



Огляд застосування ГФВ та альтернативних технологій

Липень 2023 р.

Кліматичний пакет для стабільної економіки (CASE). Проект технічної допомоги в обліку та поетапному припиненні викидів ПГ, ОРР та Ф-газів

Усі матеріали, наведені в огляді, носять інформаційний характер і наводяться виключно з ознайомлювальною метою

Зміст

Скорочення

1. Вступ

.

2. Контекст трансферу технологій

.

3. Альтернативні технології за галузями

.

4. Тематичні дослідження енергоефективності та низького ПГП

.

Додатки

Список літератури

Скорочення

ANSI	Американський національний інститут стандартів
ACEAN	Асоціація держав Південно-Східної Азії
ASHRAE	Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря
ATEX	ATEX стосується 2 директив ЄС: Директиви 99/92/ЄС про безпеку працівників і Директиви 2014/34/ЄС про вимоги до обладнання та захисних систем, призначених для використання у потенційно вибухових середовищах
BEE	Бюро енергоефективності
Caas	Охолодження як послуга
CDV	Голосування проекту комітету
CO ₂ -екв	Еквівалент діоксиду вуглецю з використанням 100-річного потенціалу глобального потепління, якщо не зазначено інше
ECM	Електронно-комутований двигун
EE	Енергоефективність
EER	Коефіцієнт енергоефективності
EESL	Energy Efficiency Services Limited
EETF	Робоча група з енергоефективності
FDD	Виявлення несправностей і діагностика
GCP	Global Cooling Prize
ПГ	Парниковий газ
ППП	Потенціал глобального потепління
ГХФВ	Гідрохлофторвуглеці
ГФВ	Гідрофторвуглеці
HPMP	План управління поступовою відмовою від ГХФВ
Гц	Герц
IATA	Міжнародна асоціація повітряного транспорту
ICC	Додаткові капітальні витрати
IEC	Міжнародна електротехнічна комісія
IGU	Склопакет
IPCC	Міжурядова група експертів зі зміни клімату
ISO	Міжнародна організація стандартизації
JRAIA	Японська асоціація промисловості холодильного обладнання та кондиціонування повітря
KIP	План імплементації Кігалійської поправки
LCC	Витрати життєвого циклу
LED	Світловипромінювальний діод
LLCC	Найменші витрати життєвого циклу
LVC	Низький обсяг споживання
MCHX	Мікроканальні теплообмінники
MEPS	Мінімальні стандарти енергоефективності
NCP/NCAP	Національний план охолодження або Національний план дій з охолодження
ODS	Озоноруйнівна речовина
OEM	Виробник оригінального обладнання
PHEV	Гібридні електромобілі, що підключаються до електромережі
RACHP	Охолодження, кондиціонування повітря та теплові насоси
RDL	Посвідчення користувача холодоагенту
RTF	Оперативна група поповнення

RTOC	Комітет з технічних параметрів холодильного обладнання
SCCRE	Автономне комерційне холодильне обладнання
SEER	Коефіцієнт сезонної енергоефективності
TEAP	Комісія з технологічної та економічної оцінки
U4E	United 4 Ефективність
VIP	Вакуумні ізоляційні панелі
Вт	Ватт

1. Вступ¹

Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар (надалі – Протокол), є знаковою багатосторонньою екологічною угодою, яка регулює виробництво та споживання майже 100 штучних хімічних речовин, які називаються озоноруйнівними речовинами (ОРР).

Прийнятий 16 вересня 1987 року Протокол є одним із небагатьох міжнародних договорів, які ратифіковані всіма державами світу, і передбачає поетапне скорочення споживання та виробництва різноманітних ОРР з різними графіками для розвинених країн і країн, що розвиваються (так звані “країни, що входять до статті 5”). Згідно з цим договором, усі Сторони мають конкретні зобов'язання, пов'язані з поетапним припиненням використання різних груп ОРР, контролем торгівлі ОРР, щорічним звітуванням даних, національними системами ліцензування для контролю імпорту та експорту ОРР та іншими питаннями.

Протокол містить положення, що стосуються заходів контролю (стаття 2), розрахунку рівнів контролю (стаття 3), контролю торгівлі з державами, що не є Сторонами Протоколу (стаття 4), особливій ситуації в країнах, що розвиваються (стаття 5), надання звітності (стаття 7), невідповідності (стаття 8), технічної допомоги (стаття 10), а також інших питань. Речовини, які контролюються згідно з Протоколом, наведені у його Додатках А (ХФВ, галони), В (інші повністю галогеновані ХФВ, чотирихлористий вуглець, метилхлороформ), С (ГХФВ, ГХБрВ, бромхлорметан), Е (бромистий метил) та F (ГФВ).

Протокол змінюється з часом у світлі нових наукових, технічних та економічних досягнень, і до нього постійно вносяться зміни та коригування. Нарада Сторін є керівним органом Протоколу, технічну підтримку їй надає Робоча група відкритого складу. Обидва органи проводять засідання щороку. Сторонам допомагає Секретаріат з питань озону, який знаходиться в штаб-квартирі Програми ООН з навколишнього середовища в Найробі (Кенія).

Групу речовин “гідрофторвуглеці” (ГФВ) було додано до Протоколу як альтернативу, яка не руйнує озоновий шар, для підтримки своєчасної поступової відмови від ХФВ та ГХФВ (Додаток1). ГФВ наразі широко використовуються в кондиціонерах, холодильниках, аерозольних виробках, газонаповнених полімерах та інших продуктах. Загальні викиди ГФВ зростають зі швидкістю 8 % на рік, а річні викиди, за прогнозами, зростуть до 7-19 % глобальних викидів CO₂ до 2050 року. Таким чином, неконтрольоване зростання викидів ГФВ ускладнює зусилля, спрямовані на утримання зростання глобальної температури на рівні або нижче 2 °C цього століття.

Сторони Протоколу досягли згоди на своєму 28-му засіданні Наради Сторін 15 жовтня 2016 року в Кігалі (Руанда) про поступове скорочення споживання низки ГФВ. Країни погодилися додати ГФВ до списку контрольованих речовин і затвердили графік їх поступового скорочення на 80-85 % до кінця 2040-х років.

Шлях до впровадження поступового скорочення ГФВ полягає у зменшенні залежності від альтернатив з високим потенціалом глобального потепління (далі – ПГП) та збільшенні впровадження енергоефективних технологій з низьким ПГП у рамках процесу скорочення викидів CO₂ – “супутньої вигоди для клімату”.

¹<https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>

Кігалійська поправка передбачає різні роки для визначення базового сценарію виробництва та споживання ГФВ і різні графіки поетапного скорочення для двох груп Сторін, які входять до статті 5 (країни, що розвиваються), та двох груп Сторін, які не входять до статті 5 (розвинені країни). У наведеній таблиці показано графік поетапного скорочення споживання ГФВ відповідно до Кігалійської поправки для групи країн, до якої входить Україна.

Розрахунок базового рівня споживання ГФВ	Середній рівень споживання ГФВ в 2011, 2012 і 2013 р. р. плюс 15 % від базового рівня споживання ГХФВ	
Етапи скорочення споживання	I Група	
Етап 1	2019	10 %
Етап 3	2024	40 %
Етап 3	2029	70 %
Етап 4	2034	80 %
Етап 5	2036	85 %

Передбачається, що виконання графіків скорочення обсягів споживання ГФВ Сторонами, які не входять до статті 5, і Сторонами, які входять до статті 5, призведе до скорочення споживання ГФВ з високим ПГП і забезпечить перехід до використання їх заміників, тобто хімічних речовин із низьким або нульовим ПГП. Відповідно до положень Кігалійської поправки, поточних тенденцій у споживанні та викидах, а також національних політик, прогнозується, що внесок ГФВ в глобальне середньорічне підвищення температури поверхні Землі становитиме 0,04 °C у 2100 році. Це значно нижче, ніж за сценарієм без контролю ГФВ, для якого прогнозувався внесок від 0,3 до 0,5 °C.

2. Контекст трансферу технологій²

Відповідно до рішення XXXIII/5 про “Продовження надання інформації про енергоефективні технології та технології з низьким потенціалом глобального потепління”, Група з технологічної та економічної оцінки при Озоновому Секретаріаті підготували звіт про енергоефективні технології та технології з низьким потенціалом глобального потепління, а також про заходи щодо підвищення та підтримки енергоефективності.

Основні повідомлення звіту такі:

Нагальність пом’якшення глобального потепління була підкреслена в 2021 і 2022 роках як Міжурядовою комісією зі зміни клімату (IPCC), так і на зустрічі COP-26. Робочі групи цієї Комісії підкреслили вразливість і обмеження для адаптації, та показали необхідність негайного значного та стійкого скорочення викидів для обмеження глобального потепління.

Поетапна відмова від ОРР згідно з Монреальським протоколом вже дала змогу уникнути потепління над Арктикою на 1,1 °C до 2021 р., і прогнозується, що до 2050 р. вона становитиме 3-4 °C, що еквівалентно ~25 % пом’якшення глобального потепління.

² [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](#)

Майбутнє поетапне скорочення ГФВ впровадженням Кігалійської поправки може ще більше пом'якшити глобальне потепління - на 0,3-0,5 °С. Одночасне підвищення енергоефективності холодильного обладнання, обладнання для кондиціонування повітря та теплових насосів (далі – RACHP) може подвоїти цю користь для клімату.

Існує чудовий потенціал для зменшення викидів, пов'язаних з енергетикою, одночасно зі скороченням використання та викидів ГФВ. Інтеграція заходів з енергоефективності та скорочення ГФВ створить максимальну екологічну користь за найменших витрат.

Основне використання ГФВ у всьому світі має місце в секторі RACHP. Більша частина цього ГФВ використовується для комфортного охолодження та обігріву, а решта – для охолодження, хоча це співвідношення залежить від регіону. Велика частка викидів парникових газів у секторі RACHP пов'язана з використанням енергії. Співвідношення “непрямих” викидів, пов'язаних з енергією, до “прямих” викидів холодоагентів різняться між країнами залежно від таких чинників як інтенсивність викидів вуглецю під час виробництва електроенергії, рівень витоків для різних видів застосування у секторі RACHP і ПГП використовуваних холодоагентів.

Подальше використання ГФВ з високим ПГП призведе до накопичення великого запасу ГФВ з високим ПГП в обладнанні, що використовується у секторі RACHP. Цей зростаючий запас обладнання, що містить ГФВ з високим ПГП, може призвести до затримки на 20-30 років (термін служби обладнання сектора RACHP у країнах, що розвиваються) кліматичних переваг. Крім того, якби ГФВ з високим ПГП містилися в неефективному обладнанні сектору RACHP, це створило б надмірний попит на енергію (непрямі викиди) протягом того самого періоду.

У всіх секторах можливо значно підвищити енергоефективність. Загальна енергетична вигода від поступового скорочення ГФВ залежить від виду застосування обладнання сектору RACHP, сектора та використовуваних альтернатив ГФВ.

Невеликі герметичні системи мають низький рівень витоку (наприклад, побутові холодильники, автономне комерційне охолодження (SCCRE)). Прямі викиди з герметичних систем під час нормальної роботи є низькими, і тому **важливе значення має контроль використання холодоагенту в кінці терміну служби**. Енергоефективність нового обладнання поступово покращується, тому впровадження нового обладнання, що працює на альтернативах з низьким ПГП, одночасно зменшує споживання енергії. Відповідно, підвищення ефективності також зменшує пікове навантаження.

Швидкий перехід на холодоагенти з низьким ПГП завадить встановленню обладнання, що містить холодоагенти з високим ПГП. Це негайно зменшить значні прямі викиди та довгострокові вимоги щодо обслуговування обладнання на ГФВ з високим ПГП.

Обслуговування та навчання є критично важливими.

Ринок кондиціонерів для невеликих приміщень продовжує зростати, особливо в країнах, що розвиваються, з високою температурою навколишнього середовища. Альтернативи ГФВ з низьким і середнім ПГП використовуються в дедалі ефективнішому обладнанні.

3. Альтернативні технології за галузями

3.1 RACHP – холодильне обладнання, обладнання для кондиціонування повітря та теплові насоси³

На сектор RACHP припадає від 80 до 85 % глобального еквіваленту ГФВ CO₂-викидів. Крім того, покращене обладнання та ефективність системи можуть подвоїти пом'якшення глобального потепління. З метою глибшого розуміння потенціалу енергоефективності в секторі RACHP Група з технічної та економічної оцінки (TEAP) на момент складання цього документа підготувала вже вісім звітів⁴, подальша робота триватиме і, відповідно, їх кількість з плином збільшуватиметься.

Сторони Монреальського протоколу мають унікальну можливість мінімізувати глобальне потепління (і, як наслідок, вплив на клімат), використовуючи синергію з енергоефективністю (ЕЕ) під час поступового скорочення споживання ГФВ. У звітах TEAP також підкреслюється, що багато енергоефективних технічних інновацій завдяки використанню холодоагентів із низьким ПГП в обладнанні сектору RACHP широко доступні і стають доступнішими. Загалом ЕЕ можна підвищити або збільшити за рахунок оптимізації конструкції обладнання, зменшення навантаження, належної роботи та належного обслуговування обладнання сектора RACHP.

Моделювання прямих (пов'язаних з холодоагентом) викидів парникових газів і непрямих (пов'язаних з енергією) викидів парникових газів від роботи обладнання сектору RACHP дає цінну інформацію про важливість зв'язку підвищення енергоефективності з поступовим скороченням ГФВ. Ранні результати використання моделі ГФВ (Додаток 2), показують, що непрямі викиди парникових газів, пов'язані з енергетикою, складають **близько 70 %** від загальних викидів парникових газів у секторі RACHP. Вони також означають, що поєднання швидшого скорочення ГФВ з високим ПГП із подальшим підвищенням ефективності забезпечує значні додаткові переваги у зменшенні загальних викидів. **Ці результати також свідчать про те, що існує великий потенціал скорочення як прямих (>90 %), так і непрямих викидів (>98 %) до 2050 року порівняно зі сценарієм “business-as-usual”.** Це не враховуючи подальші заходи щодо декарбонізації, які в різному ступені плануються у усьому світі.

Ефективне впровадження ЕЕ в секторі RACHP може призвести до скорочення майбутнього глобального споживання електроенергії до 20 %, що може сприяти зменшенню забруднення повітря на 9-16 %. Зменшення споживання електроенергії також означає зниження викидів в енергетичному секторі, за оцінками, на 5-10 % для діоксиду сірки (SO₂), 8-16 % для оксидів азоту (NO_x) і 4-9 % для дрібних частинок⁵.

Таким чином, ЕЕ в секторі RACHP є особливо актуальною для зменшення зростання попиту на електроенергію, оскільки воно може сприяти до 50 % цього зростання.

³ <https://ozone.unep.org/system/files/documents/RTOC-assessment%20-report-2022.pdf>

⁴ Ці звіти доступні на веб-сайті ЮНЕП з питань озону за адресою:

<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

⁵ Purohit et al., 2020, <https://acp.copernicus.org/articles/20/11305/2020/>

3.1.1 Інформація про альтернативи ГФВ

Згідно з дослідженнями, 83 % світових холодоагентів становлять фторвуглеці, 11 % – неорганічні речовини, а 6 % – вуглеводні⁶.

Найпоширеніші ГФВ зазвичай використовуються у таких системах:

1. R-134a – використовується в автомобільних системах кондиціонування повітря та середньотемпературних холодильних системах.
2. R-404A – використовується в низько- і середньотемпературних холодильних системах.
3. R-407C – використовується в системах кондиціонування та охолодження.
4. R-410A – використовується в житлових і комерційних системах кондиціонування повітря.
5. R-32 – використовується в системах кондиціонування та охолодження.
6. R-125 – використовується як холодоагент у промислових і комерційних холодильних системах.
7. R-143a – використовується як холодоагент у низькотемпературних холодильних системах.

Використання ГФВ поступово припиняється через їхній високий ПГП та розробку більш екологічних альтернатив.

Тенденція галузі полягає в тому, щоб все більше переходити до природних холодоагентів, коли це технологічно безпечно та економічно доцільно. Синтетичні холодоагенти все ще відіграватимуть важливу роль як у холодильній техніці, так і в кондиціонуванні повітря, де також має місце тенденція до використання нових речовин із низьким ПГП, які мають мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Для сектора RACHP інформацію про альтернативи ГФВ розподілено за різними сферами застосування. Сфери застосування включають: герметичні побутові та комерційні прилади заводської готовності, роздрібну торгівлю харчовими продуктами та сервісне холодильне обладнання, транспортне холодильне обладнання, кондиціонери та теплові насоси повітря-повітря, мобільні кондиціонери/теплові насоси, промислове охолодження та теплові насоси лише для опалення.

Аміак (NH₃ – R-717) має чудові термодинамічні властивості порівняно з ГФВ. Важливими перевагами аміаку є його стійкість до звичайних мінеральних олій, низька чутливість до невеликої кількості води в системі, простота виявлення витоків, необмежена доступність і те, що вартість (за 1 кг) значно нижча, ніж вартість ГФВ. ПГП і ОРП (потенціал руйнування озонового шару) аміаку дорівнюють нулю.

Аміак є одним із найбільш енергоефективних холодоагентів у сферах застосування від високих до низьких температур. Зі збільшенням уваги до енергоспоживання аміак є екологічним вибором на майбутнє. Аміак має кращі властивості теплопередачі, ніж більшість хімічних холодоагентів, тому витрати на будівництво та експлуатацію холодильної системи будуть нижчими. Однак він непридатний до використання в побутових, автомобільних і малих комерційних холодильних і теплових насосних системах через різкий запах і горючість. Навпаки, їдкий запах аміаку також допомагає легко виявити витік за концентрації всього 5 ppm у повітрі, тоді як концентрація, що визначається як аварія, в тисячу разів більша (<https://ammonia21.com/news/>).

⁶ Booten, C.W., et al., Refrigerants: Market Trends and Supply Chain Assessment. 2020, National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States)

CO₂ (R-744) добре підходить для роздрібної торгівлі продуктами харчування, де вплив у разі витоків мінімальний і де термодинамічні властивості роблять його ідеальним середовищем для рекуперації теплоти. Значення ПГП CO₂ дорівнює 1. Транскритичні цикли CO₂ відводять значну частину теплоти циклу за високих температур, що робить його придатним для теплових насосів. У промисловому охолодженні CO₂ є засобом для зменшення кількості аміаку у каскадних 2-ступеневих системах. У транспортному охолодженні та охолодженні електроніки CO₂ є негорючим екологічно безпечним рішенням (<https://r744.com>).

Географічне розташування впливає на енергоефективність будь-якої системи через температуру зовнішнього середовища.

Відомо, що транскритичні системи, що працюють на CO₂, надзвичайно чутливі до зовнішніх температур. Однак останні розробки з ежекторними технологіями серйозно підвищили ефективність системи CO₂ навіть у дуже теплом кліматі, і зараз спостерігається прорив на ринку забезпечення комерційних холодильних систем середніх та великих магазинів (супер- та гіпермаркетів), який набирає обертів.

Вуглеводні (R-290, R-600) забезпечують високу енергоефективність, хорошу об'ємну теплопродуктивність і великі робочі зони порівняно з ГФВ. Горючість обмежує використання невеликими системами та чилерами. Їх використання дає змогу підтримувати дуже низькі температури випаровування без перегріву компресора під час використання в теплових насосах (у випадку з ГФВ потрібно додати електричний нагрівальний елемент для дуже холодних днів або більш дорогих циклів впорскування пари/рідини). За теплофізичних і експлуатаційними характеристиками R-600a також перевершує R-134a. Холодильні агрегати на R-600a працюють за нижчого тиску в робочому контурі холодоагенту, що характеризується меншим рівнем шуму, і сприяє довговічності установки. Ізобутан дуже добре розчинний у мінеральній олії. Ізобутан – природний газ, продукт нафтопереробки. Практично будь-який нафтопереробний завод може приступити до випуску ізобутану в необхідних кількостях (<https://hydrocarbons21.com/>).

Можна зробити такі висновки щодо використання природних холодоагентів:

Природні холодоагенти слід вивчати та максимально експериментувати з ними, оскільки майбутні правила щодо синтетичних холодоагентів можуть бути більш суворими.

Вуглеводні та їх суміші служать хорошими холодоагентами для різних систем охолодження та кондиціонування повітря.

Чисті вуглеводні R-290 замість R-22 і R-600a замість R-12 і R-134a вважаються придатними для систем кондиціонування повітря та охолодження відповідно.

Крім того, суміш R-290/R-600a та суміш R-290/R-1270 можуть бути хорошими заміниками R-12 та R-22 відповідно.

Недоліки вуглеводнів, такі як горючість і токсичність, можна подолати використовуючи відповідно мінімальний заряд і ретельну систему виявлення витоків.

Горючість також може бути знижена, якщо вуглеводні використовуються в сумішах.

Суміші ГФВ/ГФО із середнім ПГП – перехідне рішення, яке можна використовувати для модернізації систем ГФВ з високим ПГП. Рішення із середнім ПГП <1500 і негорючі суміші особливо показані там, де зарядка внутрішньої системи може бути проблемою, а альтернативна архітектура системи занадто дорога.

Легкогорючі ГФВ і ГФО. Низький ПГП і низька горючість ГФО роблять ці холодоагенти придатними для відносно великих систем. Це являє собою найбільший інтерес для систем кондиціонування повітря, де не вистачає негорючих (A1) природних альтернатив.

Перехід підприємств на речовини з низьким потенціалом глобального потепління (ПГП), природні холодоагенти з нульовим ПГП і гідрофторолефіни (ГФО) залежатиме від низки чинників. Можна виділити деякі з ключових питань для оцінки можливості цього переходу, а саме:

Наявність альтернативних технологій. Однією з основних перешкод для переходу на речовини з низьким ПГП є наявність відповідних альтернатив (Додатки 3-10). Хоча існує цілий ряд природних холодоагентів і ГФО, їх застосування може бути обмежене такими факторами, як енергоефективність, безпека та сумісність з існуючими системами.

Вартість та доступність альтернатив. Іншим важливим моментом є вартість переходу на речовини з низьким ПГП. У деяких випадках вартість модернізації або заміни обладнання для використання нових холодоагентів може бути непомірно високою, особливо для малих підприємств або підприємств з обмеженими ресурсами.

Нормативні вимоги. Уряди в усьому світі впроваджують нормативні акти та політику, спрямовану на сприяння використанню холодоагентів із низьким ПГП, що може стимулювати підприємства переходити на ці альтернативи. Однак нормативні вимоги також можуть створити проблеми для бізнесу, особливо якщо перехід потрібен протягом короткого періоду часу.

Уподобання споживачів. Нарешті, уподобання споживачів також можуть зіграти певну роль у переході на холодоагенти з низьким ПГП. Наприклад, деякі споживачі можуть бути готові платити більше за продукти, які є екологічно чистими, тоді як більшість споживачів будуть віддавати пріоритет іншим чинникам, таким як вартість або продуктивність.

Загалом, хоча перехід підприємств на холодоагенти з низьким ПГП може бути складним у короткостроковій перспективі, довгострокові переваги скорочення викидів парникових газів і пом'якшення зміни клімату роблять його важливою метою для компаній і суспільства в цілому.

3.1.2 Побутове холодильне обладнання

Сьогодні все світове виробництво побутової холодильної техніки базується на холодоагентах, переважно R-600a (ізобутан) і певною мірою R-134a. Ізобутан (R-600a) є довгостроковим вибором для побутових холодильників, у яких кількість холодоагенту менше 150 грамів. З моменту появи в Європі в 1994 році холодильники R-600a завойовують ринок і мають хороші показники безпеки, що означає, що застосовані заходи безпеки ефективно подолали високу горючість R-600a. R-1234yf розглядається як заміна R-134a, головним чином для можливого застосування в системах із зарядом більше 150 грамів. Очікується, що перехід від R-134a до R-600a триватиме відповідно до графіка Кігалійської поправки або місцевих норм щодо ГФВ. У ЄС перехід на R-600a в нових побутових холодильних приладах було завершено до 2015 року. У США було досягнуто значного прогресу в переході з R-134a на R-600a, і планувалося, що це буде завершено до 2023 року. Китай, Індія та інші країни припиняють використання R-134a у побутових

холодильниках. Енергоефективність холодильників постійно зростає завдяки мінімальним стандартам енергоефективності (MEPS) і підвищенню обізнаності споживачів.

R-600a залишається основною альтернативою R-134a. Завдяки використанню в холодильному контурі невеликої кількості холодоагенту (близько 65 г) виключено проблему його швидкої горючості. До цього часу не було розроблено нових альтернатив, що мають таку саму енергоефективність і конкурентоспроможну ціну. Маючи нижчу вартість, ніж ГФВ-134a, R-600a вимагає додаткових капіталовкладень для збільшення розміру компресорів. Також можуть зрости виробничі витрати на виконання вимог до безпечності систем.

Почалися дослідження можливостей застосування R-1234yf замість R-134a, проте ці розробки не розглядаються як першочергове завдання. Менша порівняно з R-600a горючість дозволяє знайти застосування R-1234yf у країнах із суворими обмеженнями на використання R-600a. Розглядається також можливість використання R-744 (CO₂), проте його впровадження потребує істотних додаткових витрат.

3.1.3 Комерційне (торгівельне) холодильне обладнання

Автономні комерційні холодильні прилади, які використовуються в усьому світі, представлені у широкому спектрі, включаючи морозильні камери для морозива, автомати для приготування льоду, автомати з продажу напоїв, вітрини тощо. Типові холодоагенти, що використовуються, включають R-134a, R-404A та вуглеводні. З переглядом стандартів безпеки в системах з низьким зарядом відбувається перехід на R-290 з кращою енергоефективністю.

Транснаціональні компанії, які постачають холодильне обладнання роздрібним торговцям продуктів харчування та напоїв, зазвичай мають власну екологічну політику, яка надає перевагу холодоагентам із нижчим ПГП і підвищеною енергоефективністю. Комерційні холодильні системи, як правило, встановлюються в роздрібній торгівлі продуктами харчування та на складах харчових продуктів і характеризуються холодною потужністю обладнання від 2 кВт до приблизно 1,5 МВт. Ці системи, як правило, розроблені на замовлення відповідно до місця розташування. Через те, що вони не виготовлені на заводі як герметичні блоки, показники витоків холодоагенту набагато вищі, ніж в автономному комерційному SCCRE. Ці комерційні холодильні системи створюють два основних температурних режиму:

середньотемпературний режим роботи від 0 °C до 8 °C для зберігання свіжих продуктів і напоїв;

низькотемпературний режим роботи від -18 °C до -25 °C для заморожених продуктів і морозива.

Комерційне холодильне обладнання працює цілий рік, тому енергоефективність стає важливим чинником. Для регіонів з помірним і холодним кліматом рекуперація тепла з холодної системи для обігріву в холодну пору року може підвищити загальну ефективність системи. Великі комерційні холодильні системи можна загалом класифікувати як віддалені конденсаційні установки та централізовані або розподілені системи. Дистанційні конденсаційні блоки – це невеликі спліт-системи (зазвичай потужністю від 2 до 20 кВт), які обслуговують одну або дві вітрини з одним компресором і конденсатором, розташованими за межами зони роздрібною торгівлі. Централізовані системи (зазвичай у діапазоні потужностей від 50 до 500 кВт) працюють з

мультикомпресорними блоками, встановленими в машинному відділенні, і зовнішніми конденсаторами. Розподілені системи (зазвичай у діапазоні потужності від 20 до 50 кВт) мають компресори на дахах чи на вулиці, тоді як охолоджуючі елементи знаходяться у вітринах або холодильних камерах. Централізовані та розподілені системи також можна класифікувати як “прямі”, коли холодоагент потрапляє в торгівельну зону або зайнятий простір, і “непрямі”, коли холодоагент обмежується машинним відділенням, і лише вторинна рідина, як-то етиленгліколь, потрапляє в зайнятий простір. За характером двох систем прямі системи є більш енергоефективними і тому є кращою та домінуючою архітектурою.

В аспекті енергоефективності для будь-якої холодильної системи більш актуальним є споживана електроенергія. Зменшення споживання електроенергії може відбуватися за рахунок зменшення навантаження на холодильний агрегат, удосконалення конструкції компонентів і системи охолодження, а також оптимального керування, експлуатації та обслуговування системи.

Вибір конденсаційного агрегату з найвищим класом ефективності може здатися найбільш очевидним першим кроком. Хоча це може бути так, важливіше вибрати пристрій, який може забезпечити найвищу ефективність або найменше споживання електроенергії в тих умовах, за яких пристрій найімовірніше працюватиме.

Альтернативи ГФВ в торгівельному (комерційному) холодильному обладнанні цьому секторі наведені в додатку 8.

3.1.4 Промислове холодильне обладнання

Для великих комерційних і промислових систем використовуються різні технології, що мають широкий діапазон температур та існує багато стандартів безпеки. Тому можна використовувати різноманітні холодоагенти. Незважаючи на те, що ГФВ часто використовуються, природні холодоагенти, такі як аміак і діоксид вуглецю, завойовують значну частку ринку. Наприклад, у великих будівлях (аеропорти, лікарні) і промислових підприємствах (фармацевтика, харчова промисловість) використовується аміак (R-717), оскільки він забезпечує безпеку, необхідну для роботи з цією рідиною (клас B2L; вища токсичність і нижча горючість). Тенденція полягає в зменшенні заряду та дослідженні таких застосувань як чилери, високотемпературні теплові насоси та каскадні системи з діоксидом вуглецю⁷.

Крім того, легкогорючі вуглеводні (клас A3 – низькотоксичні та легкогорючі холодоагенти) застосовуються в комерційних холодильних машинах і на таких об'єктах як нафтопереробні заводи, де робота з легкогорючими рідинами вже добре налагоджена. У більшості випадків промислове використання вимагає великої потужності охолодження, що дозволяє використовувати різні технології, такі як абсорбційні системи, гвинтові компресори, відцентрові компресори та інші.

Сектор промислового холодильного обладнання складно охарактеризувати, оскільки існує дуже широкий діапазон вимог до охолодження з точки зору температурного рівня, необхідної холодопродуктивності та технологій виробництва. Багато промислових систем

⁷ Hafner, A. and R. Ciconkov, Current state and market trends in technologies with natural refrigerants. 9th Conference on Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies Ohrid, R. Macedonia, 2021, International Institute of Refrigeration

– це обладнання з великою продуктивністю (до десятків МВт) і обсягом заправки холодоагенту до десятків тонн. Однак не всі промислові системи є агрегатами великої продуктивності – на багатьох заводах використовуються численні холодильні системи малої та середньої продуктивності.

Для полегшення розуміння принципу використання холодоагентів, виділення сфер, в яких вже використовуються хороші альтернативи ГФВ, і тих, які можуть виявитися більш проблемними, сектор промислового холодильного обладнання був розділений на три підсектори. Це:

а) системи малої та середньої продуктивності – зазвичай призначені для забезпечення конкретної необхідної холодопродуктивності. Ці системи часто розташовані поблизу об'єкта охолодження;

б) системи централізованого холодопостачання великої продуктивності (з використанням одного холодоносія). Такі системи використовуються для охолодження з високою продуктивністю в швидкоморозильних апаратах з інтенсивним рухом повітря, у технологічних теплообмінниках та холодокомбінатах. Первинний охолоджувач подається з центрального машинного відділення (в якому знаходяться холодильні компресори високої продуктивності) в кілька випарників, які обслуговують один або кілька об'єктів охолодження. Первинний холодоносій часто циркулює на значних відстанях (сотні метрів);

в) холодильні системи великої продуктивності з вторинним контуром (з двома холодоносіями) – первинний охолоджувач використовується для охолодження вторинного охолоджувача, який подається до кількох об'єктів охолодження.

У багатьох промислових холодильних системах використовуються ГФВ, зокрема R-134a в чилерах великої продуктивності, а також R-407C та R-410A в установках малої та середньої продуктивності. У багатьох країнах Європи та світу зараз значна частина промислових чилерів великої продуктивності використовує R-717.

У більшості систем централізованого холодопостачання великої продуктивності використовують R-717 або R-22. ГФВ-суміші непридатні до використання в системах великої продуктивності через температурний гістерезис.

Аміак (R-717) широко використовується протягом десятків років у великих промислових системах (<https://ammonia21.com/news/>). У невеликих промислових системах історично широко використовувалися ГФВ, такі як R-404A та R-134a. Дивлячись вперед, R-717 і R-744 є домінуючими варіантами для великих промислових систем (наприклад, у виробництві харчових продуктів і напоїв, а також масовому холодильному зберіганні), з вуглеводнями, що використовуються в деяких великих спеціалізованих застосуваннях (наприклад, у нафтохімічній промисловості). У менших системах починають використовуватися суміші класу A2L (низькотоксичні та важкогорючі холодоагенти), такі як R-454C і R-455A.

Результатом міжнародних зобов'язань щодо скорочення споживання може стати недоступність або дефіцит холодоагентів, перш за все, з вищим ПГП (це стосується R-404A, R-507, R-407 та R-410A).

Вони все ще використовуються в нових системах, тому технічне обслуговування цих систем буде проблематичним задовго до очікуваного закінчення терміну служби та рециклінгу холодоагенту, особливо у разі витоку останнього.

Альтернативи ГФВ в промисловому холодильному обладнанні наведені в Додатку 5.

3.1.5 Холодильне обладнання на транспорті

Для транспортного охолодження більшість вантажівок і причепів сьогодні використовують R-404A. Для нового обладнання в Європі зазвичай використовується альтернатива R-452A з нижчим ПГП класу A1 (низькотоксичні та негорючі холодоагенти). Легкі комерційні транспортні засоби використовують переважно R-134a, тоді як деякі нові платформи використовуватимуть R-1234yf. Більшість морських ISO-контейнерних холодильних установок працюють на R-134a. Останні з цих блоків пропонуються як модернізовані до R-513A. Морський контейнер, що працює на R-744, доступний з обмеженим проникненням на ринок. Очікується, що ПГП використовуваних холодоагентів буде знижуватися відповідно до чинних і майбутніх норм; темпи, з якими відбуватиметься перехід, невідомі, оскільки транспортні правила ускладнюють впровадження легкогорючих холодоагентів (наприклад, Угода про міжнародне перевезення швидкопсувних харчових продуктів і про спеціальне обладнання, яке використовується для таких перевезень (Регламент АТР)). Деякі експерти прогнозують, що довгострокове рішення базуватиметься на R-290 або R-744. Тенденція до підвищення ефективності (меншого споживання палива) продовжується в усіх сегментах промисловості паралельно. На борту різних типів суден використовуються різні холодоагенти. Сьогодні ГФВ замінюються альтернативними системами, які знаходять свій шлях з інших сегментів ринку, такими як R-744 для охолодження води та систем зберігання їжі або R-1234ze(E) для холодильних машин на круїзних лайнерах. Сьогодні використання R-717 відроджується на багатьох суднах, зокрема на рибальських.

3.1.6 Побутові кондиціонери повітря

На додаток до широкого використання R-410A у багатьох країнах світу продовжується широке впровадження R-32 (ПГП=675) у невеликих спліт-кондиціонерах, що становить майже половину загального виробництва кімнатних кондиціонерів у 2021 році. Підприємства у всіх регіонах світу продовжують оцінювати та розробляти продукти з різними сумішами ГФВ/ГФО, наприклад ті, що містять R-32, R-125, R-134a, R-1234yf та R-1234ze. Випускаються продукти з альтернативами, що мають нижчий ПГП, R-454A, R-454B, R-452B і R-463A. Триває подальше переобладнання виробничих ліній на R-290 у Китаї, Південно-Східній Азії та Південній Америці, але впровадження на ринок обмежене (за винятком малих і портативних пристроїв). Деякі підприємства на Близькому Сході все ще вважають R-407C і R-134a, а в деяких випадках і R-410A сприятливими альтернативами R-22.

Прикладні системи охолодження будівель використовуються в будівлях середнього та великого розміру. Їм потрібні інженерні послуги для проектування та встановлення систем кондиціонування повітря у великих будівлях усіх типів. Домінуючою продукцією, що використовується в цих системах, є охолоджувачі води, хоча також можна використовувати комерційний унітарний продукт. Зараз на всіх основних ринках є повні лінії холодильних установок усіх типів, які використовують холодоагенти з нижчим ПГП, ніж їхні попередники. Крім того, нефторовані холодоагенти, наприклад аміак і вуглеводні, доступні в деяких типах холодильних установок. Продукти, що використовують існуючі холодоагенти, будуть продовжувати продаватися, а встановлена база цих продуктів

залишатиметься в експлуатації протягом наступних років. Незважаючи на нові варіанти холодоагентів, які зараз доступні для нового та існуючого обладнання, вони можуть бути не остаточними. Існує постійний тиск з боку регуляторів щодо переходу до ще одного покоління з нульовим ОРП і майже нульовим ПГП, якщо це технічно можливо та економічно обґрунтовано. Нові холодоагенти, які замінюють R-134a (середній тиск) і R-410A (високий тиск), включають легкогорючі холодоагенти з класом безпеки A2L (низькотоксичні та важкогорючі холодоагенти). Правила безпеки, які дозволяють використовувати холодоагенти класу A2L, підтвержені останніми дослідженнями, написані, але не є єдиними та прийнятими в усіх регіонах. Це не є дрібницею, оскільки йдеться про здоров'я, безпеку та майно. Прийняття та виконання переглянутих кодексів і стандартів може сповільнити впровадження нових легкогорючих холодоагентів.

3.1.7 Транспортні кондиціонери повітря

Після поступової відмови від фреонів у країнах, які не відносяться до статті 5, у середині 1990-х років усі транснаціональні виробники автомобілів перейшли з використання R-12 на R-134a. До 2012 року всі автомобільні системи МАС створювалися з використанням R-134a, і в 2016 році це був домінуючий холодоагент, який використовувався в нових автомобільних системах МАС.

Директива ЄС 2006 року про МАС вимагає використання холодоагенту з ПГП нижче 150, починаючи з 2013 року для нових моделей і з 2017 року для всіх нових транспортних засобів, що продаються в ЄС. Це законодавство спонукало розробників МАС і виробників автомобілів до великої роботи, щоб визначити відповідну альтернативу R-134a з низьким ПГП.

R-744 (CO₂, ПГП=1) спочатку був провідним претендентом, хоча його властивості вимагали серйозної переробки систем МАС (наприклад, дуже високий робочий тиск і робота за транскритичних умов). Було значне занепокоєння щодо можливого збільшення капітальних витрат та енергоефективності.

У 2009 році було випущено R-1234yf (ПГП = 4) і він швидко став більш популярним вибором серед виробників автомобілів, оскільки має властивості, які майже відповідають властивостям R-134a. Головне занепокоєння щодо R-1234yf полягає в тому, що на відміну від R-134a та R-744 він є "помірно" горючим (клас безпечності A2L). Виробники автомобілів провели широкі випробування на безпечність і більшість дійшли висновку, що R-1234yf можна безпечно використовувати в автомобільних кондиціонерах.

Автомобілі, що використовують R-1234yf, почали випускати з 2013 року. З січня 2017 року всі нові автомобілі в ЄС використовували R-1234yf, і цей холодоагент також почали використовувати в інших регіонах, включаючи США та Японію.

Законодавство в різних країнах вимагатиме переходу на холодоагент із низьким ПГП (наприклад, Туреччина з 2018 року, Південна Корея з 2020 року, США та Канада з 2021 року та Японія з 2022 року). Цей перехід, ймовірно, буде досягнуто в цих регіонах завдяки використанню R-1234yf, і транснаціональні виробники автомобілів, ймовірно, стандартизують використання одного холодоагенту, як це було в 1990-х роках, коли вони перейшли на R-134a.

Кілька виробників автомобілів, особливо в Німеччині, все ще розробляють системи на R-744. Обмежена кількість автомобілів продається з R-744. Незрозуміло, чи буде це зростаюча тенденція, чи переважатиме єдиний глобальний холодоагент для МАС.

Ситуація в країнах, які входять до статті 5, спочатку залежатиме від того, імпортуються чи виготовляються автомобілі на місці. Країни, які в основному імпортують автомобілі від великих міжнародних виробників, швидше за все, будуть більше використовувати R-1234yf, оскільки ці виробники переходять на єдиний глобальний холодоагент. Великі країни, які входять до статті 5, із місцевим виробництвом можуть вирішити продовжити використання R-134a, оскільки це дешевший холодоагент.

Наразі для кондиціонування повітря в автомобілях і легких вантажівках використовується більше одного холодоагенту: R-134a залишатиметься широко поширеним у всьому світі, тоді як R-1234yf наразі є основним варіантом у Європі та Північній Америці. Розгортання високоелектрифікованих транспортних засобів (гібридних електромобілів (PHEV) і електромобілів на акумуляторах (BEV)) у Європі, Китаї та Північній Америці призведе до впровадження функції теплового насоса та нового покоління теплових систем. Виробники працюють над удосконаленням цієї функції, використовуючи варіації циклу, такі як економайзер у поєднанні з компресорами з упорскуванням пари. R-744 все частіше застосовується в повністю електрифікованих транспортних засобах завдяки його хорошим характеристикам при роботі як реверсивного теплового насоса. Однак R-744 менш підходить для жаркого та вологого клімату, де енергоефективність нижча, ніж у систем R-134a та R-1234yf. Тому деякі європейські виробники комплектного обладнання представили реверсивні теплові насоси R-744 для своїх масових моделей BEV, які зараз продаються в ЄС, Північній Америці (Канада) та Китаї. Неможливо передбачити, чи всі ці холодоагенти залишаться на ринку протягом тривалого періоду часу (паралельно). Також незрозуміло, чи сектор автобусів (де зараз використовуються R-22, R-134a, R-407C, R-744 і R-449A та введено R-1234yf) і сектор важких вантажівок слідуватимуть цим тенденціям.

Кондиціонери автобусів і поїздів мають різні конструктивні конфігурації та різні холодоагенти ГФВ. Більші МАС, які використовуються в автобусах і поїздах, часто розташовані в одному блоці, що містить усі компоненти системи. Пристрій виготовлений на заводі та попередньо заправлений холодоагентом. Він встановлюється конструктором транспортного засобу і зазвичай монтується на даху. Зазвичай компресор має електричний привід від основної мережі транспортного засобу (наприклад, від колійного живлення для електропоїзда або від генератора підключений до основного двигуна автомобіля).

У деяких системах невеликих автобусів компресор розташований поруч із головним двигуном транспортного засобу та приводиться в дію через пасове з'єднання. Заправка холодоагенту в цих великих системах МАС зазвичай знаходиться в діапазоні від 2 до 20 кг.

Оскільки автобусні та залізничні системи МАС мають набагато вищу холодопродуктивність, ніж автомобільні МАС (зазвичай у 5-10 разів більші), вони часто використовують холодоагенти для стаціонарних систем кондиціонування повітря, включаючи R-410A (ПГП=2088), R-407C (ПГП=1774) і R-22 (ПГП=1810). Спостерігався повільніший прогрес у напрямку альтернатив з нижчим ПГП, оскільки існує менший нормативний тиск щодо кондиціонування повітря в автобусах і поїздах. Однак, відповідно до Кігалійської поправки, поетапне скорочення використання ГФВ створить нову політику.

Ключовим питанням щодо альтернатив із низьким ПГП буде прийнятність легкогорючого холодоагенту. Оскільки кількість холодоагенту набагато вища, ніж у автомобільних МАС, проблема безпеки є складнішою. Якщо холодоагенти класу A2L

(низькотоксичні та важкогорючі холодоагенти), прийнятні, швидше за все, то R-32 (ПГП=675) буде використовуватися замість R-410A. R-1234yf (ПГП=4) також можна розглянути. Якщо потрібен негорючий холодоагент, можна буде використовувати R-513A або R-450A (обидва з ПГП близько 600 і властивостями, подібними до R-134a). R-744 також випробовується деякими виробниками МАС для автобусів і поїздів (Додаток 9).

3.1.8 Комерційні системи кондиціонування повітря

R-32 (ПГП = 675) використовується в роздільному обладнанні кондиціонування повітря малої продуктивності в Японії з 2012 року та в Європі з 2013 року. Він також підходить для мульти-спліт-систем, VRF-систем із змінною витратою холодоагенту та каналних систем за умови дотримання обмежень на обсяг заправки холодоагенту, передбачених правилами безпеки.

Суміші R-446A (ПГП = 460) та R-447A (ПГП = 582) за властивостями подібні до R-410A. Це можлива альтернатива для мульти-спліт-систем, VRF-систем із змінною витратою холодоагенту та каналних систем за умови дотримання обмежень на обсяг заправки холодоагенту, передбачених правилами безпеки.

Суміші R-450A (ПГП = 601), R-513A (ПГП = 631), R-451A (ПГП = 140), R-447B (ПГП = 150), ГФО R-1234yf (ПГП = 4) та ГФО R-1234ze (ПГП = 7) за властивостями подібні до R-134a. Це можлива альтернатива для каналних та агрегованих моноблочних дахових систем. Холодоагенти, що мають низьку горючість, також можуть бути придатні для даних систем за умови дотримання обмежень на обсяг заправки холодоагенту, передбачених правилами безпеки. Ці холодоагенти не вважаються прийнятними для мульти-спліт-систем та VRF-систем зі змінною витратою холодоагенту через високі капітальні витрати та недостатньо високу ефективність.

Для спліт-систем та VRF-систем зі змінною витратою холодоагент R-410A на цей час є єдиною альтернативою для систем з малою холодопродуктивністю (Додаток 7): <https://ozone.unep.org/meetings/workshop-hydrofluorocarbon-management-2015/presession-documents>. <https://iifiir.org/en/fridoc/low-gwp-refrigerants-status-and-outlook-48-lt-sup-gt-th-lt-sup-gt-informatory-145388>.

3.1.9 Чилери

Варіанти на заміну R-134a в чилерах передбачають компроміс між горючістю, ПГП, ефективністю та об'ємною холодопродуктивністю. Серед двох рідин із наднизьким ПГП R-1234ze(E) має низьку холодопродуктивність, але є більш привабливим, ніж R-1234yf через його кращу ефективність. R-516A та R-513A демонструють подібну ефективність та об'ємну холодопродуктивність. Загалом, негорючий R-513A є хорошим проміжним варіантом, тоді як R-516A можна вважати довгостроковим рішенням. R-515B також може мати довгостроковий інтерес, оскільки він негорючий, а його помірний ПГП =293 можна вважати прийнятним⁸.

У центральних чилерах, системах рекуперації енергії, високотемпературних теплових насосах може використовуватися озонобезпечний, негорючий (класу ASHRAE

⁸ Yang, Z., et al., Analysis of lower GWP and flammable alternative refrigerants. International Journal of Refrigeration, 2021. 126: p. 12-22. Jung, M., Walter, C., Wawzyniak, M., Natural and Environmentally Friendly Refrigerant CO₂, in SAE 2017 Thermal Management Systems Symposium. 2017: Plymouth. MI

A1) холодильний агент гідрофторолефін R-1233zd з максимально низьким рівнем токсичності та значенням потенціалу глобального потепління (ПГП = 1).

R-1233zd застосовується у разі використання мінеральних олів на основі поліолефінів та полібутадієнів (Додаток 6).

3.1.10 Теплові насоси

У теплових насосах за температури вище 100 °C будуть домінувати вуглеводні, частково через їх стабільність за високих температур, частково через ціну рідин і, нарешті, через їхню вищу ефективність.

Теплові насоси, що випускаються сьогодні, використовують холодоагенти R-410A, R-32, R-134a, R-407C, HC-290, R-600a, R-717 і R-744. Більшість нового обладнання зараз використовує R-410A. Обмеження щодо безпеки обмежують використання R-290 моноблочними установками, розташованими поза приміщенням. R-32 і R-454B представлені як альтернативи R-410A з нижчим ПГП. Проблема умов високої температури навколишнього середовища є важливою для теплових насосів, які працюють лише на опалення. Основними параметрами для вибору холодоагенту є ефективність, економічність, безпечність та простота використання. Заміни з використанням сумішей ГФВ з нижчим ПГП були розроблені та готові стати комерційно доступними. Температурні діапазони, в яких можуть працювати R-290 і R-32, кращі, ніж для R-410A, крім того, їх ефективність загалом краща. Застосування R-410A, R-32 або R-290 є найбільш економічно ефективним при використанні в системах малого та середнього розміру (Додаток 10).

Побутові сушильні машини з тепловим насосом (НРТД) значно ефективніші, ніж звичайні сушильні машини з електричним підігрівом, споживаючи лише близько 40-50 % електроенергії звичайних сушильних машин. Частка НРТД продовжує збільшуватися на ринку. Водночас, витрати також суттєво зменшилися. Найбільш часто використовуваними холодоагентами в НРТД є R-134a, R-407C і R-410A. Певний перехід на R-290 (пропан) відбувся, наприклад, у країнах ЄС.

За допомогою свого проекту “Рішення для теплових насосів з низьким зарядом” (LCR290) німецький науково-дослідний Інститут систем сонячної енергії Фраунгофера розробив прості у використанні теплові насоси R-290 для одноповерхових систем опалення, систем центрального опалення, встановлених усередині, і високоефективних систем, встановлених зовні. Робота підтримується консорціумом виробників, які представляють близько 70 % європейського ринку теплових насосів (<https://hydrocarbons21.com/>).

Для теплових насосів можуть використовуватись різні альтернативні технології. Важливим прикладом є механічна рекомпресія пари. Іноді це називають “тепловим насосом із відкритим циклом”. Вона застосовується у деяких промислових системах випаровування чи дистиляції. Виділена пара є джерелом невикористаної теплоти; вона стискається і потім конденсується у теплообміннику з передаванням теплоти процесу випаровування. Вивчаються різні типи теплових насосів із внутрішньою адсорбцією та адсорбційним циклом, проте незрозуміло, чи стане якась із цих технологій комерційно успішною. Адсорбційні системи великої продуктивності іноді використовуються у промисловості.

3.2 Виробництво газонаповнених полімерів

Альтернативи ГФВ вже використовуються сьогодні, більшість із яких забезпечують необхідні технічні переваги для кінцевого пінопласту. Деякі характеристики є специфічними для піноутворювача (FBA), включаючи комерційну доступність, екологічну обґрунтованість або економічну життєздатність і економічну ефективність, а також безпечність для використання в районах з високою щільністю населення (враховуючи проблеми горючості та токсичності, включаючи оцінку ризику). Однак технічні характеристики FBA залежать від кінцевого використання. Виявлено певні проблеми з безпекою FBA у певних ситуаціях із певними типами піни.

Для застосування гнучких та жорстких піноматеріалів, щоб альтернатива була доступною, вона повинна відповідати всім критеріям рішення XXVI/9, тобто вона має бути комерційно доступною, технічно перевіреною, екологічно безпечною, економічно життєздатною та економічно ефективною, а також безпечною у використанні відповідно до вимог Комітету з технічних опцій для піноматеріалів (FTOC). Слід зазначити, що пінопласти зазвичай не обслуговуються, а категорія “легкий в обслуговуванні” вважається невідповідною для пінопластів.

Виробники ряду типів пінопласту відмовилися від озоноруйнівних хлорфторвуглеців (ХФВ) і гідрохлорфторвуглеців (ГХФВ).

Історично склалося так, що перехід від фреонів призвів до значної фрагментації ринку FBA, оскільки жодні замітники не мають таких самих технічних властивостей і низької вартості фреонів. Кожен підсегмент потребував окремого FBA для оптимальної продуктивності з регіональними та національними варіаціями.

Гетерогенний характер ринку FBA зростає із кожним переходом. Ймовірно, жодна FBA не буде оптимальною для всіх підсегментів у майбутньому. Поділів зараз більше, ніж будь-коли. Наприклад, переважна більшість піни в приладах використовує вуглеводні, але деякі компанії використовують ГФВ, гідрофторолефіни (ГФО) або гідрохлорфторолефіни (ГХФО)⁹ для досягнення встановлених високої енергоефективності. Кілька компаній також розглядають суміші ГФО/ ГХФО з метилформіатом (MF) для оптимізації робочих характеристик із вартістю. Нарешті, вміст води в сумішах FBA¹⁰ збільшився за багатьох обставин, щоб зменшити витрати та підвищити продуктивність, і використовується принаймні з одним ГФО/ ГХФО.

Перехід від піноутворювачів у деяких регіонах і сегментах ринку (наприклад, піна для розпилення та екструдований полістирол [XPS]) може бути відкладений через вартість, особливо якщо місцеві норми вимагають вищих теплових характеристик¹¹. Однак під час пандемії ціни на спінювачі ГФВ суттєво зросли, і тепер їх можна порівняти з цінами на спінювачі ГФО/ГХФО до пандемії в деяких країнах, що входять до статті 5. У

⁹ ГФУ або гідрофторолефіни (ГФО) або гідрохлорфторолефіни (ГХФО) є хімічно ненасиченими ГФВ та ГХФВ, відповідно.

¹⁰ Вода реагує з іншими хімічними речовинами, що дозволяє вивільнити діоксид вуглецю як спінювач. Коли вимоги FTOC стосуються води, йдеться про цю реакцію та вивільнений діоксид вуглецю. Це робиться для того, щоб відмежуватись від використання транскритичного діоксиду вуглецю, який є фізичним спінювачем під дуже високим тиском, який все ще ретельно вивчається, але рідко використовується в комерційних цілях.

¹¹ Незважаючи на те, що вартість гідрохлорфторвуглеців (ГХФВ) становила приблизно 20-30 % від вартості ГФВ з високим ПГП, ціна на ГХФВ зростає, оскільки вони поступово припиняють вироблятися в усьому світі. Низька ціна деяких ГФВ з високим ПГП, зокрема ГФВ-365mfc, який заборонений у деяких країнах, що не входять до статті 5, призводить до збільшення частки ринку, що сповільнює перехід на спінювачі з низьким ПГП.

місцях, де використовуються ГФВ, витрати на ГФО/ГХФО будуть вищими, але більш порівнянними, ніж при заміні ГХФВ.

Слід зазначити, що малі та середні підприємства і виробники газонаповнених полімерів для розпилення все ще можуть стикатися з проблемами, пов'язаними з впровадженням ГФО/ГХФО через їх експлуатаційні витрати, а також вуглеводнів через потенційно високі капіталовкладення або непрактичні вимоги безпеки для застосування на місцях. Це залишається невирішеною проблемою для невеликих компаній і польових застосувань для всіх Сторін.

У наведеній нижче таблиці підсумовуються доступні альтернативи ГФВ у газонаповнених полімерах для кожного сектора. Щоб альтернатива була доступною, вона має відповідати всім критеріям рішення XXVI/9 Сторін Монреальського Протоколу (Відповідь на звіт Групи з технологічної та економічної оцінки щодо інформації про альтернативи озоноруйнівним речовинам), тобто бути комерційно доступною, технічно перевіреною, екологічно безпечною, економічно життєздатною і економічно ефективною, а також безпечною у використанні відповідно до вимог FTOS.

Таблиця – Короткий перелік альтернатив ГФВ у виробництві газонаповнених полімерів

Сектор	Коментар	Чи використовуються ГФВ?	Доступні альтернативи
Поліуретановий піноматеріали (крім монтажної піни)	Використовується для підвищення теплових характеристик	Частково	ГФО-1336mzz ГФО-1233zd Метилформіат Метилаль, ізопентан, н-пентан, суміші пентанів
ПУ панелі	Рідко використовується в суцільних панелях, але може використовуватися для покращення теплових характеристик	Так, у розривних панелях, але рідко використовується в суцільних панелях	ГФО-1336mzz ГФО-1233zd Метилформіат Метилаль, ізопентан, н-пентан, суміші пентанів
Однокомпонентні монтажні піни в аерозольній упаковці	Зазвичай використовується для забезпечення безпеки та покращення теплових характеристик	Так	Пропан/бутан
пінополіуретан <i>in-situ</i> та блокові піни	Використовується рідко для покращення теплових характеристик	Так	ГФО-1336mzz ГФО-1233zd Метилформіат Метилаль, ізопентан, н-пентан, суміші пентанів
Екструдований пінополістирол	Деякі використовують для	Так	CO ₂ , ГФО-1234ze, Іноді з CO ₂ як

(XPS)	покращання теплових або конструкційних характеристик		компоненти спінювачів використовуються спирти і прості ефіри, пропан/бутан
-------	--	--	--

Перехід від ГХФВ FBA в деяких регіонах і сегментах ринку (наприклад, піна для розпилення) може бути відкладений через вартість, особливо якщо місцеві норми вимагають вищих теплових характеристик¹². Ціна на спінювачі ГФВ значно зросла під час пандемії та є майже такою ж високою, як ціни на ГФО/ ГХФО до пандемії в деяких країнах, які входять до статті 5. У місцях, де використовуються ГФВ, витрати на ГФО/ГХФО будуть вищими, але більш порівнянними, ніж при заміні ГХФВ.

Нарешті, малі та середні підприємства та виробники засобів для розпилення все ще можуть стикатися з проблемами, пов'язаними з впровадженням ГФО/ГХФО через їх експлуатаційні витрати, а також вуглеводнів через потенційно високі витрати, капіталовкладення або непрактичні вимоги безпеки для застосування на місцях. Це залишається невирішеною проблемою для малих і середніх підприємств і в практичному застосуванні всіх пінопластів для всіх Сторін.

3.3 Протипожежний захист

Виробники засобів протипожежного захисту працювали над розробкою альтернатив галонам, ГХФВ, а тепер і ГФВ протягом більше чотирьох десятиліть, виходячи з дедалі жорсткіших екологічних вимог. Спочатку було проведено широке дослідження для визначення альтернатив галонам, одночасно впроваджуючи вдосконалення технічного обслуговування, обслуговування та зберігання галонів, підвищення обізнаності та навчання користувачів, заміну систем галонів, де це було практично, а також значно покращене управління ризиками. Еволюція альтернатив йшла шляхом вибору хімічних речовин із найбільш подібними характеристиками, а потім дослідження та розробки, включаючи випробування, сертифікацію, аналізи токсичності та безпеки, розробку стандартів та комерціалізацію. Під час цього процесу було розроблено кілька ГФВ для комерціалізації (як агент, так і апаратне забезпечення повинні успішно пройти всі тестування та сертифікацію). Після прийняття Монреальського протоколу розпочалося розроблення газових вогнегасних речовин, яке посилюється після впровадження ГФВ у серійне виробництво Перелік дозволених до використання газових вогнегасних речовин з часом змінюється; на сьогоднішній день до них належать FK-5-1-12 (додекафтор-2-метилпентан-3-он, хімічна формула $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$), IG-541 (суміш N_2 , Ar та CO_2), 2-ВТР (2-бром-3,3,3-трифторпроп-1-ен), IG-01 (Ar), IG-100 (N_2), IG-55 (суміш N_2 та Ar) та CF_3I . Разом з тим, впровадження Кігалійської поправки зумовить необхідність перегляду цього переліку. Окрім названих озонобезпечних газових вогнегасних речовин, як заміники озоноруйнівних газових вогнегасних речовин в окремих випадках використовують вогнегасні порошки і тонкорозпилену воду. Для протипожежного захисту

¹² Незважаючи на те, що вартість ГХФВ становила приблизно 20-30 % від вартості ГФВ з високим ППІ, ціна ГХФВ зростає, оскільки вони поступово припиняють вироблятися в усьому світі. Низька ціна деяких ГФВ з високим ППІ, зокрема ГФВ-365mfc, який заборонений у деяких країнах, що не входять до статті 5, призводить до збільшення частки ринку, що сповільнює перехід на спінювачі з низьким ППІ

інформація про доступність альтернатив ГФВ надається для застосування у таких секторах: цивільна авіація; військова наземна техніка, військово-морські та авіаційні засоби; нафта і газ; загальнопромисловий протипожежний захист і торгове судноплавство. Щоб альтернатива була доступною, вона повинна відповідати всім шістьом критеріям рішення XXVI/9, тобто вона має бути комерційно доступною, технічно перевіреною, екологічно безпечною, економічно життєздатною та економічно ефективною, безпечною у використанні та простою в обслуговуванні, відповідно до критеріїв Комітету з технічних опцій для галонів (НТОС). НТОС зазначає, що деякі альтернативи насправді є альтернативами галонам, а не альтернативам ГФВ. Крім того, у деяких секторах або сферах застосування ГФВ не використовувалися, і немає альтернатив галонам, наприклад, у вантажних відсіках літаків. У цих випадках здається доречним стверджувати, що наразі альтернативи ГФВ не застосовуються.

У наведеній нижче таблиці підсумовуються доступні альтернативи ГФВ в кожному секторі.

Таблиця – Зведення альтернатив для ГФВ у протипожежному захисті

Сектор	Застосування	Чи використовуються ГФВ?	Чи доступні альтернативи?
Цивільна авіація	Вантажні відсіки без постійного перебування людей	Ні	Ні
	Кабіни літаків, кабіни та відсіки для відпочинку екіпажу	Так	Так
	Мотогондолі двигунів і допоміжні силові установки	Так	Ні
	Сміттєві баки для туалетів	Так	Ні
	Флегматизація паливного бака	Ні	Так
	Аварійно-рятувальні машини	Ні	Так
Військова наземна техніка	Відсіки екіпажу	Так	Ні
	Незаселені купе	Так	Так
Військово-морський флот	Нормально зайняті місця	Так	Так
	Приміщення без постійного перебування людей (двигун, обладнання, електрика тощо)	Так	Так
Військова авіація	Двигун і допоміжна силова установка	Так	Ні
	Відсіки з перебуванням людей	Ні	Так
	Сухі відсіки	Так	Так
	Флегматизація паливного бака	Ні	Ні
	Вантажні відсіки	Ні	Ні
Нафтогазова промисловість	Серверні та диспетчерські	Так	Так
	Видобуток вуглеводнів (рідини)	Так	Так
Загальний промисловий протипожежний захист	Приміщення з постійним перебуванням людей, включаючи центри оброблення даних і телекомунікаційні засоби	Так	Так

	Приміщення без постійного перебування людей	Так	Так
Торгове суднопластво	Головні машинні відділення	Ні	Так
	Захист приміщень з постійним перебуванням людей	Так	Так
	Захист приміщень без постійного перебування людей	Так	Так

3.4 Використання в медицині та хімічній промисловості

Для використання в медицині та хімічній промисловості надається інформація про альтернативи ГФВ для такого: аерозолі (споживчі, технічні та медичні), дозувальні інгалятори, розчинники, виробництво напівпровідників та іншої електроніки, а також виробництво магнію.

Аерозолі включають пропеленти та розчинники з відповідними технічними властивостями та характеристиками у складі, призначені для доставки продукту за його прямим призначенням. До пропелентів належать стиснені гази (азот, закис азоту, діоксид вуглецю) або зріджені гази, які є рідкими всередині контейнера під тиском. Зріджені гази включають ГХФВ (наприклад, R-22), ГФВ (наприклад, R-134a, R-152a), ГФО (наприклад, R-1234ze(E)), вуглеводні та диметиллові ефіри (DME). Деякі аерозольні продукти містять розчинники, зокрема ГХФВ, ГФВ, гідрофтороєфіри (HFE), аліфатичні та ароматичні розчинники, хлоровані розчинники, естери, прості ефіри, спирти, кетони та ГХФО (наприклад, R-1233zd(E)). ГХФВ, включаючи ГХФВ R-141b, все ще використовуються і замінюються на ГФВ, HFE та ГХФО. Виробництво аерозолів розвивалося по-різному в кожній країні через правила щодо горючості та безпеки праці, контроль ЛОС та доступність у постачальників ГХФВ, ГФВ або їхніх альтернатив для виробництва аерозолів. Доступність і кількість різних аерозольних продуктів різняться в межах Сторін і регіонів і тісно пов'язана з розвитком місцевої аерозольної промисловості. Отже, альтернативи не обов'язково взаємозамінні через регіональні або місцеві відмінності. Тип аерозольного продукту також може визначати використовуваний пропелент, що може бути пов'язано з вимогами до продуктивності для кінцевого використання або вищою ринковою вартістю продукту, наприклад, дозволом на дорожчий пропелент.

Більш поширеними типами інгаляторів для доставки респіраторних препаратів є дозувальні інгалятори під тиском (pMDI) та інгалятори сухого порошку (DPI). Інші методи доставки ліків у дихальні шляхи включають інгалятори з м'яким туманом (SMI) і небулайзери. DPI та SMI є інгаляторами без пропеленту. Вибір найбільш підходящого методу лікування є комплексним рішенням, яке приймається медичним працівником і пацієнтом. Нерідкі випадки, коли пацієнтам призначають комбінацію ліків у різних пристроях. Існують ГФВ pMDI, які охоплюють усі ключові класи препаратів для лікування астми та ХОЗЛ. Нові альтернативи в натуральному вигляді знаходяться на ранніх стадіях розробки або комерціалізації в pMDI, таких як пропеленти ізобутан, R-152a та R-1234ze(E).

Що стосується розчинників, багато альтернативних розчинників і технологій, розроблених як альтернативи ОРР, також є кандидатами на альтернативу ГФВ. До них належать неприродні технології, такі як водне очищення, напівводне очищення, вуглеводні та кисневі розчинники, а також натуральні розчинники, такі як хлоровані

розчинники та фторовані розчинники, включаючи ГФВ з високим ПГП, не зазначені в Додатку F Монреальського протоколу, і низьким ПГП ГФО, ГХФО та НФЕ з різними рівнями прийнятності. Альтернативи Додатку F використовуються для промивання/очищення та точного очищення електроніки в кількох галузях промисловості, включаючи автомобільну, аерокосмічну, медичну техніку та оптичні компоненти, де потрібен високий рівень чистоти.

Напівпровідники виготовляються формуванням схеми на пластинах на основі кремнію за допомогою хімічних речовин для формування схеми. Останнім часом для цього процесу використовуються процеси сухого травлення з використанням реактивного іонного травлення (RIE). Стінки камери хімічного осадження з парової фази також очищаються за допомогою фторованих хімікатів для видалення накопичення кремнієвих матеріалів. RIE та очищення камери використовують фторовані газоподібні хімічні речовини, включаючи перфторвуглеці (ПФВ), ГФВ, гексафторид сірки (SF_6) і трифторид азоту (NF_3). Найбільш часто використовуваними ГФВ є R-23 (CHF_3), R-41 (CH_3F) і R-32 (CH_2F_2). Очікується, що використання циклічного C_4F_8 , ГФВ R-41, R-32 і перфторбутадієну збільшиться завдяки їх використанню в травленні отворів. ГФВ використовуються лише мінімально для очищення камери. Теплоносії забезпечують регулювання температури пластини під час травлення, що є важливим фактором для травлення отворів із високим співвідношенням сторін. Найпоширенішими фторованими хімічними речовинами, що використовуються як теплоносії, є насичений ПФВ (ПФВ і перфторалкіламін), гідрофтороєфіри та перфторполієфіри. ГФВ (R-134a і R-23) зазвичай не використовуються як теплоносії. Як і виробництво напівпровідників, інше виробництво електроніки, включаючи плоскі дисплеї (FPD), фотоелектричні (PV) і мікроелектромеханічні системи (MEMS), використовують фторовані хімікати для травлення та очищення камер. У цих виробничих процесах переважно використовуються ПФВ, R-23, гексафторид сірки (SF_6) і трифторид азоту (NF_3). У фотоелектричному виробництві ГФВ зазвичай не використовуються. Альтернативою використанню ГФВ у виробництві напівпровідників та іншої електроніки є інші фторовані гази, такі як ПФВ, гексафторид сірки (SF_6) і трифторид азоту (NF_3), багато з яких мають вищий ПГП і нижчий рівень використання, ніж ГФВ, такі як R-32 і R-41.

Покривні гази використовуються у виробництві магнію, процесах лиття та переробці, щоб запобігти окисленню та горінню розплавленого магнію. Більшість (80-90 %) первинного виробництва магнію відбувається в Китаї, за ним йдуть США, Ізраїль і Бразилія. Без захисту розплавлений магній окислюватиметься та займатиметься у присутності повітря та утворюватиме відкладення оксиду магнію (MgO), що значно погіршить якість та міцність кінцевого продукту. Ефективний покривний газ модифікує та стабілізує поверхневу плівку MgO , утворюючи захисний шар, який запобігає подальшому окисленню. Гексафторид сірки (SF_6) є найбільш широко використовуваним покривним газом. Однак SF_6 має ПГП 22 800. Кілька газів із нижчими ПГП були визначені як альтернативи SF_6 , включаючи R-134a (ПГП 1430) і фторкетон (ПГП 0,1), обидва з яких використовуються в промисловості як покривний газ. Показано, що R-134a має достатній захист від розплавлення, але потрібен ретельний вибір газу-розріджувача та концентрації, щоб запобігти руйнівній корозії. Нещодавно дослідники почали досліджувати додавання невеликих кількостей унікальних легуючих елементів (наприклад, Be, Al, Ca) для підвищення стійкості сплаву до окислення та можливого зменшення потреби в газі-покриві.

4 Тематичні дослідження енергоефективності та низького ПГП

Зараз у світі існує багато проектів технічної допомоги щодо впровадження технологій переходу з ГФВ на природні холодоагенти. Нижче наведено приклади проектів, реалізованих ЮНІДО.

Загальний доступ до тематичних досліджень: <https://www.unido.org/>.

Деякі приклади технологій переходу на природні холодоагенти в Україні і світі можна знайти за такими посиланнями:

<https://rmc-global.com/>,

<https://www.ralco.com.ua/>,

<https://ammonia21.com/news/>,

<https://hydrocarbons21.com/>,

<https://www.giz.de/expertise/html/61049.html>,

<https://www.epa.gov/snap/snap-substitutes-sector>,

<https://iifiir.org/en>,

<https://www.facilitiesnet.com/hvac/article/Next-Generation-of-HFC-Alternative-Refrigerants-Are-More-Environmentally-Responsible--17287?source=next>,

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>,

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>,

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>,

<https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/en-gtz-proklima-natural-refrigerants.pdf>

<https://www.facilitiesnet.com/hvac/article/Next-Generation-of-HFC-Alternative-Refrigerants-Are-More-Environmentally-Responsible--17287?source=next>

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>

<https://www.refrigerantsnaturally.com/2023/01/17/go-refrigerants-naturally-support-ambitious-eu-policies/>

4.1. Супермаркет, Йорданія, використання CO₂:

<https://open.unido.org/projects/JO/projects/140045>

Перший супермаркет з використанням CO₂ для охолодження на Близькому Сході

- Покращення досвіду кінцевих користувачів щодо енергозбереження та підготовка місцевих виробників до інноваційних технологій

- Демонстрування доцільності використання альтернатив ГХФВ R-22, які не містять ГФВ, на підприємствах роздрібною торгівлі в країнах із високою температурою навколишнього середовища.

4.2. Йорданія, кондиціонер на даху:

<https://open.unido.org/projects/JO/projects/180169>

Йорданія, велике переведення дахових кондиціонерів на R-290:

- Демонстрування можливості переведення великих комерційних унітарних дахових кондиціонерів потужністю до 400 кВт з ГФВ (R-134а, R-407С, R-410) на пропан R-290 як холодоагент у PETRA Engineering Industries.

- Набуття досвіду щодо додаткових капітальних витрат (ІСС) і додаткових операційних витрат (ІОС), які будуть пов'язані з поступовим припиненням використання ГФВ в комерційному секторі HVAC.

- Глобальні та перспективні рішення для комерційного сектору кондиціонування повітря з дуже високим споживанням ГХФВ та ГФВ.

- Збільшення енергоефективності приблизно на 10-15% (на основі ASHRAE 90.1).

4.3. Гамбія: <https://open.unido.org/projects/GM/projects/120623>

Гамбія, Refr & ACs:

- Сприяння демонстрації, розгортанню та передаванню інноваційних технологій з низькими обсягами використання вуглецю для підвищення енергоефективності систем кондиціонування та охолодження, мінімізуючи викид хімічних речовин, що шкодять озоновому шару.
- Навчання “Супертехніків” поводженню з вуглеводнями.

4.4. Китай, HPMP: <https://open.unido.org/projects/CN/projects/105064>

Китай – перший у світі екологічно чистий кондиціонер, сертифікований Blue Angel:

- Кондиціонер для побутових спліт систем R-290.
- Сертифікація Blue Angel для енергоефективності та низького ПГП.
- Сертифікат Blue Angel від Федерального міністерства навколишнього середовища Німеччини відповідає найвищим стандартам енергоефективності, здоров'я та екологічності побутової техніки.
- Конверсія виробничих ліній у рамках впровадження HPMP UNIDO.
- Поточна установлена потужність: 6 млн. одиниць на рік.

4.5. В'єтнам: <https://open.unido.org/projects/VN/projects/120621>

В'єтнам, холодильні камери:

- Заміна холодильного обладнання R-22 на нові компактні моноблочні холодильні агрегати R-290 повного заводського збирання.
- Основні переваги: висока ефективність охолодження, низьке енергоспоживання, легкість встановлення, малий розмір заряду R-290, повністю зібраний на заводі, повністю автоматичний, мінімальні вимоги до обслуговування, стандартизовані компоненти.

4.6. Філіппіни: <https://open.unido.org/projects/PH/projects/170126>

Філіппіни – проект харчового холодового ланцюга:

Визначати, розвивати та стимулювати застосування:

- Інноваційні технології охолодження з низьким вмістом вуглецю, енергоефективні та бізнес-практики для використання в холодильному ланцюзі харчових продуктів, одночасно підвищуючи безпеку харчових продуктів.
- Встановлення глобального партнерства з національним і міжнародним приватним сектором і співпраця з фінансовими установами для сприяння інвестиціям і підтримки передавання найкращих доступних технологій енергоефективного проектування та практик.

4.8. Свазіленд (Південна Африка): <https://mia.giz.de/cgi-bin/getfile/53616c7465645f5f3321259c932ca13097455e5fabblacdb4afc141ef9cdad4fe75184d781ee280288b5b8708a35d4a177a2ef84039e92fb95849f136c8da520/giz2019-0133en-implications-natural-refrigerants-proklima.pdf>

Свазіленд – побутові та комерційні холодильники, такі як охолоджувачі пляшок і морозильні камери.

Переведення побутових та комерційних холодильників на вуглеводні, такі як охолоджувачі пляшок і морозильні камери. Причини переходу полягали в тому, що вуглеводні є більш енергоефективними порівняно з синтетичними холодоагентами, які

використовувалися раніше. Це забезпечує менші витрати на електроенергію та кращі ОРЕХ. Незважаючи на це, вплив вуглеводнів на навколишнє середовище є незначним порівняно з попередніми холодоагентами, оскільки вони мають нульовий ОРП і низький ПГП. Іншими причинами переходу були низький рівень шуму холодильників і менша вібрація. Нарешті, імідж компанії та очікування ринку щодо екологічно чистих продуктів спонукали виробника на перехід. Крім того, конверсія призвела до економії коштів завдяки меншій кількості холодоагенту та меншим теплообмінникам.

Майже вся виробнича лінія була змінена, включаючи:

- нове обладнання для перевірки герметичності, евакуаційні лінії, зарядне обладнання та зони перевірки продуктивності,
- належне маркування та протипожежне обладнання, запроваджене на заводі, а також
- встановлення системи газосигналізації та вентиляції виробничої лінії.

Основним стандартом, який використовувався для редизайну холодильників був ІЕС 60335-2-89. Однак, якщо розмір заряду перевищував 150 г, застосовувався європейський стандарт EN 378.

4.9. Південна Африка : <https://mia.giz.de/cgi-bin/getfile/53616c7465645f5f3321259c932ca13097455e5fabblacdb4afc141ef9cdad4fe75184d781ee280288b5b8708a35d4a177a2ef84039e92fb95849f136c8da520/giz2019-0133en-implications-natural-refrigerants-proklima.pdf>

Провідний африканський розробник, виробник і постачальник транспортних холодильних систем (ТХС) переважно на внутрішній ринок у Південній Африці, у регіон на південь від Сахари, а також у Східну та Західну Африку.

ТХС включає обладнання з прямим приводом для застосування на малих і середніх транспортних засобах (фургони, невеликі вантажівки), в дизель-електричних системах для охолодження вантажівок, двотемпературних системах (прямі та дизельні електричні), в непрямих системах охолодження з евтектичними пластинами. Основною продукцією за обсягом продажів є дизель-електричні системи. Компанія має чотири виробничі лінії.

Деталі переобладнання:

Початкові холодоагенти: R-404A, R-134a.

Новий холодоагент: R-290 (пропан).

Обсяги споживання R-134a для виробництва транспортних холодильних систем становлять приблизно 300 кг на рік, обсяги споживання R-404A – близько 4100 метричних тон на рік.

4.10. Ініціатива зеленого охолодження від GIZ Proklima (Німеччина): <https://www.green-cooling-initiative.org> Ініціатива зеленого охолодження спрямована на сприяння використанню природних холодоагентів, зменшення викидів від технологій охолодження та підтримку передачі технологій у країни, що розвиваються. Цей проект є частиною Міжнародної кліматичної ініціативи (ІКІ) і фінансується Федеральним міністерством навколишнього середовища, охорони природи та ядерної безпеки Німеччини (BMU).

4.11. Холодоагенти, природно!: <https://www.refrigerantsnaturally.com> Це глобальна ініціатива компаній, які прагнуть боротися зі зміною клімату та руйнуванням озонового шару шляхом заміни шкідливих парникових газів у холодильних і морозильних агрегатах

торгових точок природними холодоагентами. Членами цієї ініціативи є такі відомі корпорації, як The Coca-Cola Company, PepsiCo, Unilever, Red Bull та інші.

Список літератури

<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

[TEAP-EETF-report-september-2022.pdf \(unep.org\)](https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-EETF-report-september-2022.pdf)

[TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-EETF-report-may-2022.pdf)

<https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>

<https://ozone.unep.org/system/files/documents/RTOC-assessment%20-report-2022.pdf>

<https://ozone.unep.org/mixtures-blends-tool>

<https://www.unido.org/>

<https://hydrocarbons21.com/>

<https://ammonia21.com/news/>

<https://r744.com>

<https://ior.org.uk/>

<https://www.fluorocarbons.org/>

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases_en

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26589/HFC_Phasedown_RU.pdf?sequence=3&isAllowed=y

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-legislation-control-f-gases_en#tab-0-1

https://www.perspectives.cc/public/fileadmin/user_upload/giz2021_HCFC_Adder_in_the_Kigali_Amendment_baseline_calculation.pdf

3M (2022): Прес-реліз 3M, 20 грудня 2022 р. <https://news.3m.com/2022-12-20-3M-to-Exit-PFAS-Manufacturing-by-the-End-of-2025>

ВМО (2018): Всесвітня метеорологічна організація, Глобальний проект дослідження та моніторингу озону, звіт № 58: «Наукова оцінка руйнування озонового шару 2018, Додаток А, Таблиця А-1.

ЕРА (2022): Політика нових важливих альтернатив (SNAP), Замінники в загальних агентах повені; <https://www.epa.gov/snap/substitutes-total-flooding-agents>

ФАА (1977): АС20-100 – « Загальні вказівки щодо вимірювання концентрації вогнегасної речовини у відсіках силової установки», http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_20-100.pdf

ФАА (2004): Джон В. Рейнхардт, «Поведінка бромтрифторпропену та пентафторетану під час імітації вибуху аерозольного балончика» Звіт ФАА № [DOT/FAA/AR-TN04/4](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_20-100.pdf)

ОЕСР (2021): Узгодження термінології універсуму пер- та поліфторалкільних речовин: Рекомендації та практичні вказівки, серія ОЕСР з управління ризиками, № 61, видавництво ОЕСР, Париж. <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-polyfluoroalkyl-substances.pdf>

ІМО (1992): «Поправки 1992 року до Конвенції SOLAS 1974 року». Резолюція ІМО MSC.27(61), сторінка 6, параграф 16. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.27\(61\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.27(61).pdf)

NFPA (2022): NFPA 10 « Стандарт портативних вогнегасників», <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?код=10>

TEAP (2022): «TEAP, вересень 2022: Рішення XXVIII/2 Звіт робочої групи TEAP – Інформація про альтернативи ГФВ (том 5)», <https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-Decision-XXVIII-2-HFC-%20Alternatives-report-sept2022.pdf>

Воллінгтон (2021): Воллінгтон *та ін.* *Випадок для більш точного визначення PFAS*, Environ. Sci. Процеси Впливи 2021 (23) 1834-1838.

Вікхем (2003): Р. Т. Вікхем, «Огляд використання систем пожежогасіння з повним затопленням двоокисом вуглецю», 2003, <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/review-of-the-use-of-carbon-dioxide-total-flooding-fire-extinguishing-systems.pdf>

AFCE 2018. Сучасний рівень енергоефективності доступних холодоагентів і систем з низьким ПГП. Отримано 3 грудня з: <http://www.afce.asso.fr/wp-content/uploads/2018/10/Final-rapport-energy-efficiency-ПГП-2018.pdf>

ССАС. 2022. Звіт коаліції «Клімат і чисте повітря». Дослідження щодо впливу тенденцій споживання ГФВ в країнах, що діють у рамках статті 5. Секретаріат ССАС, організований ЮНЕП у Парижі. червень 2022 р.

ЕЧА. 2023. ЕЧА публікує пропозицію щодо обмеження PFAS. Прес-реліз ЕЧА, 7 лютого 2023 р. <https://echa.europa.eu/de/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal#:~:text=ЕЧА%20publishes%20PFAS%20restriction%20proposal&text=Helsinki%20C%20%20%20Лютый%202023%20%E2%80%93%20The,and%20processes%20safer%20for%20people>.

ЕЕАР, 2022. Екологічні наслідки та взаємодія руйнування стратосферного озонного шару, УФ-випромінювання та зміни клімату, Звіт групи експертів з оцінки впливу на навколишнє середовище 2022, ЮНЕП Найробі, 2023 (див. S. Madronich та ін., Розділ 6.3, Трифтороцтова кислота в глобальному середовищі з відповідність Монреальському протоколу) GIZ . 2022. Інноваційні підходи до імплементації поправки Кігалі. Презентація на паралельному заході ОЕWG-44, Бангкок, липень 2022 р.

МЕА. 2018. Майбутнє охолодження. (Отримано 19 серпня 2022 р. з: <https://webstore.iea.org/the-future-of-cooling>)

ІМВ. 2019. 38-а довідкова записка з холодильних технологій. Роль холодильного обладнання у світовій економіці. червень 2019 р. <https://iifir.org/en/fridoc/the-role-of-refrigeration-in-the-global-economy-2019-142028>

ІРСС. 2022. Шостий звіт ІРСС про оцінку, квітень 2022. AR6 Зміна клімату 2022: пом'якшення наслідків зміни клімату, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

Kuijpers , LJM 2017. Графіки поетапного скорочення ГФВ згідно з Кігальським Монреальським протоколом; потенційний вплив на вибір альтернатив, IIR Int. конф. з CO₂ та аміачних технологій, 11-13 травня 2017 р., Охрид (МК)

Маклінден, Місурі, Браун, Дж. С., Бріньолі, Р., Казаков, А. Ф., Доманські , Пенсільванія, 2017. Обмежені варіанти холодоагентів із низьким потенціалом глобального потепління. Nature Communications, том 8, номер статті: 14476 (2017). DOI: 10.1038/ncomms14476

Reixoto, R., Polonara , F., Kuijpers , L., 2017. Потенційний вплив Кігальської поправки до Монреальського протоколу на вибір альтернативних холодоагентів. International Journal of Heat and Technology ISSN: 0392-8764 vol. 35.

Reixoto, R., Polonara , F., Kuijpers , L., Maidment G., 2017b. Кігальська поправка до Монреальського протоколу та альтернативи холодоагенту. Матеріали XIV Ібероамериканського конгресу з холодильного обладнання - CIAR, С. Паулу, Бразилія.

Purohit, P. та ін. 2020. Економія електроенергії та скорочення викидів парникових газів завдяки глобальному скороченню гідрофтОРРуглеців. *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 11305–11327, 2020. <https://acp.copernicus.org/articles/20/11305/2020/acp-20-11305-2020.pdf>

РТОС. 2021 р. Звіт Комітету з технічних варіантів холодильного обладнання, підкомітету холодового ланцюга вакцин, Додаток до звіту про хід ТЕАР 2021, вересень 2021 р., ЮНЕП Найробі, ISBN 978-9966-076-90-8, <https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAR-RTOC-technical-note-vaccines-cold-chain.pdf>

SAP, 2022. Звіт групи експертів з наукової оцінки ЮНЕП-ВМО за 2022 рік, який буде опубліковано в грудні 2022 року (на даний момент є лише чернетка, доступна для внутрішнього перегляду).

ЮНЕП. 2015 р. Оновлений звіт Цільової групи ТЕАР XXVI/9, Додаткова інформація про альтернативи ОРР, вересень 2015 р., ЮНЕП Найробі, ISBN 978-9966-076-14-4, https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/TEAR_Task-Force-XXVI-9_Update-Report_September-2015.pdf

ЮНЕП, 2016. Вступ до поправки Кігалі, Інформаційний листок OzonAction Kigali 1.3: http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7876-e-Kigali_FS01_Introduction.pdf

ЮНЕП, 2016. XXVII/4 ТЕАР Task Force, Звіт за вересень 2016 р., Том I, Додаткова інформація про альтернативи озоноруйнівним речовинам, ЮНЕП Найробі (перша версія опублікована в березні 2016 р., остання/оновлена версія у вересні 2016 р.), ISBN 978-9960-076-17-5, <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/TEAR%20TF%20XXVII-4%20Report%20March%202016.pdf>

ЮНЕП. 2017. Рішення ТЕАР XXVIII/3 Робочої групи Звіт про оновлення енергоефективності, жовтень 2017 р., ЮНЕП Найробі, ISBN 978-9966-076-32-8, <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/TEAR-EEWG-Report-october2017.pdf>

ЮНЕП. 2017 р. Том 3, Рішення XXVIII/4 Звіт робочої групи щодо встановлення регулярних консультацій щодо стандартів безпеки, ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-28-1, https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/TEAR-XXVIII_4-TF-Report-May2017.pdf

ЮНЕП. 2018а. Том 5, Рішення XXIX/10 Звіт Цільової групи з питань, пов'язаних з енергоефективністю під час поступового скорочення гідрофтОРРуглеців. Травень 2018 р., ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-42-7, https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/TEAR_DecisionXXIX-10_Task_Force_EE_May2018.pdf

ЮНЕП. 2018б. Том 5, Рішення XXIX/10 Звіт Цільової групи з питань, пов'язаних з енергоефективністю під час поступового скорочення гідрофтОРРуглеців (оновлений остаточний звіт). Вересень 2018 р., ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-42-7. https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/TEAR_DecisionXXIX-10_Task_Force_EE_September2018.pdf

ЮНЕП. 2019а. Том 5, Остаточний звіт Цільової групи Рішення XXX/5 щодо вартості та доступності технологій/обладнання з низьким ПГП, що підтримує/підвищує енергоефективність, травень 2019 р. ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-66-3, http://ozone.unep.org/sites/default/files/2020-07/TEAR_May-2019_Task_Force_Report_on_Energy_Efficiency.pdf

ЮНЕП. 2019б. Том 3, Рішення XXX/5 Заключний звіт Цільової групи щодо вартості та доступності технологій/обладнання з низьким ПГП, яке підтримує/підвищує

енергоефективність, вересень 2019 р. ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-77-9.
<https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-TF-DecXXX-5-EE-september2019.pdf>

ЮНЕП. 2020 р. Том 2, Рішення XXXI/7 – Продовження надання інформації про енергоефективні технології та технології з низьким потенціалом глобального потепління, вересень 2020 р., ЮНЕП, Найробі. ISBN: 978-9966-076-86-1,
https://ozone.unep.org/sites/default/files/assessment_panels/TEAP_dec-XXXI-7-TFEE-report-september2020.pdf

ЮНЕП. 2021. Том 4, Рішення XXXI/7 – Продовження надання інформації про енергоефективні технології та технології з низьким потенціалом глобального потепління, травень 2021, ЮНЕП, Найробі. ISBN: 978-9966-076-88-5.
<https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-EETF-report-may2021.pdf>

ЮНЕП. 2022. Том 3, Рішення XXXIII/5 – Продовження надання інформації про енергоефективні технології та технології з низьким потенціалом глобального потепління, травень 2022, ЮНЕП, Найробі, ISBN: 978-9966-076-95-3,
<https://ozone.unep.org/system/files/documents/TEAP-EETF-report-may-2022.pdf>

Velders , GJM та ін., 2022. Прогнози викидів гідрофторвуглецю (ГФВ) і глобального потепління, що зумовлюється цим, на основі останніх тенденцій спостережуваної кількості та поточної політики. Atmos. Chem. Phys., 22, 6087–6101, 2022.
<https://acp.copernicus.org/articles/22/6087/2022/acp-22-6087-2022.pdf>

ВМО. 2022. Всесвітня метеорологічна організація (ВМО), Наукова оцінка руйнування озонного шару: 2022, Всесвітня метеорологічна організація, звіт GAW №. 278, Женева, Швейцарія, 2022. ISBN 978-9914-733-97-6,
<https://ozone.unep.org/sites/default/files/2023-02/Scientific-Assessment-of-Ozone-Depletion-2022.pdf>

Міжнародний інститут охолодження <https://iifiir.org/>

Перелік регульованих ГФВ

Група	Речовина	100-річний потенціал глобального потепління
Група I		
CHF ₂ CHF ₂	ГФВ R-134	1 100
CH ₂ FCF ₃	ГФВ R-134a	1 430
CH ₂ FCHF ₂	ГФВ R-143	353
CHF ₂ CH ₂ CF ₃	ГФВ R-245fa	1 030
CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	ГФВ R-365mfc	794
CF ₃ CHFCF ₃	ГФВ R-227ea	3 220
CH ₂ FCF ₂ CF ₃	ГФВ R-236cb	1 340
CHF ₂ CHFCF ₃	ГФВ R-236ea	1 370
CF ₃ CH ₂ CF ₃	ГФВ R-236fa	9 810
CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	ГФВ R-245ca	693
CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	ГФВ R-43-10mee	1 640
CH ₂ F ₂	ГФВ R-32	675
CHF ₂ CF ₃	ГФВ R-125	3 500
CH ₃ CF ₃	ГФВ R-143a	4 470
CH ₃ F	ГФВ R-41	92
CH ₂ FCH ₂ F	ГФВ R-152	53
CH ₃ CHF ₂	ГФВ R-152a	124
Група II		
CHF ₃	ГФВ R-23	14 800

Життєвий цикл, викиди вуглецю та економічна ефективність енергетичних заходів

Якщо говорити про опалення та охолодження, то енергоефективність обладнання в контексті будівництва будинків має ключове значення для зменшення споживання енергії нацією. Оцінка енергозбереження протягом життєвого циклу, скорочення викидів вуглецю та економічної ефективності заходів з енергоефективності стала критичною для процесів прийняття рішень політиками, виробниками та споживачами.

Економічні наслідки, пов'язані з перевагами енергозбереження, що є наслідком більшого обмеження комерціалізації менш ефективних продуктів, включаючи кондиціонери повітря, є дуже значними та, як правило, приносять користь як окремим споживачам, так і суспільству в цілому.

Зменшення непрямих викидів від ефективного обладнання має пряму економічну вигоду як для споживача, так і для країни, а менша кількість вугільних електростанцій також означає кращу якість повітря. Це робить MEPS відносно прийнятним. Навпаки, економія прямих викидів (тобто через використання холодоагентів з нижчим ПГП) є менш відчутною для споживача, навіть якщо вона сприяє виконанню країни Монреальським протоколом і глобальній зміні клімату.

З точки зору споживача, якщо сторони хочуть досягти успіху в поступовому скороченні ГФВ з високим ПГП, дуже важливо, щоб вони «дотримувалися» правил MEPS. Наразі багато сторін не скористалися можливістю, наданою завдяки введенню нових членів Європарламенту, щоб запровадити контроль над холодоагентами з високим ПГП. Інтегровані правила призведуть до перетворення ринку на продукти, які зменшуватимуть як непрямі викиди (тобто використання енергії), так і прямі викиди вуглецю (за рахунок використання холодоагентів із низьким ПГП та уникнення потреб у технічному обслуговуванні з високим ПГП).

Оновлений погляд на поведінку споживачів дуже важливий. Наприклад, використання кондиціонерів є сезонним і вище влітку, і це слід брати до уваги при розгляді поточних моделей використання та прогнозованого зростання. Необхідно навчати споживачів, а також осіб, відповідальних за закупівлю продукції, шляхом інформаційних кампаній. Організації громадянського суспільства, як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються, можуть бути важливими захисниками та можуть допомогти підвищити обізнаність споживачів і сприяти швидшому виведенню на ринок енергоефективних продуктів із низьким ПГП.

1. Наявність технологій і обладнання з низьким і середнім ПГП, які підтримують або підвищують енергоефективність¹³

Обладнання RASHP, що використовує холодоагенти з низьким і середнім ПГП з підвищеною енергоефективністю, **тепер доступне в усіх секторах, визначених у цьому звіті, але не обов'язково доступне в усіх країнах.** Розвиток технологій йде швидкими темпами. Завчасні дії в рамках Планів реалізації Кігалі можуть забезпечити їх перехід на це нове покоління обладнання RASHP.

¹³Розділ 2 [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/teap/eetf-report-may-2022.pdf)

Поступове підвищення енергоефективності в конкретних країнах здійснюється за допомогою MEPS, розробленого з урахуванням сезонного, повного та часткового навантаження. Такі MEPS або приймаються, або поступово вдосконалюються. Технології, включаючи приводи із змінною швидкістю (для компресорів і вентиляторів), безщітчні двигуни постійного струму та електронні розширювальні клапани, використовуються для досягнення сезонних вимог до продуктивності.

Теплові насоси доступні з холодоагентами з низьким і середнім ПГП із заходами з енергоефективності, реалізованими для циклу охолодження, вибором допоміжних компонентів та інтеграцією теплових насосів із засобами керування будівлею.

Велике комерційне холодильне обладнання працює протягом року, що вимагає підвищення ефективності для зменшення витрат на енергію. Це вимірюється річним споживанням електроенергії, яке можна зменшити шляхом вибору компонентів і випарних конденсаторів.

У великих системах кондиціонування міркування безпеки обмежують застосування легкогорючих холодоагентів. Однак великі системи кондиціонування повітря будь-якої потужності доступні з холодоагентами з низьким і середнім ПГП із порівняльною ефективністю з базовими холодоагентами з високим ПГП, які можна додатково оптимізувати для підвищення ефективності. Зараз доступні компресори, призначені для роботи з низькою холодоагентів, включаючи базові холодоагенти, а також холодоагенти з низьким і середнім ПГП.

Технології Not-In-Kind (NIK), які не використовують механічне стиснення пари, за деяких обставин можуть запропонувати нижчі експлуатаційні витрати (OLC), ніж натуральні системи. Деякі приклади технологій NIK включають системи поглинання, що керуються сонячною енергією, гібридне охолодження випаровуванням і глибоководне охолодження є деякими прикладами цих технологій NIK.

2. Вартість обладнання, що використовує холодоагенти з низьким і середнім ПГП із збереженням або підвищенням енергоефективності¹⁴

Існує широкий спектр обладнання RACHP і різноманітність варіантів холодоагентів (з низьким і середнім ПГП), що робить необхідним оцінювати вплив вартості матеріалів у кожному конкретному випадку.

Характеристики холодоагенту відіграють важливу роль у проектуванні обладнання RACHP у зв'язку з підтриманням або підвищенням енергоефективності. Двома основними факторами, які впливають на матеріальну вартість обладнання, є термодинамічні характеристики холодоагенту (тиск, щільність, COP циклу тощо) та характеристики безпеки холодоагенту (наприклад, горючість/токсичність/тиск). Інші фактори також можуть відігравати роль, наприклад сумісність матеріалів.

Характеристики горючості та/або токсичності можуть обмежити прийнятну кількість холодоагенту з міркувань безпеки та таким чином обмежити потужність охолодження чи нагріву та/або енергоефективність, яких можна досягти. Зменшити заправку холодоагенту можна за допомогою різних технологій, таких як мікроканальні теплообмінники, але це також може спричинити технічні проблеми та проблеми застосування.

¹⁴Розділ 3 [TEAP-EEETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/teap-eeetf-report-may-2022.pdf)

3. Аналізування рентабельності технологій і обладнання з низьким ПГП, які підтримують або підвищують енергоефективність¹⁵

Сторони Монреальського протоколу погодилися підтримувати або підвищувати енергоефективність при поступовому скороченні ГФВ відповідно до Кігалійської поправки до Монреальського протоколу. Однак на практиці важко вирішити, який рівень енергоефективності є оптимальним у будь-якому конкретному випадку, як на рівні проекту, так і на рівні економіки в цілому, наприклад, при встановленні мінімальних стандартів енергоефективності для обладнання.

Сторони можуть вибрати проведення аналізу витрат і вигод в масштабах всієї економіки або окремого проекту, щоб максимізувати вигоди для споживачів і суспільства від підвищення енергоефективності.

Незалежно від рівня енергоефективності, у який інвестовано кошти, дуже ймовірно, що **скоординовані інвестиції в енергоефективність і перехід на холодоагент обійдуться виробникам і споживачам дешевше, ніж якби такі інвестиції здійснювалися окремо.**

Для проведення поглибленого аналізу витрат та вигод одночасного переходу на холодоагент і підвищення енергоефективності необхідні детальні дані, включаючи додаткові капітальні та експлуатаційні витрати.

Загальні уроки з попередніх ситуацій показують, що:

Енергоефективність є більш цінною у випадках із великим часом використання та високими цінами на електроенергію.

Економія CO₂-eq за життєвий цикл є вищою у випадках із великою кількістю годин використання та високою інтенсивністю CO₂-eq мережі.

Економія витрат протягом життєвого циклу може значно переважити вищу першу вартість більш ефективного обладнання.

У разі великих інвестицій необхідний глибокий аналіз.

Виробники можуть отримати більший грошовий потік і дохід за рахунок підвищення ефективності.

4. Короткострокова дорожня карта для запровадження енергоефективних технологій при поступовому скороченні ГФВ¹⁶

Дорожні карти для впровадження енергоефективних технологій при поступовому скороченні ГФВ будуть відрізнятися залежно від національних обставин. Ці підходи можуть отримати користь від спільного набору політик, які підтримуватимуть ці технологічні переходи. До них належать галузеві та наскрізні політики, як-от інтегровані стандарти ефективності використання енергії та холодоагенту та маркування, найкращі показники продуктивності та процедури випробувань, впровадження стандартів енергоспоживання та безпеки будівель, підтримка постійного навчання сектору послуг, а також моніторинг, відповідність та правозастосування. У Додатку 9 наведено приклади кількох конкретних країн

Технологічний перехід підтримуватиметься координацією між національними озоновими підрозділами та національними органами з питань енергетики та клімату, особливо шляхом інтеграції стандартів ГФВ з нижчим ПГП до стандартів енергоефективності та політики маркування.

¹⁵Розділ 4 [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/teap/eetf-report-may-2022.pdf)

¹⁶Розділ 5 [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/teap/eetf-report-may-2022.pdf)

5. Варіанти підтримки та підвищення енергоефективності за допомогою найкращих практик встановлення, обслуговування, технічного обслуговування, реконструкції та ремонту¹⁷

Оновлення конструкції для досягнення рівня енергоефективності потребує вищого рівня знань і навчання для безпечного та ефективного встановлення та обслуговування. Ці нові теми включають блоки з приводами зі змінною швидкістю, елементи керування з самодіагностикою та функції дистанційного керування, які потребують вдосконалення навичок, включаючи знання електроніки.

На зниження енергоефективності впливають суворі умови використання та експлуатації, а також корозійне середовище. Неналежне встановлення та технічне обслуговування посилюють втрату ЕЕ, а висока якість і часте планове технічне обслуговування зводять до мінімуму втрату ЕЕ.

Витік холодоагенту впливає на ЕЕ. Зменшення витоків залишається пріоритетом обслуговування для оптимізованих систем, що використовують холодоагенти з низьким ПГП і зменшеною кількістю холодоагенту.

Екологічна обізнаність кінцевих користувачів спонукає їх вимагати менших викидів СО₂-екв від роботи своїх систем. Профілактичне та, зрештою, прогнозне технічне обслуговування стає пріоритетом як для операторів, так і для постачальників послуг.

Суворі вимоги до обслуговування стимулюють підвищення кваліфікації, сертифікації та спеціалізації з покращеними винагородами. Це призведе до зниження плинності технічних кадрів і консолідації/поширення передового досвіду.

6. Як оцінити переваги інтеграції підвищення енергоефективності з поетапним скороченням ГФВ¹⁸

Інструменти моделювання можуть підтримувати аналіз потенціалу скорочення непрямих викидів парникових газів, пов'язаних з енергетикою, від RACHP одночасно з поступовим скороченням використання ГФВ та скороченням прямих викидів ГФВ.

Обговорюються деякі важливі ідеї моделювання, зокрема:

Відносна важливість прямих і непрямих викидів ПГ може значно відрізнятись в різних країнах. Це впливає на вибір політики підтримки комплексного підходу. Для країн із високим вуглецевим фактором у виробництві електроенергії ключовим пріоритетом є зменшення споживання енергії. Країнам з низьким рівнем викидів вуглецю більше уваги приділяється скороченню викидів гідрофторвуглеців.

Відносна важливість прямих і непрямих викидів парникових газів також може значно відрізнятись в широкому діапазоні різних технологій і застосувань RACHP.

Існує багато різних шляхів досягнення цілей Кігалійської поправки. Поєднання ранніх дій щодо пом'якшення ГФВ з одночасними діями з підвищення енергоефективності може призвести до значного скорочення кумулятивних викидів парникових газів до 2050 року з найменшими витратами. Декарбонізація мережі також робить важливий внесок у зменшення викидів.

Використання теплових насосів замість викопного палива для опалення приміщень, води та технологічних процесів буде важливим для декарбонізації опалення. Уникнення

¹⁷Розділ 6 [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/resources/report/teap-eetf-report-may-2022)

¹⁸Розділ 7 [TEAP-EETF-report-may-2022.pdf \(unep.org\)](https://www.unep.org/resources/report/teap-eetf-report-may-2022)

викидів викопного палива від використання теплових насосів значно переважатиме будь-які прямі та непрямі викиди від теплових насосів.

Забезпечення того, що нове обладнання РАСНР є максимально ефективним, а існуюче обладнання експлуатується та обслуговується з високою ефективністю, робить дуже економічно ефективний внесок у шлях до нульових чистих викидів ПГ.

Існує значна нестача надійних даних про банки холодоагентів і запаси обладнання за секторами, які необхідні для оптимізації результатів моделювання. Кращі дані покращили б моделювання на національному та регіональному рівнях.

Альтернативні холодоагенти

Холодоагент	Склад	ПГП	Заміщає	ПГП	Клас небезпечності
R-450A	R-1234ze/R-134a	605	R-134a	1430	A1
R-456A	R-32/R-1234ze/R-134a	687	R-134a	1430	A1
R-513A	R-1234yf/R-134a	631	R-134a	1430	A1
R-513B	R-1234yf/R-134a	596	R-134a	1430	A1
R-448A	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a/R-1234ze	1386	R-404A	3922	A1
R-449A	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a	1397	R-404A	3922	A1
R-449B	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a	1412	R-404A	3922	A1
R-452A	R-32/R-125/R-1234yf	2141	R-404A	3922	A1
R-452C	R-32/R-125/R-1234yf	2220	R-404A	3922	A1
R-460A	R-32/R-125/R-1234ze/R-134a	2103	R-404A	3922	A1
R-460B	R-32/R-125/R-1234ze/R-134a	1352	R-404A	3922	A1
R-444A	R-32/R-152a/R-1234ze	92	R-134a	1430	A2L
R-445A	R-32/R-152a/R-1234ze	90	R-134a	1430	A2L
R-454E	R-32/R-1234yf	148	R-404A	3922	A2L
R-455A	R-744/R-32/R-1234yf	145	R-404A	3922	A2L
R-455A	R-744/R-32/R-1234yf	145	R-407c	1744	A2L
R-457A	R-32/R-1234yf/R-152a	139	R-404A	3922	A2L
R-459B	R-32/R-1234yf/R-1234ze	144	R-404A	3922	A2L
R-407A	R-32/R-125/R-134a	2107	R-404A	3922	A1
R-407F	R-32/R-125/R-134a	1825	R-404A	3922	A1
R-407H	R-32/R-125/R-134a	1378	R-404A	3922	A1

Рекомендації щодо впровадження технологій з нульовим озоноруйнівним потенціалом (ОРП) та низьким потенціалом глобального потепління (ПГП)

Згідно з дослідженнями та оцінками, проведеними в Україні, як холодоагенти та засоби пожежогасіння застосовуються ГФВ та їх суміші: R-134a, R-227ea, R-32, R-404A, R-407C, R-410A, R-452A, R-507A. В Україні організоване виробництво побутових холодильників та кондиціонерів, що містять R-600a або R-134a, R-410A. Під час виробництва побутових холодильників як спінювач використовується циклопентан.

Крім того, імпортовано понад 2,5 млн. побутових холодильників, комерційного торговельного обладнання, що містять R-600a та R-290, які є альтернативами ГФВ.

В цілому, рекомендації щодо впровадження технологій з нульовим ОРП та низьким ПГП для зниження рівнів споживання ГФВ поділяються на 4 основні групи:

А) Застосування в новому обладнанні альтернатив з нижчим ПГП

У міру закінчення терміну служби старого обладнання виникає необхідність його заміни, тобто можливість використання відповідної альтернативи з нижчим ПГП. У деяких випадках є хороші технічні можливості для застосування альтернативи з дуже низьким ПГП (наприклад, з ПГП нижче ніж 10, як R-744, R-290 або ГФО R-1234ze). Це дозволить скоротити споживання, відповідно до ПГП, майже на 100 %. У деяких підсекторах міркування вартості або безпечності можуть зумовити використання альтернативи на основі ГФВ з помірним ПГП. Існує ряд альтернатив з нижчим ПГП, в діапазоні від 200 до 700, які забезпечать скорочення споживання відповідно до ПГП на 60-90 %.

Б) Застосування у існуючому обладнанні, де доцільні альтернативи з нижчим ПГП

У той час як ретрофіт багатьох типів обладнання, що містить ГФВ, включаючи герметичні холодильні системи, недоцільний, можна безпечно провести ретрофіт багатьох типів обладнання з великою кількістю холодоагенту, що заправляється, а саме централізованих агрегованих торгових холодильних систем. У багатьох із цих систем охолодження із застосуванням ГФВ використовується ГФВ R-404A, холодоагент з дуже високим ПГП – 3920. Доведено, що заміна ГФВ R-404A у багатьох системах є економічно ефективною. Можна провести ретрофіт існуючого обладнання заміною холодоагенту на негорючий холодоагент, подібний за властивостями до ГФВ R-404A, але який має ПГП в діапазоні 1400 – 2100, що дозволить зменшити споживання відповідно до ПГП на 50-70 %. У багатьох випадках після ретрофіту холодильна система має більш високу енергоефективність, ніж стара система на ГФВ 404A, що забезпечує зниження витрат на електроенергію та скорочення викидів CO₂, пов'язаних з енергією.

В) Запобігання витокам

У секторі охолодження, кондиціонування повітря та теплових насосів використання ГФВ для поповнення втрат, спричинених витоками, становить, згідно з оцінками опитаних експертів, 55-65 % від загального споживання ГФВ, а модернізація обладнання дасть можливість скоротити викиди ГФВ. Це ще одна стратегія, яка може забезпечити швидке зменшення споживання ГФВ.

Г) Використання вилучених ГФВ

Коли термін служби старого обладнання, що містить ГФВ, спливає, важливо забезпечити рекуперацію (збирання та підготовку для повторного використання) старих ГФВ. Це зменшує викиди після закінчення терміну служби і створює можливість

повторного використання утилізованого холодоагенту. Використання вилученого холодоагенту може бути важливою стратегією стимулювання рекуперації холодоагенту після закінчення терміну служби старого устаткування.

Д) Підготовка та реалізація демонстраційних проектів

Основна мета демонстраційних проектів трансформації ринку, пов'язаних з поетапною відмовою від ГФВ, полягає у підвищенні попиту та пропозиції на продукцію з нижчим ПГП, а також у наявності та доступі до запасних частин для підтримки поетапної відмови.

Сприяння трансформації ринку у бік альтернатив із нижчим ПГП здійснюється життям відповідних заходів у галузі енергоефективності.

Енергоефективність можна ефективно використовувати як відправну точку для сприяння програм трансформації ринку.

Вивчаючи можливості секторів кінцевих користувачів, слід враховувати:

- переваги схем заміни для кінцевих користувачів та зв'язок з енергозбереженням з огляду на впровадження стандартів MEPS та програм маркування для енергоефективності;
- наявність та доступність альтернатив з нижчим ПГП, включаючи нові суміші ГФО; суміші можуть розглядатися як перехідні рішення, що дозволяють уникнути зростання використання речовин з високим ПГП;
- важливість (високий вплив з погляду еквівалента CO₂) програм заміни обладнання у перетворенні ринку на ефективне обладнання з нижчим ПГП.

1. Рекомендації щодо побутових холодильників.

1. R-600a залишається основною альтернативою ГФВ R-134a. Завдяки використанню в холодильному контурі невеликої кількості холодоагенту (близько 65 г) виключено проблему його швидкої горючості. До цього часу не було розроблено нових альтернатив, що мають таку саму енергоефективність і конкурентоспроможну ціну. Маючи нижчу вартість, ніж ГФВ R-134a, R-600a вимагає додаткових капіталовкладень для збільшення розміру компресорів. Також можуть зрости виробничі витрати на виконання вимог до безпечності систем.

2. Ретрофіт існуючого побутового холодильного обладнання та малогабаритних герметичних систем недоцільний.

3. Більшість випадків викидів ГФВ з побутових холодильників відбувається в кінці терміну служби (інтенсивність експлуатаційних витоків дуже низька, і такі витoki виникають в основному через випадкове пошкодження). Необхідно забезпечити можливість рециркуляції холодоагенту після закінчення терміну служби, щоб звести ці викиди до мінімуму.

4. Слід опрацювати питання заборон на виробництво та імпорт побутових холодильників, що містять ГФВ R-134a, який має значний ПГП, що обумовлено більшою енергоефективністю та меншою ціною вуглеводневих холодоагентів, наприклад, R-600a, що не мають ПГП.

2. Рекомендації щодо комерційного торгового обладнання (КТО).

1. У секторі КТО в цей час в основному використовується автономне обладнання, що працює на ГФВ R-134a та ГФВ R-404A. Існує по дві можливі альтернативи:

- для ГФВ R-134a:
 - негорючі суміші (N-13 та XP-10);
 - горючі холодоагенти класу 2L (ГФО R-1234yf та ГФО R-1234ze);
- для ГФУ R-404A:

негорючі суміші (N-40 та DR-33);
горючі холодоагенти класу 2L із низьким ПГП (L-40).

2. R-600a та R-290 застосовуються в секторі КТО у невеликих системах, що містять від 15 г до 1,5 кг холодоагенту.

3. R-744 у секторі КТО в основному використовується у торгових автоматах. Незважаючи на переваги, застосування R-744 пов'язане з технічними складнощами.

4. Вартість обладнання в секторі КТО, що працює на вуглеводневих холодоагентах, з урахуванням витрат на його безпечність практично не відрізняється від вартості обладнання на ГФВ.

5. ГФВ R-134a в секторі КТО потенційно може бути замінений на ГФО R-1234yf, що має подібні показники енергоефективності. Основною перешкодою для впровадження ГФО R-1234yf є його вартість.

6. Просування ринку конденсаторних агрегатів, що працюють на альтернативних холодоагентах R-744, R-290 і R-1270, йде повільно. Такі установки демонструють високі показники енергоефективності, проте їхня вартість, як правило, на 5-15 % вища, ніж у систем на ГФВ.

7. Оптимальними ГФВ-холодоагентами для конденсаторних агрегатів в цей час є ГФВ R-134a, ГФВ R-404A та певною мірою ГФВ R-410A.

8. Загалом у розвинених країнах застосування в секторі ГФВ з високим ПГП розглядаються як короткострокові варіанти.

9. У цей час для охолодження супермаркетів великі європейські компанії на середньотемпературному рівні використовують холодильні машини на ГФВ R-134a, а на низькотемпературному – системи безпосереднього охолодження, що працюють на R-744, або системи з проміжним холодоносієм.

10. Аміак застосовується в централізованих системах з проміжним холодоносієм великої потужності, в яких на низькотемпературному рівні використовується R-744. В силу вимог щодо техніки безпеки кількість таких установок поки що обмежена.

11. Зниження ПГП можна досягти заміною ГФВ R-134a на ГФО R-1234yf або ГФО R-1234ze за умови врахування низької горючості цих холодоагентів на етапі проектування. У діючих установках як негорючі холодоагенти можуть використовуватися суміші з малою температурною гістерезисом, наприклад, N-13 або XP-10.

12. Впевнене положення в секторі КТО на європейському ринку зайняли двоступінчасті системи, в яких R-744 використовується як на середньотемпературному, так і низькотемпературному рівнях.

13. У країнах ЄС та США у цей час ведеться розробка транскритичних систем, що працюють на R-744, в яких будуть досягнуті вищі показники енергоефективності за високої температури навколишнього середовища. Додаткові витрати в цьому випадку становитимуть 10-15 %. Серед холодоагентів із середнім або високим ПГП основним залишається ГФВ R-404A, однак у нових установках на середньотемпературному рівні замість нього використовується ГФВ R-134a. Як проміжний варіант пропонується R-407f. Існують також негорючі варіанти щодо відносно низьким ПГП: ГФО-суміші N-40 і DR-33.

14. Оптимальними холодоагентами для охолодження на автотранспортних засобах поки що продовжують бути ГФВ. Практично у всіх автопричепках та великовантажних автомобілях використовується ГФВ R-404A, у малогабаритних автомобілях та фургонках – ГФВ R-134a. У цей час ведуться випробування альтернативних ГФО з низьким ПГП та холодоагентів, які не містять ГФВ, проте поява конкурентоспроможної альтернативи у найближчому майбутньому є малоімовірною.

15. Використання R-744 в холодильних агрегатах на автомобілях стане можливим після появи на ринку ефективніших багатоступінчастих компресорів, які на цей момент знаходяться на стадії розроблення.

16. Випробування вуглеводнів (в основному R-290) в автомобільних холодильних установках показали, що завдяки меншому споживанню енергії (на 20 % і більше) вони можуть стати кращою альтернативою.

17. Існують можливості ретрофіту обладнання з виносним охолодженням. Для автономних систем ретрофіт недоцільний.

Рекомендації щодо промислового холодильного обладнання (ПХО)

1. Понад 90 % великих промислових холодильних систем та від 5 % (в Індії та Китаї) до 25 % систем меншого розміру працюють на аміаку (R-717). Енергоефективність таких систем на 15 % вища, ніж у систем із застосуванням ГФВ.

2. Вуглеводневі холодоагенти в ПХО використовуються лише там, де вже передбачені вимоги щодо безпеки (на нафтохімічних та інших підприємствах).

3. R-717 широко використовується в технологічному охолодженні, кондиціонуванні повітря та зберіганні харчових продуктів.

4. R-717 ефективний при використанні як у середньо-, так і високотемпературних сферах застосування.

5. Багато виробників у ЄС, США та Японії постачають чилери на R-290 і R-1270. Певні перешкоди використання чилерів, що працюють на вуглеводнях, обумовлені конфігурацією агрегатів.

6. ГФО R-1234ze(E) може замінити ГФВ R-134a у діючих системах з незначними змінами (розмір компресора). Порівняно з ГФВ R-134a цей холодоагент має аналогічну ефективність у разі використання в поршневих, спіральних та гвинтових компресорах і більш високу – у відцентрових.

7. У чилерах з об'ємними компресорами поряд із ГФВ R-134a широко використовуються ГФВ R-407C та ГФВ R-410A. ГФВ R-134a також широко застосовується у відцентрових чилерах різних потужностей.

8. Вуглеводневі холодоагенти в незначному обсязі використовуються у відцентрових чилерах на нафтохімічних заводах, де дотримуються заходів щодо безпеки під час роботи у небезпечних зонах.

9. Ретрофіт існуючих систем на ГФВ R-404A може бути проведений з використанням різних холодоагентів з набагато нижчим ПГП у діапазоні 1400-2100 (ГФВ R-407A, ГФВ R-407F, R-448A, R-449A). Ретрофіт промислових систем малої та середньої продуктивності може призвести до значного скорочення споживання ГФВ вже на ранньому етапі.

3. Рекомендації щодо сектора кондиціонування повітря

1. Необхідність зниження попиту на енергію в міру підвищення температури в усьому світі веде до жорсткішої політики енергоефективності.

Перехід від ГХФВ і технологій з високим ПГП до технологій з нижчим ПГП стримується такими бар'єрами як ціна та доступність. Наприклад, у побутових кондиціонерах прагнення до підвищення MEPS у поєднанні з поетапною відмовою від ГХФВ R-22 неавтоматично призвело до більшого, ніж очікувалося, зростання кількості ГФВ R-410A-кондиціонерів з майбутнім впливом на сектор обслуговування.

В Україні нові лінії з виробництва побутових кондиціонерів з ГФВ R-410F з високим ПГП поставляють на ринок недорогі продукти. Ці виробничі лінії збільшують кількість

робочих місць, допомагають національній економіці та забезпечують робочі місця у короткостроковій перспективі, але із суттєвими недоліками у довгостроковій перспективі. Можуть бути потрібні проекти та стимули для дострокового переобладнання існуючих ліній.

Невеликі автономні кондиціонери, що працюють на R-290, відрізняються дещо вищою вартістю через додаткові витрати на забезпечення безпечності електрообладнання та зниження витрат на теплообмінники. Загальна вартість систем, що працюють на R-290, може бути нижчою, ніж систем, що працюють на ГФВ R-410A, але у цьому разі ефективність знижується на 10 %. Перешкоди, пов'язані з забезпеченням безпеки, менш значні, як із використанні систем, встановлюваних на місці, оскільки невеликі автономні кондиціонери не потребують операцій із холодоагентом. Проте стандарти щодо безпеки обмежують вміст холодоагенту в певних категоріях обладнання.

У теперішній час деякі виробники розробляють нові моделі кондиціонерів, що працюють на R-290. Зафіксовано зростання виробництва спліт-систем на R-290. Через високу ефективність і низьку вартість R-290 є перспективним холодоагентом для використання в спліт-системах малої продуктивності.

2. Можливості використання діоксиду вуглецю (R-744) у невеликих автономних кондиціонерах повітря не є широкими. Основними перешкодами у цьому разі є ефективність і вартість. З точки зору ефективності, використання систем, що працюють на R-744, тільки для охолодження недоцільно.

3. Пропан (R-290) багато років використовується у мобільних кондиціонерах. Для систем невеликої потужності R-290 є кращим холодоагентом, ніж R-1270.

4. Основним холодоагентом, що використовується у більшості невеликих автономних кондиціонерів, залишається ГФВ R-410A. Можливе переведення систем з ГФВ R-410A на ГФВ R-32. За високої температури навколишнього середовища енергоефективність ГФВ R-32 знижується на кілька відсотків більше, ніж у ГФВ R-22, але не так значно, як у ГФВ R-410A. Тим не менш, ГФВ R-32 швидко набирає популярності. У 2019 році цей холодоагент використали приблизно 37 % усіх спліт-систем. Очікується, що їхня частка перевищить 80 % до 2023 року.

5. У цей час на ринку відсутні спліт-системи, що працюють на R-744, однак у цьому напрямку ведуться розробки.

6. Аміак (R-717) досить широко використовується у водяних теплових насосах і теплових насосах для обігріву приміщень потужністю від 250 кВт до 1 МВт і більше. З огляду на високу токсичність холодоагенту такі системи розміщуються зовні чи спеціальних машинних залах. Основною перешкодою поширення систем на R-717 є певна потужність, з якою вони стає економічно ефективними.

7. Ретрофіт існуючого ГФВ-обладнання недоцільний.

4. Рекомендації щодо кондиціонування повітря автомобільними системами

1. В автомобільних системах кондиціонування повітря (залежно від країни/регіону) оптимальним варіантом є перехід на використання як холодоагенту ГФО R-1234yf.

2. Ряд автовиробників (Toyota та ін.) розглядають можливість використання інших холодоагентів, зокрема, R-44, а до його запуску серійне виробництво застосовуватимуть ГФВ R-134a. R-744 показав таку ж високу ефективність, як найкращі у своєму класі системи, що працюють на ГФВ R-134a. Однак основною перешкодою для використання систем на R-744 залишається їхня вартість, а також питання щодо безпеки, довговічності компресора та виявлення витоків.

3. ГФО R-1234yf дорожчий, ніж ГФВ R-134a. Очікується, що з розширенням використання різниця в ціні зменшуватиметься. Висока вартість ГФО R-1234yf та його подібність до ГФВ R-134a можуть збільшити ризик використання підроблених холодоагентів (тобто ГФВ R-134a замість ГФО R-1234yf). Очікується, що системи на R-744 будуть дорожчими, ніж існуючі ГФВ-системи, але також очікується, що з розширенням використання R-744 їхня вартість знизиться.

Альтернативи ГФВ для промислового холодильного обладнання

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
Альтернативи для заміни R-404A (можуть використовуватися для ретрофіту існуючого обладнання)			
R-407A	2107	1	В Європі ці суміші широко використовуються як альтернативи R-404A (як в нових системах, так і для ретрофіту). Можуть мати більш високу енергоефективність, ніж системи на R-404A.
R-407F	1825	1	
R-448A	1387	1	Нещодавно розроблені суміші, за властивостями схожі на R-404A та R-407F, але з нижчим ПГП. На цей момент досвід їх промислового застосування чи доступність обмежені.
R-449A	1397	1	
Альтернативи лише для нового обладнання			
R-717 (аміак)	0	2L	Широко використовується холодоагент в системах великої продуктивності та чилерах. Цей холодоагент є важливою альтернативою для промислового використання. Він має високу токсичність і сильний їдкий запах. Потрібне дотримання різних заходів безпеки, що може ускладнити економічно ефективне використання R-717 для систем малої та середньої продуктивності.
R-290	3	3	Використовуються в промислових системах великої продуктивності (централізованих та чилерах), зокрема на нафтохімічних заводах, які переробляють сировину з високою горючістю. Необхідно дотримуватися відповідних заходів безпеки. Рідше використовуються в системах малої та середньої продуктивності.
R-1270	2	3	
R-744 (CO ₂)	1	1	Останні 10 років R-744 використовується в ряді промислових агрегатів великої продуктивності, а саме в холодильних складах та сублімаційних сушарках. Можливість застосування R-744 можна розглядати для деяких систем малої та середньої продуктивності.
R-234ze	7	2L	Використовується в промислових чилерах в якості альтернативи R-134a. Також розробляються інші ГФО, а саме R-1233zd та R-1336mzz, які підходять для чилерів низького тиску (в якості альтернативи R-123).
R-450A	601	1	Нещодавно розроблені суміші, що за властивостями схожі на R-134a. Розглядається можливість їх застосування у середньотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
R-513A	631	1	
R-451A	140	2L	
R-451B	150	2L	
Суміші, що	150	2L	Розроблювані суміші, за характеристиками

очікують на присвоєння номера ASHRAE	до 300		схожі на R-404A. Розглядається можливість їх використання в низькотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
R-446A R-447A	460 582	2L 2L	Нещодавно розроблені суміші, що за властивостями схожі на R-410A. Розглядається можливість їх використання в низькотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
R-32	675	2L	Розглядається можливість їх використання в низькотемпературних системах малої та середньої продуктивності.

Альтернативи ГФВ для чилерів з водяним охолодженням

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
Чилери з відцентровими компресорами			
R-1234ze	7	2L	Розробляється для використання в відцентрових чилерах великої потужності як альтернатива R-134a.
R-1233zd	5	1	Нові речовини, придатні для використання у відцентрових чилерах низького тиску, як альтернатива R-123.
R-1336mzz	9	1	
R-718 (вода)	0	1	Вода може використовуватися як холодоагент в чилерних системах, але для цього потрібно дуже великий робочий об'єм компресора.
Чилери з поршневыми компресорами			
R-1234ze	7	2L	Вже використовується в ряді чилерів малої та середньої потужності.
R-32	675	2L	Продуктивність аналогічна R-410A і підходить для чилерів малої та середньої потужності.
R-446A	460	2L	Нещодавно розроблені суміші за властивостями подібні до R-410A. Розглядається можливість використання у чилерах малої та середньої потужності.
R-447A	582	2L	
R-717 (аміак)	0	2L	Підходить для чилерів середньої та великої потужності з гвинтовими компресорами. Найчастіше використовується в промислових чилерах, але може застосовуватися для кондиціонування повітря.
R-290	3	3	Підходять для чилерів малої та середньої потужності. Широко поширені у Європі.
R-1270	2	3	
R-450A	601	1	Нещодавно розроблені суміші за властивостями подібні до R-134a. Підходять для чилерів середньої потужності з гвинтовими компресорами.
R-513A	631	1	

**Альтернативи ГФВ для роздільного обладнання кондиціонування повітря
малої продуктивності**

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
R-290 R-1270	3 2	3 3	Використовується в роздільному обладнанні кондиціонування повітря малої продуктивності. Необхідно дотримуватися відповідних заходів безпеки.
R-446A R-447A	460 582	2L 2L	Нещодавно розроблені суміші, що за властивостями схожі на R-410A. Розглядається можливість їх використання в роздільному обладнанні кондиціонування повітря малої продуктивності.
R-32	675	2L	R-32 використовується в роздільному обладнанні кондиціонування повітря малої продуктивності в Південно-Східній Азії та Індії з 2012 року та в Європі з 2013 року. У цей час у кількох великих виробників кондиціонерів є ряд моделей на основі R-32.

Альтернативи з ГФВ для торгівельного холодильного обладнання

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
Альтернативи для заміни R-404A (можуть використовуватися і в новому обладнанні, і для ретрофіту існуючого обладнання)			
R-407A	2107	1	В Європі ці суміші широко використовуються як альтернативи R-404A (як в нових системах, так і для ретрофіту). Можуть мати більш високу енергоефективність, ніж системи на R-404A.
R-407F	1825	1	
R-448A	1387	1	Нещодавно розроблені суміші, за властивостями схожі на R-404A та R-407F, але з нижчим ПГП. На цей момент досвід їх промислового застосування чи доступність обмежені.
R-449A	1397	1	
Альтернативи лише для нового обладнання			
R-600a R-290 R-1270	3 3 2	3 3 3	Вуглеводні (ВВ) підходять для автономного обладнання (наприклад, для морозильних скринь і шаф охолодження напоїв у пляшках) і вже широко застосовуються в країнах.. Можливість застосування ВВ можна розглядати для обладнання з виносним холодом дуже малої продуктивності з умовою дотримання правил безпеки. ВВ використовується в ряді великих супермаркетів, де встановлено безліч автономних агрегатів, з конденсаторами водяного охолодження. ВВ можуть використовуватися як первинний холодоагент в системах непрямого охолодження та каскадних системах на R-744.
R-717 (аміак)	0	2L	Використовується в непрямих системах, але енергоефективність може бути низькою.
R-744 (CO ₂)	1	1	Автономне обладнання: використовується в шафах охолодження напоїв у пляшках та іншому устаткуванні Обладнання з виносним холодом: використання має місце, але високі капітальні витрати створюють перешкоду устаткування малої продуктивності. Централізовані системи: широко використовується в нових системах як у транскритичних, так і в каскадних.
R-1234yf R-1234ze	4 7	2L 2L	Розглядається можливість їх використання в автономних системах та середньотемпературному устаткуванні з виносним холодом.
R-450A R-513A R-451A	601 631 140	1 1 2L	Нещодавно розроблені суміші, що за термодинамічними властивостями схожі на R-134a. Розглядається можливість їх застосування

R-451B	150	2L	у середньотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
Суміші, що очікують на присвоєння номера ASHRAE	150 до 300	2L	Розроблювані суміші, за якими схожі на R-404A. Розглядається можливість їх використання в низькотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
R-446A R-447A	460 582	2L 2L	Нещодавно розроблені суміші, що за властивостями схожі на R-410A. Розглядається можливість їх використання в низькотемпературних системах малої та середньої продуктивності.
R-32	675	2L	Розглядається можливість їх використання в обладнанні з виносним холодом.

Альтернативи з ГФВ для транспортних кондиціонерів повітря

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
Легкові автомобілі і мікроавтобуси			
R-1234yf	4	2L	Використовується в ЄС відповідно до Директиви ЄС щодо транспортних кондиціонерів та США в рамках дотримання регламенту з викидів ПГ.
R-744 (CO ₂)	1	1	Готовий до використання деякими автовиробниками.
R-446A R-447A	93 120	2L 2L	Нещодавно розроблені суміші, що розглядаються деякими виробниками
Великогабаритні транспортні засоби (автобуси, поїзди тощо)			
R-1234yf	4	2L	За продуктивністю схожий на R-134a, і підходить для систем, в яких згідно з правилами безпеки можна використовувати холодоагент, що має низьку горючість.
R-744 (CO ₂)	1	1	Розглядаються виробниками автобусів та поїздів. У деяких автобусних кондиціонерах R-744 використовується.
R-32 R-446A R-447A	675 460 582	2L 2L 2L	Дані холодоагенти по ефективності схожі на R-410A, і підходять для систем, в яких згідно з правилами безпеки можна використовувати холодоагент, що має низьку горючістю.
R-450A R-513A	601 631	1 1	Нові негорючі суміші за продуктивністю схожі на R-134a

Альтернативи ГФВ для теплових насосів, які працюють на нагрівання

Холодоагент	ПГП	Клас небезпечності	Примітки
Підігрів підлог житлових приміщень (джерело повітря-вода)			
R-600a	3	3	Якщо повітряні теплові насоси безпечно розташовані повністю на відкритому повітрі, можна використовувати холодоагенти, що мають високу горючість із забезпеченням хорошої ефективності.
R-290	3	3	
R-32	675	2L	Може бути розглянуто використання холодоагентів, що мають низьку горючість у зовнішніх і деяких внутрішніх агрегатах.
R-446A	460	2L	Суміші за властивостями схожі на R-410A.
R-447A	582	2L	
Нагрів води побутового призначення в житлових приміщеннях (джерело повітря) та систем центрального опалення (джерело стічної води)			
R-744 (CO ₂)	1	1	R-744 добре підходить для нагрівання води через великий температурний діапазон нагрівання води (наприклад, від 10 °C до 70 °C, з одноступеневим нагріванням). В Японії використовується кілька мільйонів агрегатів, встановлених за державної підтримки.
R-32	675	2L	Може бути розглянуто використання холодоагентів, що мають низьку горючість у зовнішніх і деяких внутрішніх агрегатах.
R-717 (аміак)	0	2L	Використовується в ряді центральних установок опалення та обігріву приміщень великої продуктивності, зокрема у Північній Європі.
ГФО R-1234ze	7	2L	Розглядається для використання в теплових насосах з відцентровими компресорами великої потужності як альтернатива R-134a.
ГФО R-1233zd	5	1	Нещодавно представлені холодоагенти, придатні для відцентрових компресорів низького тиску. Можуть використовуватися в теплових насосах великої продуктивності, особливо з високою температурою подачі (як альтернатива R-245fa).
ГФО R-1336mzz	9	1	