підприємств є на всій території України постійно.

Враховуючи війну в Україні, логічно розглянути відтермінування ратифікації Кігалійської поправки на повоєнні часи.



За цей час необхідно:

- Провести коригування нормативно-законодавчої бази України відповідно до Європейських та світових норм і правил системи сертифікації обладнання. Це спростить постачання та експлуатацію передового холодильного обладнання та забезпечить взаємне признание Українських та світових сертифікатів.
- Відкоригувати Українські законодавчі норми та правила стосовно використання аміаку та CO₂ . Це зменшить ціни на промислове обладнання та кошториси на будівництво, спростить умови експлуатації систем та отримання дозволів,
- Доопрацювати митний реєстр, що забезпечить підвищення контролю за ввезеним обладнання та холодоагентів,
- Провести корегування норм та правил щодо ліцензування ввезення та застосування як фреонів, так і інших Еко небезпечних речовин,
- Підвищити контроль та ввести заборону на ввезення побутового та комерційного обладнання заправленого речовинами з високим (неприпустимим) значенням ПГП (GWP),
- Розробити державну програму застосування промислових теплових насосів.
- Підготувати бази для регенерації або утилізації фреонів та мастила із старого обладнання.
- Сертифікувати сучасні світові холодоносії.