

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

_____ Сергій Блаженко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« _____ » _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Валентин Петренко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« _____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____

Холодильні техніка та технологія

на тему: Холодильні агенти. Технічні аспекти та розробка стратегій, які сприятимуть зменшенню негативного впливу на довкілля і допоможуть у боротьбі з кліматичними змінами

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-8М

Кабула Ростислав Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Грищенко Роман Володимирович

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

Валентин ПЕТРЕНКО

“20” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кабули Ростислава Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Холодильні агенти. Технічні аспекти та розробка стратегій, які сприятимуть зменшенню негативного впливу на довкілля і допоможуть у боротьбі з кліматичними змінами

керівник роботи доц. к.т.н., Грищенко Р.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи Холодоагенти R410A, R134a, R404A міжнародна нормативна база, нормативна база України

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, Розділ 1. Загальна інформація про сектор штучного холоду та його вплив на навколишнє середовище Розділ 2. Сучасний стан. огляд нових холодоагентів. екологічні аспекти, Розділ 3. міжнародні та українські стандарти щодо обладнання RACHP Розділ 4 Кваліфікація і сертифікація в секторі RACHP на міжнародному рівні. ситуація в Україні Розділ 5 Рекомендації щодо розвитку знань і навичок в Україні Висновки Список використаних джерел Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

АНОТАЦІЯ

У відповідь на глобальне зобов'язання пом'якшити негативний вплив холодоагентів на навколишнє середовище та боротися зі зміною клімату ця магістерська робота зосереджена на вивченні технічних аспектів і розробці стратегій для нових холодоагентів в Україні.

Дослідження має на меті сприяти зусиллям холодильної промисловості щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, узгодження із законодавчими вимогами та підтримки ширших цілей боротьби зі зміною клімату. За допомогою теоретичного аналізу та експериментальних досліджень розглянуто сумісність і продуктивність нових запропонованих холодоагентів, підкреслюючи їхній потенціал для заміни звичайних фторованих газів.

Крім того, у роботі використовується показник кліматичної ефективності (TEWI) для оцінки загального впливу холодильних систем на клімат, надаючи розуміння важливості вирішення проблеми непрямих викидів, пов'язаних із використанням енергії.

Отримані результати спрямовані на те, щоб поінформувати про розвиток стійких практик і скерувати галузь України до екологічно чистих альтернатив, зрештою сприяючи комплексному підходу до досягнення кліматичних цілей у контексті систем штучного охолодження, кондиціонування повітря та теплових насосів. Також в роботі надано рекомендації для майбутніх підходів по розвитку знань і навичок в Україні, щодо використання природних холодоагентів для успішної імплементації кращих світових практик.

Ключові слова: холодоагенти, холодильна промисловість, зміна клімату, вплив на навколишнє середовище, технічні аспекти, законодавчі вимоги, потенціал глобального потепління (GWP).

ABSTRACT

In response to the global commitment to mitigate the negative impact of refrigerants on the environment and combat climate change, this master's thesis focuses on studying technical aspects and developing strategies for new refrigerants in Ukraine.

The research aims to support efforts in the refrigeration industry to reduce negative environmental impact, align with legislative requirements, and support broader climate change mitigation goals. Through theoretical analysis and experimental research, the compatibility and performance of proposed new refrigerants are considered, highlighting their potential to replace conventional fluorinated gases.

Additionally, the work utilizes the Total Equivalent Warming Impact (TEWI) metric to assess the overall impact of refrigeration systems on climate, providing an understanding of the importance of addressing indirect emissions associated with energy use.

The obtained results are intended to inform the development of sustainable practices and guide Ukraine's industry toward environmentally friendly alternatives, ultimately contributing to a comprehensive approach to achieving climate goals in the context of artificial cooling systems, air conditioning, and heat pumps.

Recommendations for future approaches to knowledge and skill development in Ukraine regarding the use of natural refrigerants are also provided for the successful implementation of global best practices.

Keywords: refrigerants, refrigeration industry, climate change, environmental impact, technical aspects, legislative requirements, Global Warming Potential (GWP) potential.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1.	
ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО СЕКТОР ШТУЧНОГО ХОЛОДУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	8
РОЗДІЛ 2.	
СУЧАСНИЙ СТАН. ОГЛЯД НОВИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	21
РОЗДІЛ 3.	
МІЖНАРОДНІ ТА УКРАЇНСЬКІ СТАНДАРТИ ЩОДО ОБЛАДНАННЯ RACHP	36
РОЗДІЛ 4	
КВАЛІФІКАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ В СЕКТОРІ RACHP НА МІЖНАРОДНОМУ РІВНІ. СИТУАЦІЯ В УКРАЇНІ	46
РОЗДІЛ 5	
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ ЗНАНЬ І НАВИЧОК В УКРАЇНІ	54
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Перше серйозне занепокоєння щодо несприятливого впливу холодильних технологій на навколишнє середовище виникло через результати наукової роботи наступних вчених Rowland та ін. [1], які продемонстрували вплив певних сполук, зокрема хлорованих холодоагентів R11 та R12, на руйнування озонового шару землі.

Таким чином, було встановлено, що необхідні термінові заходи щодо обмеження викидів хлорованих речовин в атмосферу з метою запобігання руйнуванню озонового шару. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар [2], зрештою став міжнародною угодою, яка поклала початок заміні озоноруйнівних речовин, зокрема холодоагентів, і призвела до початку відновлення стратосферного озону [3]. Монреальський протокол також стимулював розробку HCFC та HFC холодоагентів, які замінили CFC у багатьох галузях промисловості. В даний час HFC широко використовуються як альтернативи CFC та HCFC, які не руйнують озоновий шар. Хоча поточні викиди HFC становлять приблизно 1,5% від загальних викидів, виражених у CO₂-екв., вони зросли на 23% з 2012 по 2016 рік, і повідомлялося про значне зростання в майбутньому [3]. Було досягнуто глобальної угоди, передбаченої Кігальською поправкою до Монреальського протоколу, щодо обмеження викидів речовин HFC [2].

У кількох країнах, у тому числі в країнах Європейського Союзу, запроваджено регіональні правила щодо контролю за речовинами HFC. Вимоги регламенту стимулюють заміну речовин HFC на альтернативи, що характеризуються нижчими значеннями GWP (серед інших характеристик, необхідних для холодоагентів). Таким чином, прогнозується, що майбутні викиди альтернатив з низьким GWP зростуть, хоча загальний внесок галогеновмісних газів у глобальне потепління, буде поступово зменшуватися.

Хоча прогнозується, що викиди HFC у майбутньому мають тенденцію до зменшення, зростання штучного охолодження різко збільшить потреби в енергії

та може призвести до викидів високого рівня CO₂, які в іншому випадку слід було б зменшити. Поточні оцінки показують, що в загальних викидах із сектору охолодження переважають непрямі викиди. На глобальному рівні 70,3% загальних викидів є непрямими викидами від сектору охолодження в результаті використання енергії та вуглецевого сліду від виробництва енергії.

Підсумовуючи, необхідна комплексна трансформація сектору охолодження [4]. Низький GWP холодоагентів і висока енергоефективність є необхідним кроком до екологічно чистих холодильних систем.

Інші кроки можуть включати зменшення потреби в охолодженні (наприклад, шляхом пасивного охолодження) та інтеграцію системного підходу. Положення, які включають підхід системного мислення при встановленні вимог до систем охолодження, необхідні для полегшення переходу на технологію охолодження, яка мало впливає на глобальне потепління.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО СЕКТОР ШТУЧНОГО ХОЛОДУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Внаслідок зобов'язань, що встановлено Монреальським протоколом щодо припинення виробництва та споживання речовин, що руйнують озоновий шар, на ринку з'явилися фторовані гази (F-гази), які використовуються як їхні замітники у секторі RACHP (Refrigeration, Air Conditioning, and Heat Pumps.). Термін включає різні пристрої та обладнання, що використовуються для охолодження, кондиціонування повітря та теплових насосів, які зазвичай використовуються як у житлових, так і в комерційних умовах. У контексті системи RACHP відіграють значну роль в утилізації та споживанні холодоагентів, особливо в секторі, де знаходиться найбільша частка гідрофторвуглеців (HFC).

1.1. Міжнародні угоди

Монреальський протокол

Монреальський протокол спочатку був створений у 1987 році для запровадження заходів контролю для зменшення виробництва та споживання контрольованих речовин, які руйнують озоновий шар [7]. Таким чином, це дозволило поступову відмову від ОРР(Озоноруйнівних речовин) у всьому світі. Остання поправка до Монреальського протоколу (поправка Кігалі, ухвалена в 2016 році) також включила гази HFC до списку контрольованих речовин (перелік контрольованих HFC *див. у Додатку А*). Це означає, що виробництво та споживання контрольованих речовин HFC, багато з яких можна використовувати як холодоагент або як компонент суміші холодоагентів, має бути поступово скорочено в усьому світі. Графік поетапного скорочення, встановлений для різних категорій країн відповідно до Монреальського протоколу та за винятком статті 5 протоколу, наведено в Протоколі та для країн-членів ЄС підсумовано на рисунку нижче [7].

Countries	Most of the Non-Article 5 Parties, including the European Union member countries	
Baseline	Average production/consumption of HFCs from 2011–2013 plus 15% of HCFC baseline production/consumption	
Reduction steps		
	Year	Reduction from baseline, %
Step 1	2019	10
Step 2	2024	40
Step 3	2029	70
Step 4	2034	80
Step 5	2036	85

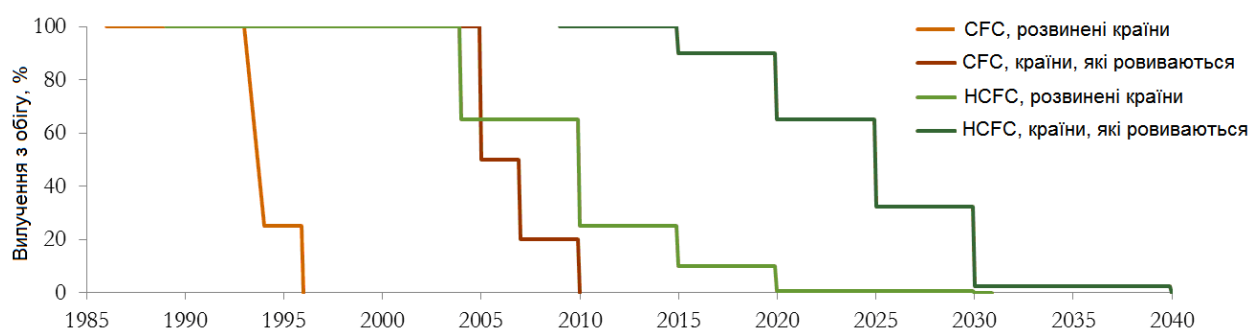


Рис.1. Скорочення використання HFC холодоагентів у країнах ЄС. Сюди також відноситься Україна [4, 8].

Положення про F-гази

Положення про F-гази встановило законодавчу вимогу щодо поступового скорочення на 79% HFC (вимірюваного в CO₂-екв.), які можна розміщувати на ринку ЄС із середньорічної кількості. Зниження почалося у 2015 році, хоча перше значне скорочення у ЄС відбулося в 2018 році, знизивши з 93% до 63% дозволених речовин HFC, тоді як наступне зниження в 2021 році встановить обмеження до 45%. По Україні ці дані представлено у розділі 1.3. Графік поетапного скорочення, встановлений Регламентом щодо F-газів, можна перевести на кількість CO₂-eq. дозволено до розміщення на ринку ЄС та України.

Паризька угода

Паризька угода — це угода, ухвалена 12 грудня 2015 року між сторонами Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, яка

спрямована на посилення глобальної реакції на загрозу зміни клімату шляхом «утримання зростання середнього глобального рівня температури значно нижче 2°C вище доіндустріального рівня та продовжувати зусилля щодо обмеження підвищення температури до 1,5°C вище доіндустріального рівня, визнаючи, що це значно зменшить ризики та наслідки зміни клімату; підвищення здатності адаптуватися до несприятливих наслідків зміни клімату та сприяти розвитку кліматичної стійкості та низьких викидів парникових газів у спосіб, який не загрожує виробництву продуктів харчування; і 19 узгодження фінансових потоків із шляхом до низьких викидів парникових газів і стійкого до клімату розвитку» [7]. Щоб досягти цілей, сторони Паризької угоди прагнуть якомога швидше досягти піку своїх викидів парникових газів і, таким чином, повинні прагнути сформулювати та оприлюднити довгострокові стратегії розвитку з низькими викидами парникових газів [7]. Прагнення обмежити підвищення температури до 1,5 °C вимагає термінових заходів, оскільки було показано, що ця межа, ймовірно, буде досягнута між 2030 і 2050 роками, якщо антропогенне глобальне потепління продовжуватиме збільшуватися з поточною швидкістю [9].

Навіть якщо F-гази не впливають на озоновий шар, більшість з них визначаються як потужні парникові гази (GHG) і мають високий коефіцієнт потенційного впливу на глобальне потепління (GWP). Викиди HFC, використовуваних як холодоагенти, стаються під час виробництва, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації обладнання RACHP, а також при видаленні холодоагенту з балонів і контейнерів.

Емісія парникових газів стосується викидів певних газів в атмосферу Землі, які можуть сприяти парниковому ефекту. Парниковий ефект - це природний процес, який нагріває поверхню Землі. Коли енергія Сонця досягає Землі, частина її відбивається назад у космос, а решта поглинається та повторно випромінюється парниковими газами.

Однак людська діяльність, зокрема спалювання викопного палива (вугілля, нафти та природного газу) і вирубка лісів, значно збільшили концентрацію

деяких парникових газів в атмосфері. Найпоширеніші парникові гази включають вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄), закис азоту (N₂O), фторовані гази (такі як гідрофторвуглеці, перфторвуглеці, гексафторид сірки) і водяну пару. Ось чому викиди парникових газів викликають занепокоєння:

Глобальне потепління: Посилення парникового ефекту призводить до підвищення середньої температури поверхні Землі, явище, відоме як глобальне потепління. Це потепління може порушити кліматичні моделі, що призведе до більш частих і суворих погодних явищ.

Зміна клімату: підвищення глобальної температури сприяє зміні клімату, впливаючи на екосистеми, біорізноманіття та погодні умови. Це може призвести до більш інтенсивних хвиль спеки, штормів, посух та інших екстремальних погодних явищ.

Підвищення рівня моря: нагрівання поверхні Землі спричиняє танення льодовиків і полярних шапок, що призводить до підвищення рівня моря. Це створює загрозу для прибережних районів і низинних регіонів.

Підкислення океану: поглинання надлишку CO₂ світовим океаном призводить до підкислення океану. Це може завдати шкоди морським мешканцям, особливо організмам із черепашками або скелетами з карбонату кальцію.

Вплив на сільське господарство: Зміни температури та режиму опадів можуть вплинути на продуктивність сільського господарства. У деяких регіонах можуть спостерігатися зміни вегетаційних сезонів, зміни врожайності та підвищені ризики шкідників і хвороб.

Кігалійська поправка

Кігалійська поправка до Монреальського протоколу передбачає вимоги щодо зниження обсягів виробництва і споживання HFC на додаток до існуючих заходів щодо обмеження споживання ODS, передбачених Монреальським протоколом. Її було погоджено всіма 197 сторонами 2016 року з набуттям чинності 1 січня 2019 року. Відповідно до цієї міжнародної угоди, розвинені країни (які не вказано в статті 5) мають відігравати провідну роль у зменшенні

обсягів споживання HFC, у той час як країни, які розвиваються (які вказано в статті 5) мають право розпочинати цю діяльність пізніше, як показано на рисунку 6. Україна належить до країн, які не вказано в статті 5 і які мають розпочинати виконання вимог раніше; графік зменшення нею обсягів виробництва і споживання показано червоною лінією.

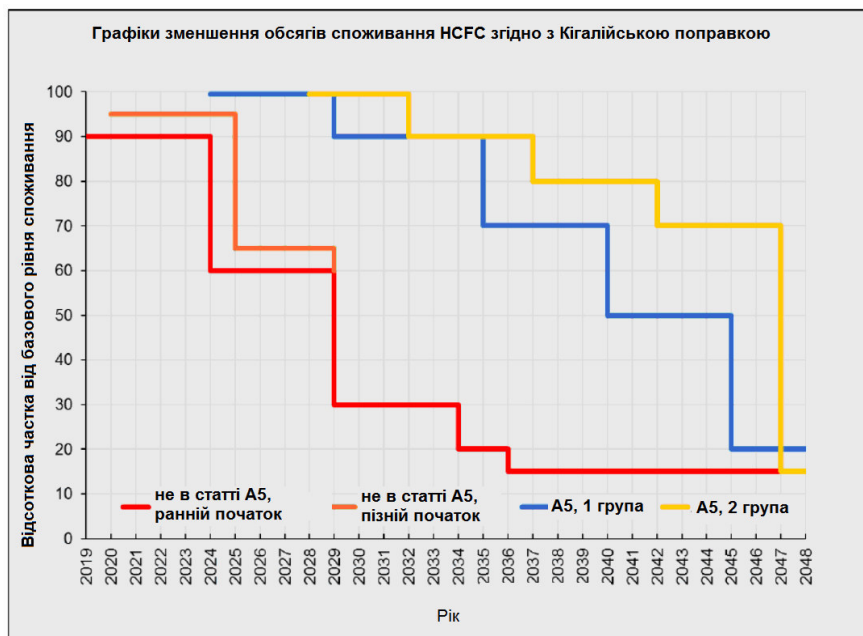


Рис.2. Скорочення використання HFC згідно Кігалійської поправки [4].

- Країни, не вказані в статті 5, які мають розпочинати діяльність раніше (з 2019 року): розвинені країни (у тому числі, наприклад, Європейський Союз, Сполучені Штати, сюди також належить Україна, див. п. 5.1.2)
- Країни, не вказані в статті 5, які мають розпочинати діяльність пізніше (з 2020 року): Білорусь, Російська Федерація, Казахстан, Таджикистан, Узбекистан
- Країни, вказані в статті 5, 1-ї групи (з 2024 року): більшість країн, що розвиваються, відповідно до Монреальського протоколу (147 сторін)
- Країни, вказані в статті 5, 2-ї групи (з 2028 року): Бахрейн, Індія, Іран, Ірак, Кувейт, Оман, Пакистан, Катар, Саудівська Аравія, ОАЕ

1.2. Ситуація в світі

Зменшення викидів парникових газів є ключовим напрямком глобальних зусиль із пом'якшення зміни клімату та пов'язаних з ними наслідків. Країни, галузі та окремі люди працюють над переходом до більш стійких практик,

відновлюваних джерел енергії та технологій із меншим викидом вуглецю, щоб подолати проблеми, пов'язані з викидами парникових газів.

На Рис. 3 зображено світове споживання HFC у п'яти основних секторах, де видно, що сектор RACHP має найвищу частку використання.

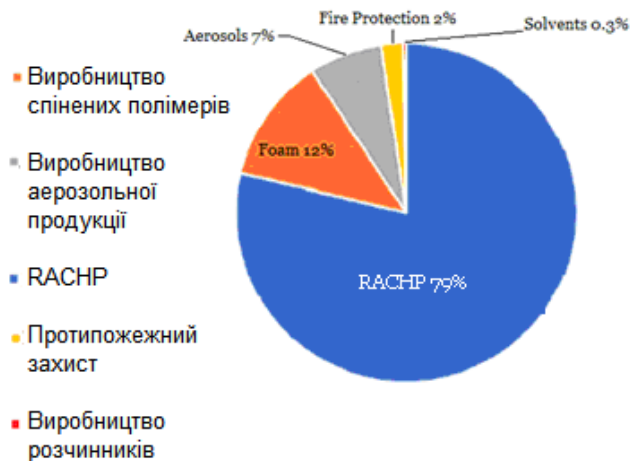


Рис.3. Використання HFC у п'яти основних секторах [4]

На HFC припадає близько двох відсотків від загального обсягу викидів GHG у країнах, вказаних у додатку I Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (UNFCCC).

На додаток до таких прямих викидів, що виникають через використання холодоагентів в обладнанні RACHP, сектор RACHP також спричиняє вплив на клімат через використання викопного палива, необхідного для живлення RACHP (непрямі викиди).

Наприклад, кінцеве споживання енергії для охолодження простору будинків у всьому світі в період з 1990 року до 2016 року збільшилося більше ніж утричі. 2016 року на охолодження витрачалося приблизно 18,5 % від загального обсягу споживання електроенергії в будинках, що спричинило значні викиди GHG. Частка охолодження у загальних енергетичних викидах будинків оцінювалася у 12 відсотків.

Ініціатива щодо “зеленого” охолодження (Green Cooling Initiative) оцінила сумарні викиди від цього сектора в усьому світі станом на 2016 рік величиною 3830 мегатонн еквівалентів CO₂, з яких 30 % припадає на прямі і 70 % – на непрямі викиди. В Україні загальні викиди від цих груп виробів склали близько

28,5 мегатонн еквівалентів CO₂; частки прямих і непрямих викидів приблизно однакові (54 % припадає на непрямі викиди і 46 % на прямі викиди) [4-6].

За даними Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (UNFCCC), поточні викиди GHG в Україні становлять близько 321 мегатонни еквівалентів CO₂ (станом на 2017 рік), що відповідає приблизно 7 % від обсягів викидів GHG у країнах Європейського Союзу і лише трохи менше, ніж в Іспанії. Відповідно, на частку штучного охолодження і кондиціонування повітря припадає приблизно 9 % від загального обсягу викидів в Україні.

На рис. 4 показано GWP різних холодоагентів, які використовуються для різних застосувань (теплові насоси, кондиціонери (AC), комерційні холодильні установки, охолоджувачі) в секторі RACHP. GWP синтетичних F-газів, що зазвичай використовуються (R404A, R410A, R134a) вищий ніж для діоксиду вуглецю на величину від 1400 до більше ніж 4000 разів [4-6].

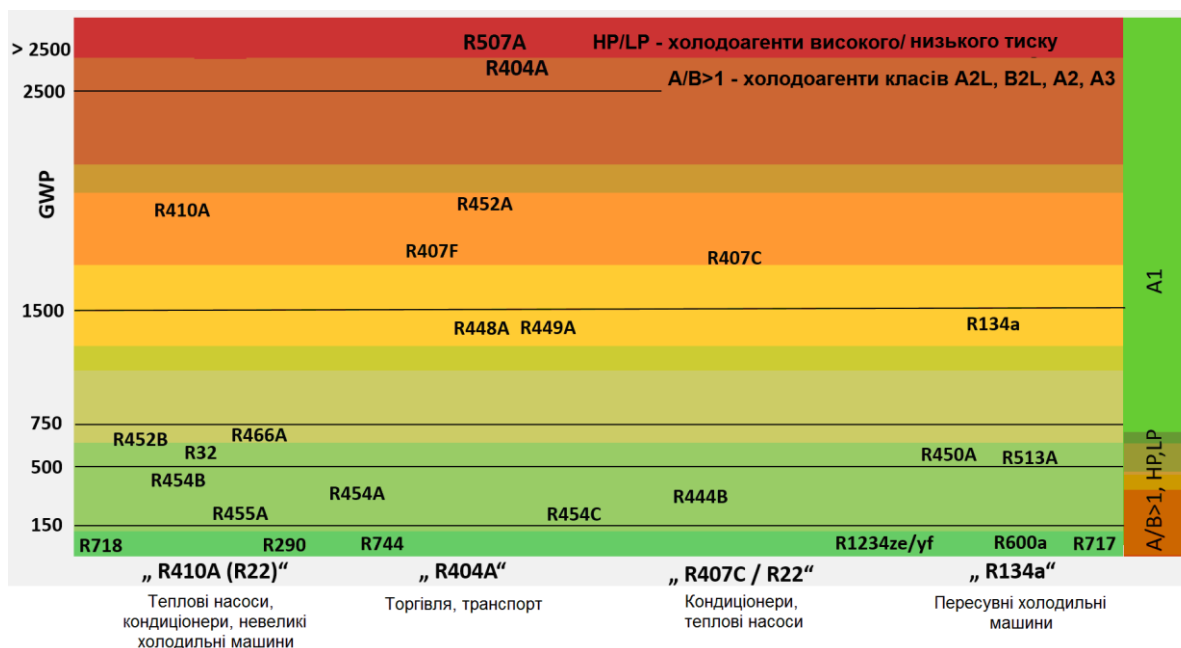


Рис.4. Показники GWP деяких холодоагентів [4]

З даних вище можна зробити висновок, що холодоагенти, які мають низький GWP, такі як вуглеводень (HC) R-290 (пропан), аміак (NH₃) R-717 або діоксид вуглецю (CO₂) R-744, що мають особливі характеристики горючості, токсичності і тиску. Зокрема, HC, R-290, потребують належного поводження: він класифікується як холодоагент класу A3 (легкозаймистий) згідно з міжнародними стандартами безпеки, робота з R-290 передбачає велику

кількість обмежень, про які йдеться в ряді міжнародних і регіональних правил безпеки і стандартах.

Авторами [4] представлено зведену інформацію щодо етапів, передбачених Регламентом щодо F-газів, подано у вигляді графіка на Рис. 5. Пояснюється, що нормативний документ встановлює заборони щодо різних груп обладнання/виробів, які містять HFC; ці заборони передбачають як заборону розміщення на ринку певних виробів і обладнання, що містять F-гази з високим GWP, так і заборони щодо використання F-газів з високим GWP в існуючому обладнанні.

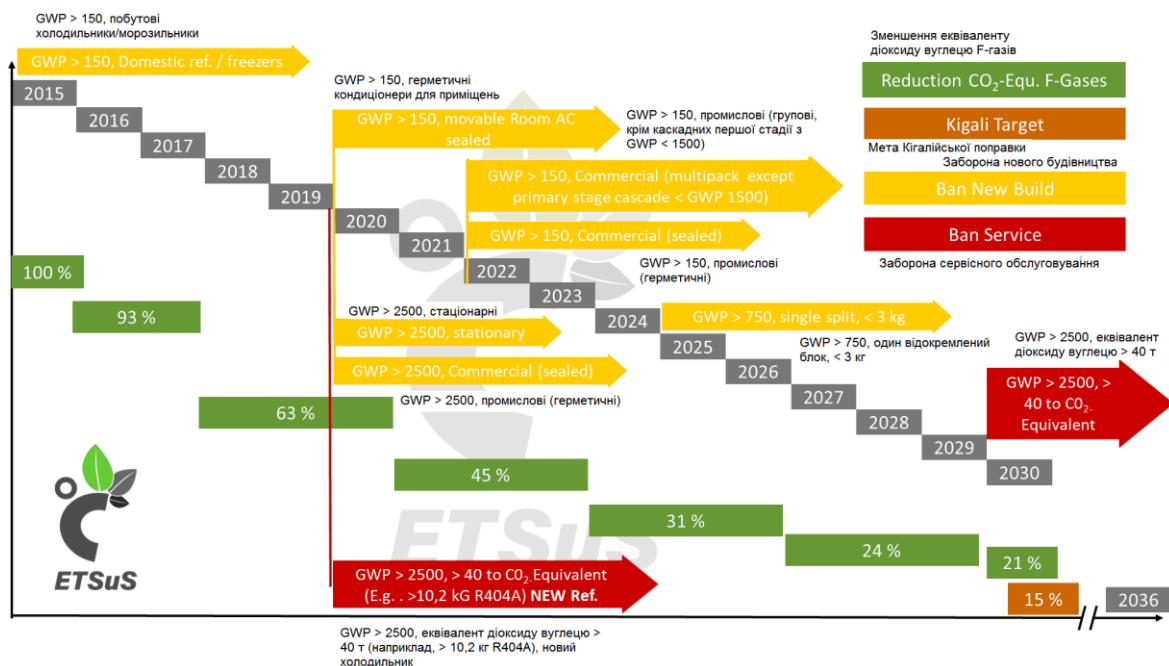


Рис.5. Чинний Регламент ЄС щодо F-газів [Тітт 2019]

Наприклад, з 2015 року цей регламент забороняє вітчизняним виробникам та імпортерам холодильних і морозильних камер випускати на ринок продукти, що містять HFC з GWP, що перевищує 150. Починаючи з 2020 року діє аналогічна заборона щодо пересувних кондиціонерів (герметичних), які з того моменту не можуть містити HFC з GWP більше ніж 150, а також стаціонарних і пересувних холодильників з HFC, GWP яких перевищує 2500.

Для управління щорічним лімітом щодо HFC Регламент щодо F-газів встановив систему квот. Починаючи з 2015 року компаніям для легального

розміщення товарних НФС на ринку потрібна квота, яку щорічно Комісія надає для них безоплатно. Квоти надають у вигляді еквівалентів CO₂. Чим вищий GWP холодоагенту, то більша кількість еквівалентів CO₂ для певної кількості кілограмів і тим більша необхідна квота.

1.3. Нормативно-правова база в Україні

На галузеву політику сьогодні більше ніж будь-коли впливають політичні рішення, що приймаються на міжнародному і регіональному рівні. У цьому підрозділі наведено огляд відповідної нормативної бази, що відповідає галузевій політиці на загальносвітовому, регіональному (у цьому випадку європейському) і національному рівнях у частині сектора RACHP. Прямі та непрямі викиди у секторі регулюються різними нормативними документами.

Україна приєдналася до багатосторонніх угод щодо клімату і доклала зусиль щодо нормативного забезпечення умов для виконання зобов'язань згідно з ними. У викладених нижче пунктах подано короткий опис найбільш значимих політик і нормативних документів країни з огляду на зменшення викидів GHG у секторі RACHP.

Як сторона Монреальського протоколу, вказана в статті 2, Україна мала повністю вилучити з обігу HCFC до 1 січня 2020 р. з дотриманням вказаного нижче графіка. Обсяги споживання нею мали знизитися до:

- 86,90 тонн ODP у 2013 році;
- 51,30 тонн ODP у 2014 році;
- 16,42 тонн ODP у 2015, 2016, 2017, 2018 і 2019 роках;
- Нуля до 1 січня 2020 р., за винятком споживання, обмеженого сервісним обслуговуванням холодильного обладнання та обладнання для кондиціонування повітря в період з 2020 до 2030 року, як передбачено Протоколом.

За даними Озонового секретаріату UNEP, Україна досягла своїх цілей у період з 2013 до 2018 року (за останніми наявними даними), як показано на Рис. 6. Споживання розраховують як виробництво плюс імпорт мінус експорт.



Рис.6. Споживання HCFC в Україні [4-6]

Згідно з цим графіком, перші суттєві результати зменшення обсягів споживання мають бути досягнуті до 2024 року (мінус 10 %) у порівнянні з базовим рівнем. Разом з тим, Україна поки що не ратифікувала Кігалійську поправку.

У грудні 2019 року Верховна Рада схвалила Закон №0874 “Про регулювання економічної діяльності, пов’язаної з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами”.

Цей Закон регулює існуючий ринок імпортованих ODS і фторованих газів. Основну увагу Закон приділяє імпортуванню, оскільки виробництва в Україні немає. Закон набуде чинності 27 червня 2020 р. Його розроблено у відповідності до Регламенту ЄС щодо F-газів і він містить такі положення:

- Розподіл відповідальності за його виконання;
- Створення централізованого реєстру;
- Інформація про відповідальність різних учасників ринку (головним чином імпортерів та операторів) (діяльність протягом останніх п’яти років і майбутнє передбачуване розміщення);
- Інші обов’язки операторів: професійна підготовка, перевіряння щодо витоків, маркування;

- Заборона виробництва контрольованих речовин в Україні;
- Правила щодо імпортування, експортування і розміщення на ринку контрольованих речовин, виробів та обладнання “імпортування озоноруйнівних речовин, а також фторованих парникових газів, названих у пункті 1 додатка 2 цього Закону передбачають отримання частки у межах щорічної національної квоти на імпортування контрольованих речовин”;
- Правила щодо повторного використання та утилізації контрольованих речовин;
- Професійна підготовка технічних працівників, а також сертифікація технічних працівників і компаній;
- Етикетування і маркування; а також
- Заборона щодо ODS.

Відповідно до його вимог, визначення та надання квоти має відбуватися через три роки після набуття Законом чинності, що відповідає вимогам щодо зменшення обсягів споживання країною згідно з Кігалійською поправкою. Кабінет Міністрів України повинен протягом шести місяців від дня набуття чинності Законом забезпечити прийняття нових і приведення існуючих нормативно-правових актів у відповідність до цього Закону.

Уряд також дав згоду (за пропозицією Міністерства екології та природних ресурсів) на виконання пілотного проекту з впровадження електронних торгів з розподілу часток щорічної національної квоти на імпортування ODS з дотриманням обмежень, встановлених Монреальським протоколом.

Україну внесено до додатка I (розвинені країни) UNFCCC починаючи з 1997 року, вона брала активну участь у переговорних процесах. Україна ратифікувала Паризьку угоду у вересні 2016 р. В передбачуваних внесках, визначених на національному рівні, поданих 2015 року, Україна заявила, що 2030 року викиди GHG не перевищать 60 % від їх обсягів станом на 1990. Зважаючи на те, що важка промисловість у пострадянських державах після 1990 року занепала, викиди вуглецю зменшилися паралельно занепаду. На тлі цього поставлена мета не

виглядає надто амбіційною, а виходячи з поточної політики прогнозується, що Україна перевиконає свої зобов'язання.

На Рис. 7 показано зміни викидів GHG в Україні починаючи з 1990 року. 2017 року сумарні викиди сягнули 320,63 млн. тон еквівалентів CO₂ (без урахування LULUCF). Упродовж періоду з 1990 року викиди зменшилися приблизно на 66 %. Енергоємність і викиди вуглецю в Україні з огляду на ВВП залишаються високими у порівнянні з країнами ОЕСР . Більшість викидів зумовлено енергетичним сектором, за яким ідуть промисловість, сільське господарство і переробляння відходів.

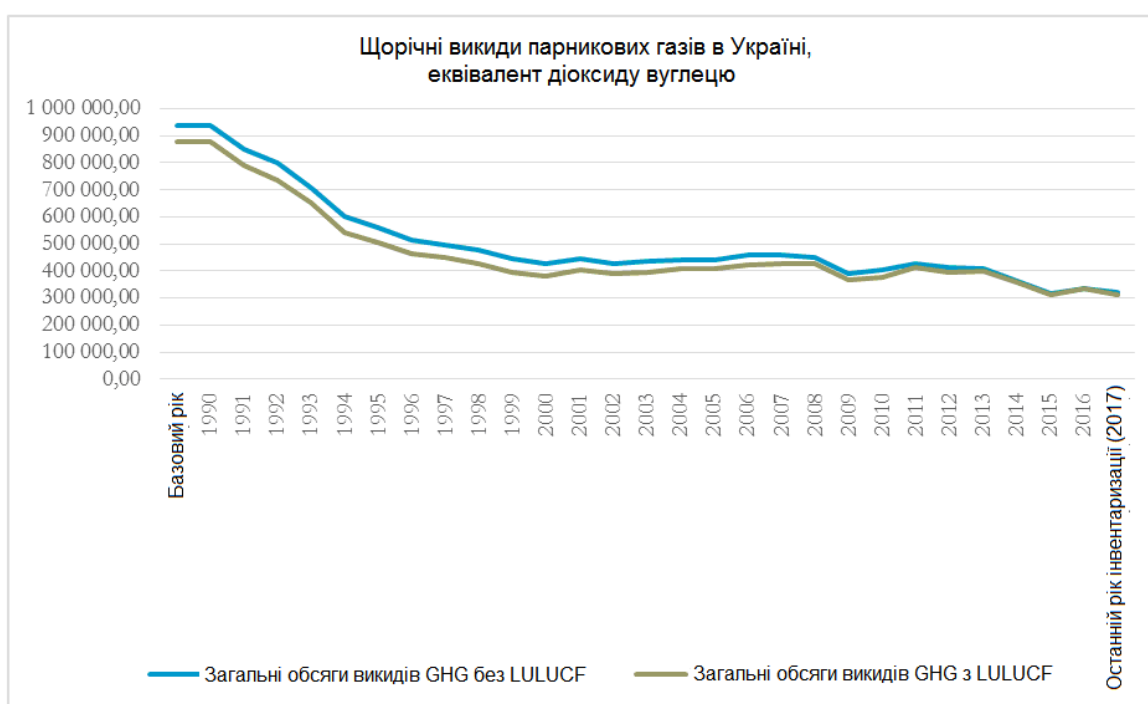


Рис.7. Дані викидів парникових газів по Україні [4-6]

Уряд зазначив, що має намір переглянути свої зобов'язання “після відновлення територіальної цілісності і державного суверенітету, а також затвердження стратегій соціально-економічного розвитку після 2020 року з урахуванням активізації інвестицій”.

1.4. Стратегія забезпечення зниження викидів у період до 2050 року (LEDS) в Україні

У минулому політики щодо зменшення викидів GHG за рахунок енергоефективності і використання відновлюваних джерел енергії в Україні

велися окремо і не були належним чином взаємопов'язані. Більш конкретні і нещодавно прийняті плани щодо двох стратегій зменшення викидів (за рахунок енергоефективності і використання енергії, одержаної з використанням відновлюваних джерел) викладено в Стратегії розвитку України з метою забезпечення низьких викидів до 2050 року (LEDS) , опублікованій 2018 року. Результати моделювання в рамках стратегії показали, що 2050 року викиди GHG в енергетичному секторі і секторі, де проводяться виробничі процеси, можна знизити до 31-34 % від рівня 1990 року, за умови що буде реалізовано рамкову політику щодо зменшення обсягів споживання вуглецю в Україні [4-6].

Стратегія визначає широкий спектр заходів у різних секторах, вона передбачає посилення мінімальних вимог щодо виробів, які споживають енергію, а також енергетичне маркування з метою надання пріоритету виробам з найвищим потенціалом енергозаощадження.

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН. НОВІ ХОЛОДОАГЕНТИ. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Перелік потенційних екологічно безпечних холодоагентів для систем RACHP був визначений Mc Linden та ін. [10] шляхом скринінгу понад 60 мільйонів хімічних структур і фільтрації їх на основі багатьох критеріїв. Таким чином, були обрані лише молекули, що містять елементи C, H, F, Cl, Br, O, N. Подальші обмеження GWP нижче 1000 і критичної температури в межах в діапазоні 320 і 420 К було отримано 138 рідин. Після відфільтрування високотоксичних і нестабільних рідин скринінг дав кілька рідин, які можна вважати холодоагентом. Вони наведені нижче в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічні назви та GWP рідин, [7, 10]

Fluid name	ASHRAE designation	GWP
<i>Hydrocarbons and dimethyl ether</i>		
Ethane	R170	6
Propene (propylene)	R1270	2
Propane	R290	3
Methoxymethane (dimethyl ether)	RE170	1
Cyclopropane	RC270	86*
<i>Fluorinated alkanes (HFCs)</i>		
Fluoromethane	R41	92
Difluoromethane	R32	675
Fluoroethane	R161	12
1,1-Difluoroethane	R152a	124
1,1,2,2-Tetrafluoroethane	R134	1,100
<i>Fluorinated alkenes (HFOs) and alkynes</i>		
Fluoroethene	R1141	<1 [^]
1,1,2-Trifluoroethene	R1123	3*
3,3,3-Trifluoroprop-1-yne	-	1.4*
2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene	R1234yf	4
(E)-1,2-Difluoroethene	R1132(E)	1*
3,3,3-Trifluoroprop-1-ene	R1243zf	<1 [^]
1,2-Difluoroprop-1-ene	R1252ve	2*
Carbon dioxide	R744	1
Ammonia	R717	0

2.1 Оцінка нових холодоагентів

Холодоагенти часто оцінюють з точки зору їх придатності для використання у галузях в яких вони використовуються. Щоб бути корисним як холодоагент, речовина (або суміш речовин) має відповідати набору різних критеріїв. По-перше, він повинен мати відповідні хімічні, фізичні та термодинамічні властивості для конкретної системи та умов роботи; по-друге, вона має бути безпечною у використанні, у тому числі екологічно безпечною [11]. Коли ці перші два критерії задовольняються, можна застосовувати інші критерії, наприклад, високі енергетичні характеристики (висока ефективність і відповідна потужність).

Енергетичні характеристики системи стиснення парів із використанням певного холодоагенту можна оцінити експериментально (у спеціально розробленому дослідженні) або теоретично (за допомогою числових моделей із використанням властивостей холодоагенту). Оцінка нових холодоагентів частіше виконується за допомогою числових моделей через складність планування експериментальних досліджень. Дані про властивості холодоагенту, які використовуються в таких числових моделях, обчислюються за допомогою певного рівняння стану (EoS). Висновок дослідження [12] полягає в тому, що тільки R1234yf і R1234ze(E) були ретельно досліджені з точки зору обох термодинамічних властивостей (критична точка (CP), тиск, температура та об'єм (PVT) в однофазних областях, ізобарна специфічність тепло (c_p) і ацентричний фактор (ω), а також транспортні властивості (теплопровідність (λ), динамічна/кінематична в'язкість (μ/ν) і поверхневий натяг, σ).

Холодоагенти, ідентифіковані під час скринінгового дослідження, згаданого вище, порівнювали з декількома звичайними холодоагентами щодо їх енергоефективності в циклі стиснення пари (вказується COP) і ефекту охолодження на одиницю об'єму парів холодоагенту, що надходить у компресор (об'ємна холодопродуктивність, $Q_{об}$).

На Рис. 8 показано результати дослідження [12], COP і $Q_{об}$ вибраних холодоагентів, що працюють у базовому циклі стиснення пари, а також

характеристики безпеки холодоагентів. Хоча в змодельованих умовах можна спостерігати незначну зміну COP, очікувана охолоджуюча здатність сильно відрізняється для різних холодоагентів.

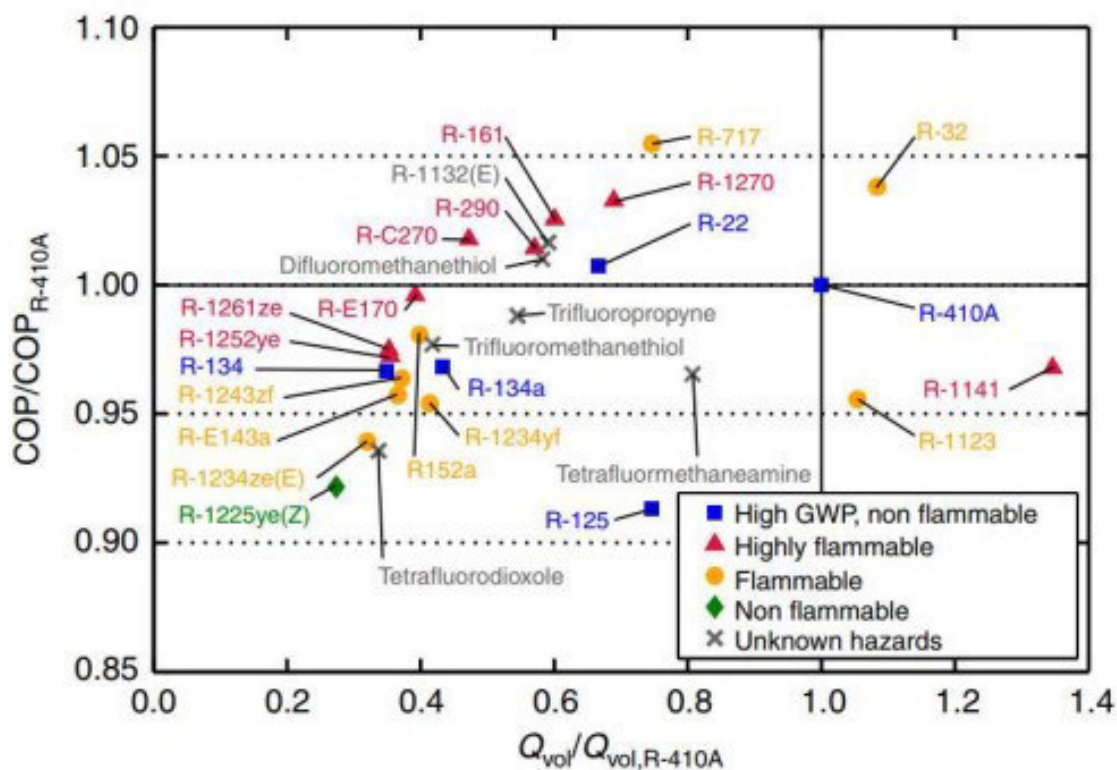


Рис.8. Коефіцієнт корисної дії холодоагентів з низьким потенціалом глобального потепління [12]

2.2. Природні холодоагенти

CO_2 є менш токсичним холодоагентом. Його критична температура $31\text{ }^\circ\text{C}$ є досить низькою, і він використовується в системах RACHP, що працюють у транскритичних циклах і при значно високих рівнях тиску.

CO_2 — це негорючий холодоагент із низьким GWP, який підходить для тривалого використання в холодильних установках і теплових насосах. Таким чином, він відіграватиме свою роль у виконанні Регламенту про фторовані парникові гази та цілей Паризької угоди. Останні дослідження ринку України показують, що сучасні холодильні системи CO_2 для супермаркетів також є енергоефективними, особливо враховуючи зусилля щодо створення інтегрованих систем CO_2 , а також оптимізації системи та її компонентів.

Вуглеводні (наприклад, пропан, ізобутан) є відомими холодоагентами з властивостями, які забезпечують їх ефективну роботу в побутовому секторі. Ізобутан домінує на внутрішньому холодильному ринку ЄС та України, а пропан використовується в невеликих комерційних установках. Враховуючи постійно зростаючий попит на ефективні холодоагенти з низьким GWP, вуглеводні використовуються в тих сферах, де їх висока горючість (клас безпеки А3) не становить ризику для людей та навколишнього середовища. Щоб забезпечити безпечне використання легкозаймистих холодоагентів, їх кількість обмежена залежно від застосування та передбачуваного розташування такої системи [13]. Мінімізація заряду холодоагенту в системі стиснення парів є підходом до широкого впровадження легкозаймистих холодоагентів.

Наприклад, було продемонстровано, що за допомогою продуманого проектування системи можна створити систему теплового насоса, здатну забезпечувати опалювальну потужність 10 кВт із лише 100 г пропану, що завантажується в систему, таким чином вказуючи на те, що можна виконати значне охолоджувальне навантаження з низькою кількістю пропану [14]. Крім того, ліміт заправки холодоагенту в 500 г, встановлений нещодавно оновленим стандартом, який визначає вимоги до комерційних холодильних приладів і льодогенераторів [15, 7], дозволить подальше розширення використання вуглеводневих розчинів.

Аміак, природний холодоагент з високою токсичністю та меншою займистістю, який використовується в системах стиснення пари з 1870-х років, широко використовується у великих комерційних і промислових холодильних установках. Хоча аміак довів, що він є ефективним холодоагентом у промисловому застосуванні, все ще існує можливість використовувати аміак у системах з низьким зарядом [16, 17].

2.3. Нові суміші холодоагентів

Різні хімічні компанії запропонували низку сумішей холодоагентів. Кількість пропонувананих сумішей особливо зростає в останні роки. Перелік

відомих на сьогодні холодоагентних сумішей налічує понад сотню сумішей і постійно збільшується [18]. Список нещодавно розроблених сумішей наведено в Додатку В. Суміші холодоагентів були розроблені для розширення варіації властивостей отриманих сумішей холодоагентів. Зменшення GWP, але збереження низької займистості або її відсутність є типовою тенденцією поточного розвитку суміші холодоагентів. Інші бажані властивості включають збільшення об'ємної охолоджувальної здатності та підвищення енергоефективності. Усі нещодавно розроблені суміші можна класифікувати на основі їхніх властивостей. Для всіх нещодавно розроблених сумішей, крім однієї, це значення знаходиться в діапазоні від $-58,4$ °C до $-18,0$ °C, що дозволяє робочому тиску в типовій системі RACHP залишатися вищим за атмосферний. Одна суміш була створена з нормальною точкою кипіння $29,0$ °C шляхом змішування двох нових однокомпонентних холодоагентів R1336mzz(Z) і R1130(E). Серед нещодавно проаналізованих сумішей є, наприклад, альтернативи R134a, які за оцінками вчених [19] і суміш R32, R125 і R131I (49, 11,5 і 39,5% за масою, відповідно), яка є запропонованою негорючою заміною R410A.

2.4. Показники для оцінки впливу на навколишнє середовище

Потенціал глобального потепління (GWP)

GWP — це показник, який використовується для кількісної оцінки кліматичних впливів різних парникових газів. GWP визначається як інтегрований у часі вплив, що є результатом емісії даної речовини, відносно емісії рівної маси CO₂. Часто використовується період 100 років, хоча можна використовувати й інші часові проміжки. Вибір 100-річного періоду є довільним і немає наукових підстав для його вибору, хоча він суттєво впливає на розрахункові значення GWP. Значення GWP для різних речовин регулярно оновлюються, щоб врахувати зміни в науковому розумінні відповідних процесів, а також врахувати зміни в атмосферній концентрації CO₂.

У звітах Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) перераховані значення GWP більшості однокомпонентних холодоагентів, тоді як значення GWP сумішей холодоагентів розраховуються як середньозважене значення, отримане із суми вагових часток окремих речовин, помножених на їх GWP [21]. Найновіші значення GWP були надані Всесвітньою метеорологічною організацією в їх останньому звіті [22], тоді як значення IPCC від 2007 року в основному прийняті в законодавстві, як-от Положення про F-газ і Монреальський протокол (з Кігалійською Поправкою), які використовують показники GWP для порівняння викидів різних парникових газів за загальним «еквівалентом CO₂». Що стосується GWP холодоагентів, то їх часто відносять до певної групи, наприклад, холодоагенти з «низьким GWP» або «високим GWP». Спроба визначити шкалу значень GWP була зроблена Програмою ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) [23], де було запропоновано запровадити певну шкалу значень GWP від «наднизьких» до «надвисоких», оскільки загальноживані терміни (наприклад, «низький GWP» і «високий GWP») мають порівняльний характер і тому їх потрібно розглядати у зв'язку з конкретним значенням GWP.

TEWI (Total equivalent warming impact - Загальний еквівалентний вплив на потепління)

Значна кількість глобальних викидів парникових газів у секторі охолодження є непрямими викидами внаслідок вуглецевого сліду виробництва використаної енергії. Загальний еквівалентний вплив на потепління (TEWI) — це показник навколишнього середовища, який включає прямі та непрямі викиди парникових газів із сектору охолодження, забезпечуючи тим самим кращий показник впливу системи охолодження на глобальне потепління. Розрахунок параметра TEWI зазначено в європейському стандарті EN378, де зазначено, що коефіцієнт TEWI розраховується за формулою, наведеною у формулі (1). Обсяг розрахунку можна розширити шляхом додавання компонента, який відображає прямі викиди будь-які інші ПГ, які можуть бути присутніми в системі (наприклад, ПГ, вбудовані в ізоляцію).

$$TEWI = GWP \cdot L \cdot n + [GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha_{recovery})] + n \cdot E_{annual} \cdot \beta, \quad (1)$$

де GWP = Потенціал глобального потепління холодоагенту, L_{annual} = Рівень витоку за рік (Одиниці: кг), n = Термін експлуатації системи (Одиниці: роки), m = Заправка холодоагенту (Одиниці: кг), $\alpha_{recovery}$ = Коефіцієнт відновлення/переробки від 0 до 1, E_{annual} = Споживання енергії на рік (Одиниці: кВт·год на рік), β = Коефіцієнт непрямих викидів (Одиниці: кг CO₂ на кВт·год)

Кліматичні показники життєвого циклу розширюють сферу застосування метрики TEWI, враховуючи енергію, втілену в матеріалах продукту, викиди парникових газів від хімічного виробництва, утилізацію агрегату в кінці терміну служби, витоки під час транспортування, витоки при виробництві та викиди холодоагенту при виробництві [24]. Тому вважається, що він забезпечує більш повну оцінку глобального впливу, ніж TEWI. IIR пропонує методологію розрахунку LCSP у рекомендаціях щодо кліматичних характеристик життєвого циклу [24].

2.5. Нові холодоагенти в контексті вимог Регламенту F-gas

Контекст наведено в огляді звичайних холодоагентів з високим GWP, які використовуються в ЄС та Україні.

Фторовмісні гази, які використовуються в ЄС

Відповідно до статистичних даних, наданих Європейським агентством з охорони навколишнього середовища, 75% F-газів, що постачаються в ЄС, призначені для використання в системах RACHP. Решта F-гази використовувалися в пінах, аерозолях, електричному обладнанні та інших застосуваннях [7, 25]. Схеми передбачуваного використання різних F-газів, як визнано статистичними даними Європейського агентства з навколишнього середовища, показують, що HFC в даний час в основному використовуються як холодоагенти і, меншою мірою, в аерозолях і як піноутворювачі [26]. Найпоширенішими HFC, що постачаються, з точки зору їх CO₂-екв., є R125, R134a, R143a та R32, що становить 92% від загального обсягу HFC в ЄС, з яких

R134a є домінуючим холодоагентом, що постачається в ЄС (поставлено 40,8 кілотонн) [7]. Решта 8% були з R23 (1%), R227ea (3%) і кількох інших HFC речовин. Різні F-гази використовуються в чистому вигляді, а також використовуються як компоненти суміші холодоагентів. Типові HFC холодоагенти, які використовуються в різних галузях застосування, наведені нижче в Табл. 2. Можна зробити висновок, що типові холодоагенти включають чотири F-гази, які найчастіше постачаються в ЄС, якщо вимірювати в CO₂ -екв.

Таблиця 2. Типові холодоагенти, що використовуються в різних галузях застосування в ЄС [27].

<i>Сектор застосування HFC</i>	<i>Холодоагент</i>
Теплові насоси	R134a, R407C, R410A
Комерційне та промислове охолодження – централізовані системи та конденсаторні установки	R134a, R404A, R407A, R507A
Автономні системи (герметично закриті)	R404A
Кондиціонер	R410A, R407C
Транспортне охолодження	R404A

Нові альтернативні холодоагенти R404A

Суміші синтетичних холодоагентів, які були запропоновані як потенційна заміна R404A, відрізняються за складом і, як наслідок, за своїми властивостями та очікуваною продуктивністю в холодильних системах з компресією пари. Тиск насиченої пари при 0 °C і клас безпеки ANSI/ASHRAE компонентів, склад сумішей, точки роси та кипіння сумішей і значення GWP негорючих малотоксичних холодоагентів (стандарт A1 ASHRAE 34 клас безпеки) наведено на рис. 9. Що стосується складу альтернативних рідин, усі альтернативні холодоагенти виключають R143a (компонент високого тиску R404A з найвищим значенням GWP). з 4470). Компонент R125, який використовується в суміші R404A для придушення займистості компонентів A2L, залишається у всіх запропонованих сумішах. Крім того, в одній новій суміші використовується компонент, що пригнічує займистість R227es.

Refrigerant	R143a	R32	R125	R1234yf	R134a	R1234ze(E)	R227ea	GWP	Bubble point, °C	Dew point, °C
NBP, °C	-47.2	-51.8	-48.1	-29.5	-26.1	-19.0	-15.6			
GWP	4,470	675	3,500	4	1,430	7	3,220			
$P_{sat, vap.}$ at 0 °C, MPa	0.62	0.81	0.67	0.32	0.22	0.20	0.62			
ASHRAE safety class	A2L	A2L	A1	A2L	A1	A2L	A1			
Mass in composition, %										
R404A	52		44		4			3,922	-46.6	-45.8
R407A		20	40		40			2,107	-45.2	-38.7
R407H		32.5	15.0		52.5			1,495	-44.7	-37.6
R407I		19.5	8.5		72.0			1,459	-39.8	-33.0
R448A		26.0	26.0	20.0	21.0	7.0		1,387	-45.9	-39.8
R449A		24.3	24.7	25.7	25.3			1,397	-46.0	-39.9
R449B		25.2	24.3	23.2	27.3			1,412	-46.1	-40.2
R449C		20.0	20.0	31.0	29.0			1,251	-44.6	-38.1
R460B		28.0	25.0		20.0	27.0		1,352	-45.2	-37.1
R452A		11.0	59.0	30.0				2,140	-47.0	-43.2
R452C		12.5	61.0	26.5				2,220	-47.5	-44.2
R460A		12.0	52.0		14.0	22.0		2,103	-44.6	-37.2
R464A		27	27			40	6	1,323	-46.5	-36.9

Рис.9. Склад альтернативних сумішей холодоагентів для R404A [7]

Холодоагенти R32, R1234yf, R1234ze(E) і R227ea є нещодавно доданими компонентами нових негорючих сумішей холодоагентів (залежно від суміші). Наявність високого тиску R32 сприяє збільшенню енергетичних характеристик і холодопродуктивності завдяки високим теоретичним COP і Q_{vol} цієї рідини порівняно з іншими компонентами [28]. У багатьох нових сумішах присутність незаймистого компонента R134a зростає з 4% (масова основа) до 72%, щоб сприяти незаймистим характеристикам нової рідини та знижувати GWP шляхом зменшення частки компонента R125. Для подальшого зниження GWP до деяких нових сумішей додано HFO холодоагенти.

Наявність підвищеної кількості рідин із низькою летючістю призводить до збільшення температурного ковзання нових сумішей. Вплив температурного ковзання на продуктивність системи можна вигідно використовувати в системі, але також може мати негативні наслідки залежно від того, як система оптимізована для врахування температурного ковзання, дану інформацію детально описано авторами в [29].

Обговорювані альтернативи були додатково змодельовані в базовому циклі стиснення пари за припущення ефективності ізентропічного стиснення 0,7, відсутності об'ємних втрат на стиснення, ізоінтальпійний процес розглядається

на розширювальному клапані, а передача тепоти в навколишнє середовище та падіння тиску нехтуються. Дані про властивості холодоагенту були отримані з REFPROP 10 [7, 30]. Змодельовано два рівні температури випаровування: середня температура випаровування $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рівень MT) і середня температура випаровування $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рівень LT). Інші умови моделювання залишалися незмінними для обох рівнів температури випаровування: $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ середня температура конденсації, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ перегріву та ступеня переохолодження. Результати моделювання за [30] представлено нижче.

Таблиця 3. Результати моделювання робочих параметрів альтернатив R404A ($t_0=-35$, $t_k=35\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Холодоагент	GWP	Щільність пари, кг/м ³	COP	Q _{vol} Дж/м ³	Темп., °C	Темп. ковзання у випар. /конд °C	
R404A	3922	8,5	1,59	909	67,1	0,5	0,4
A1, GWP<2500, значення по відношенню до R404A							
R407A	2107	-27%	+6,5%	-3,5%	88,7	4,2	4,6
R407H	1495	-39%	+9,2%	-1,3%	103,0	4,7	5,2
R407I	1459	-48%	+10,1%	-20,9%	94,0	3,8	5,2
R448A	1387	-26%	+6,7%	+1,0%	89,0	4,2	4,9
R449A	1397	-26%	+6,6%	-0,3%	87,5	3,7	4,5
R449B	1412	-26%	+6,8%	+0,4%	88,8	3,8	4,5
R449C	1251	-30%	+6,8%	-8,3%	83,9	3,7	4,9
R460B	1352	-34%	+8,1%	-4,3%	94,4	6,1	6,8
R452A	2140	-1%	+1,2%	-1,4%	69,6	2,4	3,5
R452C	2220	+2%	+1,2%	+2,5%	70,9	2,2	3
A2L and A2, GWP<15							
R454C	246	-29%	+6,1%	-11,1%	78,6	4,88	7,0
R457A	139	-40%	+8%	-18,5%	80,5	3,8	6,3
R454C	145	-32%	+6,5%	-13,8%	79,1	5,2	7,3
R454C	145	-25%	+4,3%	+0,58%	80,0	6,2	8,3

Усі альтернативи мають нижчий GWP і, отже, можуть сприяти виконанню вимог Регламенту про фторовані гази щодо досягнення цільових показників поетапного скорочення HFC, а також задоволення ліміту GWP (2500 і 150, залежно від передбачуваного використання та застосування). Автором було виявлено компроміс між GWP і займистістю. Усі холодоагенти з $GWP < 150$ мають вогнебезпечні властивості. Таким чином, при використанні таких рідин повинні бути дотримані вимоги, встановлені для використання легкозаймистих холодоагентів. Нові суміші синтетичних холодоагентів, які були запропоновані як потенційні альтернативи R404A, були проаналізовані з точки зору їхніх характеристик при використанні в базовому циклі стиснення парів. Порівняно з R404A всі суміші підвищують COP, хоча Q_{vol} змінюється залежно від умов і вибору суміші.

Найбільше зниження Q_{vol} спостерігалось для холодоагенту з найбільшим підвищенням COP. Таким чином, для деяких нових холодоагентів можливий компроміс між Q_{vol} і COP. Слід також звернути увагу на зміни температурного ковзання та щільності пари, особливо в умовах модернізації холодоагенту, коли можлива зміна компонентів системи не є кращим варіантом. Нарешті, нові холодоагенти, запропоновані як альтернатива R404A, характеризуються різноманітністю компонентів і пропорцій їх змішування. Результируюча варіація їхніх властивостей призводить до широкого діапазону альтернатив, тоді як при виборі суміші для конкретного застосування слід робити компроміс між їхніми характеристиками.

Нові холодоагенти, альтернативні R134a

В даний час більшість запропонованих сумішей містять R134a, змішаний із легкозаймистим HFO (R1234yf або R1234ze(E)). Іншими доданими компонентами є R152a, R32 і R125. R515A не містить R134a і є сумішшю R1234ze(E) з R227ea. Оскільки холодоагенти A2L R1234ze(E) і R1234yf вже використовуються як альтернативи R134a, нові розроблені альтернативи в групі A2L були розроблені шляхом додавання частини R134a до суміші. Це зменшує

займистість компонента HFO, але збільшує GWP. Додавши R152a до R134a та R1234yf, можна було створити азеотропну суміш.

Серед альтернатив A1 можна виділити три підходи до формулювання негорючої суміші. В одній групі нових холодоагентів (R450A, R513A та R513B) частину R134a було замінено на R1234yf та R1234ze(E), таким чином зменшивши GWP суміші. Через однакові рівні тиску насичення між компонентами, суміші були складені лише з невеликим ковзанням температури (R450A) або як азеотропні суміші (R513A та R513B). Холодоагенти R456A та R460C були розроблені шляхом заміни частини R134a на 49% R1234ze (нижчий GWP) з додаванням R32 (вищий COP та Q_{vol}) і, у випадку R460C, невеликої частини R125 (пригнічує займистість, вищий COP і Q_{vol}). Нарешті, R515A було розроблено шляхом поєднання R1234ze(E) з невеликою порцією R227ea, компонента, який пригнічує займистість R1234ze(E) з аналогічною летючістю. У результаті була створена азеотропна суміш з найнижчим GWP у групі A1, хоча її летючість суттєво відрізняється від леткості R134a. Загалом, порівнюючи точки кипіння проаналізованих холодоагентів, як зазначено в роботах авторів [18] і Рис. 10, всі альтернативи мають різні умови кипіння. Температура кипіння R450A за звичайних умов становить $-23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, що трохи вище, ніж у R134a. Помітна різниця ($>1\text{ }^{\circ}\text{C}$) між нормальною точкою роси та бульбашками спостерігалася лише для R456A ($4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) і R460C ($3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Refrigerant	GWP	R134a	R1234yf	R152a	Bubble/dew point, $^{\circ}\text{C}$
NBP, $^{\circ}\text{C}$		-26.1	-29.4	-24	
GWP		1430	4	124	
P at o $^{\circ}\text{C}$, MPa		0.22	0.32	0.26	
ASHRAE safety class		A1	A2L	A2	
		Mass in composition, %			
R451A	149	10.2	89.8		-30.8/-30.5
R451B	164	11.2	88.8		-31.0/-30.6
R516A	142	8.5	77.5	14.0	NBP: $-29.4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рис.10. Склад альтернативних сумішей R134a A2L [18].

Усі альтернативи мають нижчий GWP і, отже, можуть сприяти виконанню вимог Регламенту про фторовані гази щодо зменшення кількості (в CO₂-екв.) HFC, які можна розмістити на ринку України. Крім того, можна виконати вимогу щодо відповідності ліміту GWP робочих рідин в обладнанні, яке буде розміщено на ринку, оскільки запропоновані суміші задовольняють ліміт GWP (1500, 750 і 150, залежно від передбачуваного використання та застосування). Було виявлено компроміс між GWP і займистістю. Жодні холодоагенти з GWP нижче 393 не були розроблені з незаймистими характеристиками. Таким чином, вимоги, встановлені для використання легкозаймистих холодоагентів, повинні бути виконані при використанні рідин з нижчими значеннями GWP.

Нові альтернативні холодоагенти для R410A

Нові суміші холодоагентів, які були запропоновані як потенційна заміна для R410A, відрізняються за складом і, відповідно, за своїми властивостями та очікуваною продуктивністю в парокомпресійних холодильних системах.

Стосовно формулювання альтернативних рідин, R32 є основним компонентом у всіх рідинах. Для негорючого R463A R32 становить 36% з меншими частками інших холодоагентів, доданих для зниження займистості та GWP. Завдяки великій мінливості леткості компонентів суміші R463A характеризується великим температурним ковзанням (11,5 °C у нормальних умовах). Усі легкозаймисті суміші базуються на 68±1% R32, змішаному з одним або двома іншими компонентами, доданими для зниження займистості та GWP сумішей. Як наслідок, вони забезпечують найбільше зниження GWP, і запропоновано суміші з GWP лише 460. Порівнюючи точки кипіння проаналізованих холодоагентів, усі суміші A2L мають вищі значення, тоді як альтернатива A1 має значення на 7 °C нижче. Рівні температурного ковзання нижчі в групі A2L, ніж в альтернативі A1, і були запропоновані суміші з температурним ковзанням нижче 1 °C.

Refr.	R32	R125	R1234yf	R1234ze(E)	other	GWP	Bubble point, °C	Dew point, °C
NBP, °C	-51.7	-48.1	-29.5	-19.0				
GWP	675	3500	4	7				
P _{sat,vap.} at 0 °C, MPa	0.81	0.67	0.32	0.20				
ASHRAE safety class	A2L	A1	A2L	A2L				
R410A	50	50					-51.6	-51.5
R32	100					675	NBP of -52 °C	
R463A	36.0	30	14		6% R744 (A1, NBP of -78 °C) 14% R134a (A1, NBP of -26 °C)	1494	-58.4	-46.9
R446A	68.0			29.0	3.0% R600 (A3, NBP of 0 °C)	461	-49.4	-44.0
R447A	68.0	3.5		28.5		583	-49.3	-44.2
R447B	68.0	8.0		24.0		741	-50.1	-46.0
R452B	67.0	7.0	26.0			698	-51.0	-50.3
R454B	68.9		31.1			466	-50.9	-50.0
R459A	68.0		26.0	6.0		460	-50.3	-48.6

Рис.11. Склад альтернативних сумішей R410A [18].

Аналогічно до попередніх досліджень та теоретичних оглядів, встановлено, що усі альтернативи мають нижчий GWP і, отже, можуть сприяти вимогам Регламенту про фторовані гази щодо зменшення кількості (у 72 CO₂-екв.) НФС, які надходять на ринок України. Крім того, запропоновані рідини A2L можуть задовольнити вимоги щодо нових розділених систем кондиціонування повітря, та мають заправку холодоагенту менше 3 кг F-газу, оскільки вони задовольняють обмеження GWP 750. Усі холодоагенти з GWP<741 мають вогнебезпечні властивості. Таким чином, при використанні таких рідин повинні бути дотримані вимоги, встановлені для використання легкозаймистих холодоагентів. Температура нагнітання всіх альтернатив була підвищена, тому цей параметр слід контролювати. Нові суміші синтетичних холодоагентів, які були запропоновані як потенційні альтернативи R410A, були проаналізовані з точки зору їхніх характеристик при використанні в базовому циклі стиснення парів. Порівняно з R410A, усі альтернативи (за винятком R463A) підвищують COP (збільшення більш ніж на 1%). Інші відхилення відбулися у підвищенні температури нагнітання компресора та температурного ковзання, найвище для R463A та найнижче (1 °C) для R452B та R454B [18].

Висновки

По відношенню до базових R134a, R404A та R410A всі альтернативи демонструють різні робочі параметри. Найпомітніші відмінності спостерігалися для альтернатив для R404A та R410A, для яких для більшості проаналізованих рідин спостерігалися високі значення ковзання, підвищення температури на виході під тиском і зниження густини парів холодоагенту.

Крім того, встановлено, що всі холодоагенти в цій групі були розроблені з використанням R32 як одного з компонентів у суміші. Як наслідок, при використанні нових холодоагентів очікується порівнянний ($\pm 1\%$) або вищий теоретичний COP, а теоретичний Q_{vol} змінюється залежно від варіації нових компонентів суміші (для нових альтернатив R404A: від -21% до $+4\%$ у змодельованих умовах; для нових альтернатив R410A: зниження до 10% у змодельованих умовах).

Для альтернатив R134a більшість альтернатив були розроблені з низькотемпературним ковзанням або у вигляді азеотропних сумішей. Однак жодна із запропонованих рідин R134a не показала більшої енергоефективності, ніж R134a, і зміна Q_{vol} становила від -27% до $+2\%$.

Хоча альтернативи R134a, R404A та R410A доступні, завжди існує компроміс між їхніми різними властивостями, і в цьому розділі не було визначено альтернативи, яка повністю сумісна з конструкцією системи. *Таким чином, вибір конкретного холодоагенту для конкретного застосування завжди передбачає компроміс між різними властивостями та застосуванням різних технічних підходів.*

РОЗДІЛ 3. МІЖНАРОДНІ ТА УКРАЇНСЬКІ СТАНДАРТИ ЩОДО ОБЛАДНАННЯ RASHP

Існують дві міжнародні організації із стандартизації, які публікують відповідні стандарти щодо безпеки для сектора RASHP: Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) та Міжнародна електротехнічна комісія (IEC). На регіональному (наприклад, європейському) рівні існують організації з еквівалентними функціями, такі як Європейський комітет із стандартизації (CEN) та Європейський комітет із стандартизації у галузі електротехніки (CENELEC), які часто розроблюють міжнародні стандарти, адаптуючи їх до регіональних особливостей з передбаченням тих самих або дуже подібних сфер застосування та вимог.

Закон України “Про стандартизацію” 2015 року створив передумови для приведення національної системи стандартизації у відповідність до міжнародних та європейських стандартів і правил, а також імплементації Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом, зокрема, в частині реалізації необхідних адміністративних та інституційних реформ. Найважливіші стандарти щодо RASHP перекладено українською мовою (див. підрозділ 3.3). Разом з тим, стан розуміння та поінформованості серед представників промислових підприємств в Україні залишається дуже низьким. Існує потреба в підвищенні розуміння представниками промислових підприємств застосовності стандартів на практиці.

3.1. Міжнародні стандарти щодо безпечності обладнання RASHP

Існують два типи стандартів, які застосовуються спеціально до систем RASHP .

- Групові стандарти (які називають також загальними родовими або “горизонтальними” стандартами); і
- Стандарти щодо виробів (або “вертикальні” стандарти).

Нижче наведено огляд авторів [4-6] відповідних стандартів у секторі RACHP, а також вказано галузі сектори виробів, яких вони стосуються. Усі ці стандарти мають законодавчі засади, встановлені Директивою щодо машин 2006/42/EC.

Таблиця 4: Огляд найвідповідніших стандартів

Сектор	Стандарти щодо певного типу обладнання			Стандарти щодо більшої частини ринку
	IEC 60335-2-24	IEC 60335-2-40	IEC 60335-2-89	ISO 5149-1, -2, -3, -4
	EN 60335-2-24	EN 60335-2-40	EN 60335-2-89	EN 378-1, -2, -3, -4
Побутові холодильники	×			×
Промислові холодильники			×	×
Промислові системи				×
Пересувні холодильники				×
Кондиціонери і теплові насоси		×		×
Насоси-нагрівачі гарячого водопостачання		×		×
Осушники повітря		×		×

Стандарти щодо безпеки у секторі RACHP стосуються широкого кола небезпек, пов'язаних з системами та обладнанням RACHP. Аспекти, пов'язані з безпекою холодоагенту, є однією з важливих частин цих небезпек, які враховуються у вимогах до проектування, конструкції та експлуатації.

У наведеній нижче таблиці (інформацію взято з джерел [4-6]) подано зведену інформацію про питання, охоплені стандартами щодо безпеки у секторі RACHP, що залежать від вибору холодоагенту. Автори рекомендують ними користуватися лише як довідковим матеріалом щодо максимальних значень, за певних обставин ці значення можуть бути меншими.

Проаналізувавши таблицю нижче стає зрозумілим, що тип холодоагенту впливає на різноманітні аспекти, пов'язані з проектуванням і монтуванням холодильної системи. Наприклад, системи мають проектуватися як “герметичні” у разі використання в них займистих холодоагентів, слід уникати джерел запалювання, давачі газу або системи аварійної вентиляції можуть бути

обов'язковими, також можуть знадобитися окремі додаткові випробування (наприклад, випробування на витoki або гiдравлiчнi випробування). Цi вимоги можуть впливати на вартiсть систем i зручнiсть для виробникiв i монтувальникiв.

Таблиця 4. Огляд стандартiв за [4-6]

Категорiя	IEC 60335-2-24	IEC 60335-2-89	IEC 60335-2-40	ISO 5149-1, -2, -3, -4
	EN 60335-2-24	EN 60335-2-89	EN 60335-2-40	EN 378-1, -2, -3, -4
Сфера застосування	Побутовi холодильники, морозильники та обладнання для виробництва морозива	Промисловi прилади, що живляться вiд електромережi, та моноблоки з конденсатором та одним компресором	Моноблочнi кондицiонери заводського виробництва, тепловi насоси, осушники повітря та спліт-системи	Усi торговi та промисловi холодильнi системи, кондицiонери та тепловi насоси
Обмеження щодо величини наповнення холодоагентом	150 г легкозаймистого холодоагенту. Обмеження щодо R-744 не встановлено. R-717 до сфери застосування не входить.	500 г легкозаймистого холодоагенту класу A3. 1200 г легкозаймистих холодоагентiв класу A2L/A2 Обмеження щодо R-744 не встановлено. R-717 до сфери застосування не входить.	Приблизно 1 кг HC усерединi системи прямої дiї (залежно вiд розмiру камери) i 5 кг поза його межами або в спецiальному примiщеннi. Обмеження щодо R-744 не встановлено. R-717 до сфери застосування не входить.	1 кг, 1,5 кг, 5 кг, 10 кг, 25 кг HC i без обмежень залежно вiд типу системи та/або розмiру камери. Обмеження щодо R-744, а також розмiру камери не встановлено. Обмеження щодо R-717 не встановлено за умови розмiщення поза межами або всерединi машинного вiддiлення.
Маркування	Необхiдно передбачати умовнi позначки щодо займистостi або високого тиску залежно вiд обставин			
Стiйкiсть до дiї надлишкового тиску	Встановлено вимоги щодо гiдравлiчних випробувань систем або компонентiв (де це можливо)			
Електрообладнання	Встановлено вимоги щодо проектування, монтування та випробування.			Подано посилання на вiдповiднi стандарти.
Джерела запалювання	Описує, що слiд враховувати та як уникнути потенцiйного джерела займання, включаючи варіант методу випробування (застосовується до всiх цих стандартiв, крiм ISO 5149).			
Інформація та інструкції	Докладна інформація щодо монтування, експлуатацiї, сервісного обслуговування, поточного ремонту та утилізацiї обладнання, з тим щоб користувачi, оператори та технiчнi працівники знали, як поводитися з безпеками, пов'язаними iз займистiстю			
Герметичність системи	Системи, як правило, повиннi бути побудованi як "герметичнi" або "герметично закритi", якщо вони мають використовувати займистi холодоагенти в примiщеннi (наприклад, вiдсутнiсть або обмежена кiлькiсть механiчних з'єднань або фурнiтури для багаторазового використання)			
Обмеження тиску/запобiжнi пристрої	Потреба в додаткових пристроях для обмеження або зняття надлишкового тиску може стосуватися менших систем, якщо використовуються легкозаймистi холодоагенти			
Вториннi/непрямi системи	Додатковi компоненти для вторинних або непрямих контурiв (наприклад, що використовують воду або розсiл), необхiднi для вiдведення витокiв з випарника у вторинний контур у випадках, коли в первинному контурi наповнення холодоагентом перевищує певну величину			

Водночас, обмеження щодо величини заповнення холодоагенту є найважливішою вимогою стандартiв щодо безпеки з огляду на можливiсть використання холодоагентiв природного походження, особливо HC.

Стосовно діоксиду вуглецю (R-744), що працює за більш високих значень тиску, ніж інші холодоагенти, стандарти встановлюють вимоги щодо використання матеріалів більшої товщини, вищого номінального тиску для трубопроводів і компонентів, передбачення додаткових запобіжних пристроїв для скидання тиску та/або пристроїв для обмежування тиску, а також більш високої компетентності працівників, залучених до конструювання компонентів і збірних вузлів. Для аміаку (R-717) потрібно встановлювати жорсткіші вимоги щодо кількості холодоагенту в приміщеннях з перебуванням людей та обмеження щодо його використання в зонах з більшою щільністю заселення.

Найбільшою проблемою у разі використання займистих холодоагентів є оптимізація величини заповнення з таким розрахунком, щоб енергоефективність і безпека знижувалися в допустимих межах. Випробування засвідчили наявність взаємозв'язку між величиною заповнення холодоагенту, холодопродуктивністю та енергоефективністю приладів RACHP.

Чинні стандарти безпеки передбачають два типи обмежень щодо кількості заповнення холодоагенту:

- Максимальна величина заповнення, відповідно до виду застосування і місцеположення системи; та
- Дозволена величина заповнення як функція розміру охолоджуваного простору і, в окремих випадках, висоти встановлення обладнання.

Для пропану (R-290) – якщо маса холодоагенту в системі перевищує 150 г, то допустиме заповнення залежить від розміру охолоджуваного простору. Максимальний допустимий заряд обмежується величиною 1500 г, після чого збільшення об'єму охолоджуваного простору не допускає збільшення заповнення R-290.

Разом з тим, обмеження щодо максимальної величини заповнення зазвичай не перешкодою, і її величина, яка зазвичай передбачається для забезпечення потреб, не перевищує гранично допустимих значень.

На додаток до стандартів щодо безпеки RACHP, вказаних вище, існує велика кількість інших стандартів безпеки, що застосовуються до обладнання RACHP.

Загальна безпека компресорів і насосів (наприклад, IEC 60225-2-34, EN 809, IEC 60204-1, EN 1012, EN 12693);

Безпека посудин і компонентів систем під тиском (наприклад, ISO 4126, EN 1736, EN 12178, EN 12263, EN 12284, EN 13136, EN 13445, EN 14276);

Герметичність компонентів і з'єднувачів (наприклад, ISO 14903, EN 16084);

Компетентність персоналу (наприклад, EN 13313);

Електромагнітна сумісність (наприклад, серія EN 61000);

Загальна безпека машин (наприклад, ISO 12100, EN ISO 13849-1);

Оцінка ризику обладнання з використанням легкозаймистих газів (наприклад, EN 1127-1);

Характеристики безпеки холодоагентів (наприклад, ISO 817, IEC 60079-20-1);

Виявлення газів (EN 14624, серія IEC 60079-29, EN 50402);

Класифікація небезпечних зон (наприклад, EN 60079-10-1);

Електрообладнання для використання в потенційно пожежонебезпечних зонах (наприклад, IEC 60079-0, IEC 60079-1, IEC 60079-2, IEC 60079-5, IEC 60079-6, IEC 60079-7, IEC 60079-11, IEC 60079-13, IEC 60079-14, IEC 60079-15, IEC 60079-17, IEC 60079-18, IEC 60079-19, IEC 60079-25, IEC 60079-26, IEC 60079-32, IEC 60079-33)

Потрібно зазначити, що в багатьох країнах діють інші нормативні документи щодо безпеки, які поширюються на обладнання RACHP і можуть мати пріоритет перед специфічними стандартами щодо безпеки в секторі RACHP. В окремих випадках їхні вимоги жорсткіші, ніж ті, які унормовано стандартами щодо безпеки. Прикладами таких нормативних документів можуть бути ті, які поширюються на використання легкозаймистих газоподібних речовин у приміщеннях виробничих і переробних підприємств, транспортування

небезпечних вантажів або працівників, які проводять роботи з легкозаймистими речовинами.

3.2 Прийняття стандартів на національному рівні

(Міжнародні) стандарти щодо безпеки у секторі RACHP не є такими, що автоматично стають обов'язковими для компаній та їхнього персоналу. Вони обов'язкові тільки в тому випадку, якщо органи державної влади приймають певні законодавчі акти або нормативні документи, які вимагають відповідності саме цим стандартам.

Країни мають певну можливість маневрування у частині проектування і застосування стандартів. Вони можуть або приймати міжнародні (ISO/IEC) та/або регіональні стандарти методом копіювання такого стандарту або приймати міжнародні стандарти з національними модифікаціями і відхиленнями, наприклад, у випадках, коли вимоги міжнародного стандарту суперечать національному законодавству. На додаток, деякі країни можуть мати власні стандарти щодо безпеки в секторі RACHP, розроблені на національному рівні, які можуть бути подібними або суттєво відмінними від міжнародних стандартів у частині технічних вимог та/або структури і підходу. Водночас, через збільшення кількості міжнародних компаній зацікавлені особи віддають перевагу гармонізації вимог з тими, які встановлюють стандарти щодо безпеки в секторі RACHP.

У більшості країн існують національні органи стандартизації (NSB), що є членами міжнародних організацій із стандартизації (ISO або IEC). Міжнародні стандарти зазвичай розробляють і переглядають групи експертів у технічних комітетах (ТС). З цієї причини до міжнародних органів із стандартизації входить велика кількість ТС, що працюють за різними напрямками. Експертів, які входять до їхнього складу, висувають організації, що є національними членами (NSB). Країни можуть брати участь у роботі ТС як такі, що мають право голосу, або як члени-спостерігачі. Приклади:

- Підкомітет ISO, до компетенції якого належить “безпеку та вимоги щодо охорони довкілля, пов’язані з холодильними системами”, що має умовну позначку “ISO/TC 86/SC 1, постійно працює над розроблянням стандарту ISO 5149-1:2014 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements” (“Холодильні системи. Безпека та вимоги охорони довкілля”). Комітет складається з 22 членів з правом голосу і 19 членів-спостерігачів. Україну в ньому в теперішній час не представлено.

- В IEC комітет із стандартизації “SC 61C” працює над безпекою холодильного обладнання для побутового і торгового використання (Україна в ньому є країною-спостерігачем), у той час як комітет “SC 61D” працює у сфері обладнання для кондиціонування повітря для побутових та інших подібних цілей (Україна в ньому також є країною-спостерігачем).

- “CEN/TC 182 “Refrigerating systems, safety and environmental requirements” (“Холодильні системи. Безпека та вимоги охорони довкілля”) опублікував EN 378-1/2/3/4 (окрім інших стандартів). Україна є органом стандартизації-партнером (CSB) CEN і може брати участь у роботі цього комітету як країна-спостерігач.

NSB, як правило, несе відповідальність за розроблення настанов щодо розроблення, оформлення і видання національних і прийнятих міжнародних стандартів з дотриманням вимог і загальних принципів роботи міжнародних і регіональних органів із стандартизації.

Перед прийняттям міжнародного/регіонального стандарту та його імплементацією в національному законодавстві зазвичай проводять всебічні відкриті і прозорі консультації на національному рівні з метою гарантування того, що приділено належної уваги інтересам зацікавлених осіб і національний контекст такий, що він не дублюватиме і не суперечитиме існуючим нормативним документам. Для цього також потрібен прозорий процес контролювання та оцінювання.

Органи з акредитації необхідні для гарантування того, щоб національні, регіональні або міжнародні стандарти застосовувалися належним чином

установами, які займаються послугами, пов'язаними з сертифікацією, випробуванням, інспектуванням та калібруванням.

Національні асоціації RACHP являють собою технічні органи і платформи для обміну інформацією для компаній і технічних працівників. Вони надають свій внесок NSB і допомагають імплементації стандартів та забезпеченню їх дотримання, наприклад, проведенням роз'яснювальної роботи щодо відповідних стандартів серед своїх членів. Асоціації RACHP часто також надають послуги з професійної підготовки і сертифікації технічних працівників.

3.3 Стандарти і нормативні документи в Україні

Закон України “Про стандартизацію” 2015 року створив передумови для приведення національної системи стандартизації у відповідність до міжнародних та європейських стандартів і правил, а також імплементації Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом, зокрема, в частині реалізації необхідних адміністративних та інституційних реформ.

У відповідності до статті 1 розділу 1 Закону, Міністерство економічного розвитку і торгівлі створило NSB, що розпочав свою діяльність 03.01.2015, яку реалізує Державне підприємство “Український науково-дослідний та навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості” (ДП “УкрНДНЦ”). ДП “УкрНДНЦ” є головною організацією із стандартизації в Україні, визнаною на національному, міжнародному та європейському рівнях. Воно представляє інтереси України в ISO та IEC як повноправний член і як орган із стандартизації-партнер CEN та CENELEC. Назву ДП “УкрНДНЦ” наразі змінено на ДП “Українське агентство із стандартизації” (УАС). УАС за фактом є недержавною установою; проекти національних стандартів не потребують погодження з органами державної влади; потреби в установленні правил щодо розроблення стандартів і нормативних документів підприємствами немає; обов'язковість застосування національних стандартів має бути скасована.

Найважливіші стандарти щодо RACHP перекладено українською мовою. Разом з тим, стан розуміння та поінформованості серед представників

промислових підприємств в Україні залишається дуже низьким. Існує потреба в підвищенні розуміння представниками промислових підприємств застосовності стандартів на практиці.

Таблиця 4. Огляд Європейських та Українських стандартів за [4-6]

Міжнародний стандарт і сфера його застосування	Переклад українською мовою	Сфера застосування українського стандарту
IEC 60335-2-40 'Particular requirements for electrical heat pumps, air conditioners and dehumidifiers' (Особливі вимоги до електричних теплових насосів, кондиціонерів та осушників повітря) Кондиціонери, теплові насоси, насоси-водонагрівачі, осушувачі повітря, охолоджувачі (електричні теплові насоси, насоси-водонагрівачі гарячого водопостачання, кондиціонери, допоміжні нагрівачі, а також осушники повітря, до складу яких входять компресори та фанкойли для повітряного опалення)	DSTU EN 60335-2-40:2014	Застосовність аналогічна, параметри електроживлення аналогічні. До обладнання для гарячого сушіння незастосовний. Частина 2-40. Електричні теплові насоси, кондиціонери та осушувачі повітря.
IEC 60335-2-89 'Particular requirements for commercial refrigerating appliances with an incorporated or remote refrigerant condensing unit or compressor' (Особливі вимоги до промислового холодильного обладнання з вбудованим або відокремленим конденсатором або компресором)	DSTU EN 60335-2-89:2016 (EN 60335-2-89:2010; A1:2016; A2:2017, IDT; IEC 60335-2-89:2010, IDT; A1:2012; A2:2015, MOD)	Сфера застосування, ймовірна, аналогічна. До обладнання для гарячого сушіння незастосовний. Частина 2-89. Додаткові можливості промислового штучного охолодження
EN 378 'Refrigeration systems and heat pumps' Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria (Холодильні системи та теплові насоси. Частина 1. Основні вимоги, визначення понять, класифікація та критерії вибирання) Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation (Частина 2. Проектування, монтування, випробування, маркування та документація) Part 3: Installation site and personal protection (Частина 3. Місце монтування та індивідуальний захист) Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery (Частина 4. Експлуатація, технічне обслуговування, ремонтування та відновлення) Усі стаціонарні або пересувні холодильні системи/системи кондиціонування повітря, за винятком систем кондиціонування повітря транспортних засобів, у тому числі вторинні системи охолодження або опалення та їхні компоненти. Сфера застосування аналогічна сфері застосування ISO 5149.	DSTU EN 378-1:2014 DSTU EN 378-2:2017 (EN 378-2:2016, IDT) DSTU EN 378-3:2005 DSTU EN 378-4:2014	Сфера застосування, ймовірна, аналогічна. Холодильники і теплові насоси. Частина 1. Основні положення щодо застосування, класифікація та критерії вибирання
IEC 60335-2-24:2010 Household and similar electrical appliances 'Particular requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice makers' (Побутові та інші подібні електроприлади. Особливі вимоги до холодильників, обладнання для виготовлення морозива та генераторів льоду)	DSTU IEC 60335-2-24-2001	Сфера застосування, ймовірна, аналогічна.

Упродовж минулих років український уряд безперервно займався розроблянням нормативних актів, що відповідають законодавству ЄС, у тому числі нормативних документів. Наприклад, у відповідності до законодавчих актів ЄС Україна забезпечила зближення з чинними в ньому нормативними документами щодо безпечності низьковольтного електрообладнання, а також безпечності машин і механізмів.

Висновки

Загалом результати імплементації на національному рівні у країнах-членах ЄС дуже подібні. Для приведення власного законодавства у відповідність до нормативних документів ЄС Україні рекомендовано провести аналізування результатів імплементації на національному рівні директив ЄС та користування ними, визначитися, яке законодавство найближче і найбільшою мірою відповідає їй законодавству, а також вивчити обставини, що мають місце в певній країні, з метою використання цієї інформації як зразка або настанови.

На додаток до цих нормативних документів, існують також ряд міжнародних та європейських стандартів щодо продукції і стандартів щодо виробів та безпеки, застосовних до обладнання RASHP. Ці стандарти мають стосунок до застосування холодоагентів, які мають низький GWP, але є легкозаймистими горючими. Виробники та оператори обладнання RASHP можуть підтверджувати відповідність вимогам законодавства ЄС застосуванням відповідних стандартів. Аналогічно, було б важливо, щоб Україна імплементувала відповідні стандарти щодо виробів і “горизонтальні” стандарти щодо безпеки, які забезпечують можливість безпечного використання холодоагентів, які мають низький GWP, але є легкозаймистими горючими.

Ці принципи слід брати до уваги під час розробляння в Україні вищезазначених нормативних документів, а також відповідних стандартів щодо безпеки холодоагентів.

РОЗДІЛ 4. КВАЛІФІКАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ В СЕКТОРІ RASHP НА МІЖНАРОДНОМУ РІВНІ. СИТУАЦІЯ В УКРАЇНІ

Найбільш значимі стандарти і нормативні документи перелічено нижче і у викладених нижче розділах на них подано посилання:

- Європейський Регламент 517/2014 щодо фторованих парникових газів, яким скасовано Регламент (ЄК) 842/2006 (Регламент щодо F-газів)
- Рішення Комісії, що займається Регламентом імплементації (ЄС) 2015/2067 “Сертифікація компаній та фізичних осіб згідно з Регламентом (ЄС) 517/2014”
- EN 13313:2010 “Refrigerating systems and heat pumps – Competence of personnel” (“Холодильні системи та теплові насоси. Компетентність персоналу”)
- EN ISO/IEC 17024 Conformity assessment – General requirements for bodies operating certification of persons (Оцінювання відповідності. Загальні вимоги щодо органів, що проводять сертифікацію персоналу)
- EN 378-1-4 Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements (Установки холодильні та теплові насоси. Безпека та екологічні вимоги)
- ISO 13585-2012 Brazing – Qualification test of brazers and brazing operators (Паяння. Кваліфікаційні випробування паяльщиків та операторів)
- EN 50110 Operation of electrical installations – Part 1: General requirements (Експлуатація електроустановок. Частина 1. Загальні вимоги)

ДП “Українське агентство зі стандартизації” (УАС), яке раніше носило назву ДП “УкрНДНЦ” (Український науково-дослідний і навчальний центр стандартизації, сертифікації та якості) є членом Міжнародної організації стандартизації (ISO), що дає Україні можливість брати участь у розробці

стандартів завдяки роботі у складі Технічних комітетів, а також забезпечує можливість і полегшує їхнє прийняття і впровадження на національному рівні. УАС також є асоційованим членом з питань стандартизації Європейського комітету із стандартизації (CEN), що дає Україні доступ до стандартів CEN, а також можливість приймати європейські стандарти без обмежень.

4.1. Європейський регламент щодо F-газів: ЄС 517/2014

Регламент щодо F-газів ЄС 517/2014 – Регламент щодо фторованих парникових газів має за мету значне зменшення обсягів споживання F-газів в Європейському Союзі до 2050 року. Нормативний документ обмежує кількість холодоагентів, які надходять на ринок, але стосується також осіб, які здійснюють монтаж, регламентні роботи, технічне обслуговування і ремонт обладнання RACHP.

Регулюється споживання HFC, перфорованих сполук (PFC), а також гексафториду сірки (SF₆), які сприяють зміні клімату, якщо викидаються в атмосферу. Він не стосується холодоагентів природного походження. Але зважаючи на той факт, що окремі HFC є також легкозаймистими речовинами (наприклад, R-32 належить до класу A2L, див. таблицю 1), застосовуються процедури кваліфікації та сертифікації. Вимоги щодо компетентності мають бути доповнені вимогами, викладеними в EN 13313 (або ISO/DIS 22712).

Кваліфікація і сертифікація. Професійна підготовка, сертифікація і реєстрація згідно з Регламентом F-газів в Європі залишається загальною практикою вже багато років, кількість сертифікованих технічних працівників дуже велика. Регламент щодо F-газів вимагає наявності в усього персоналу і компаній сертифіката, який підтверджує їхню спроможність здійснювати монтаж, регламентні роботи, технічне обслуговування та виведення з експлуатації холодильних установок, в яких використовуються “F-гази” (як вказано в таблиці 2) з метою зменшення обсягів викидів холодоагентів. Наприклад, технічний працівник, якому доручено перевіряння або ремонтувати контури для циркуляції F-газу в обладнанні, повинен мати відповідний

сертифікат про проходження професійної підготовки у частині F-газів, що стосується цього типу обладнання.

Сертифікацію персоналу здійснюють після оцінювання його теоретичних знань і практичних навичок. Обов'язковими для компетентного технічного працівника сектора RACHP визнано такі теми, які потрібно вносити в програми навчання та перевірення знань (відповідно до ст. 10 Регламенту щодо F-газів і додатка I Регламенту імплементації (ЄС) 2015/2067 відповідно до Регламенту щодо F-газів):

- Достатні знання та практичний досвід
- Базові знання термодинаміки (теорія систем охолодження, міжнародні стандарти (ISO), функціонування основних компонентів тощо), а також практичний досвід екологічного поводження з системою та холодильними агентами;
- Базові знання щодо впливу холодоагентів на довкілля (зміна клімату, GWP), відповідних нормативно-правових актів щодо охорони довкілля, а також відповідних положень Регламенту щодо F-газів і законодавчих актів, розроблених для його реалізації);
- Практичний досвід перевіряння витоків;
- Практичний досвід і знання у сфері введення в експлуатацію та технічного обслуговування компресорів, конденсаторів, випарників, термостатичних розширювальних клапанів і трубопроводів;
- Технічні знання у галузі технологій заміни або зменшення обсягів використання F-газів та безпечного поводження з ними.

Рівні сертифікації. Рішення Комісії, що займається Регламентом імплементації 2015/2067 згідно з Регламентом 517/2014, встановлює вимоги щодо мінімальної кваліфікації персоналу, який виконує роботи з обладнанням стаціонарних холодильних установок, обладнанням для кондиціонування повітря і теплових насосів, а також холодильних агрегатів рефрижераторів та їх причепів, в яких містяться або які призначено для роботи на F-газах.

Цей Регламент встановлює чотири різні рівні сертифікації для стаціонарних систем, які залежать, подібно до EN 13313, від технічних працівників, які працюють з холодоагентами, а також від розміру заправлення холодоагенту.

Таблиця 5. Рівні сертифікації згідно з Регламентом щодо F-газів [4-6]

Категорія		Основні види діяльності і компетентність	Дозволений об'єм холодоагенту
Підвищення рівня компетентності	I категорія (найвища)	Усі види робіт, пов'язані з поводженням з холодоагентами: монтаж, регламентні роботи і технічне обслуговування, ремонт, виведення з експлуатації, перевіряння на предмет витоків та видалення холодоагенту.	Роботи на системах, що містять 3 кг або більше
	II категорія	Видалення холодоагенту, монтаж, регламентні роботи і технічне обслуговування, а також перевіряння на предмет витоків за умови, що це не передбачає розривання холодильного контура, в якому містяться F-гази	Роботи на системах, що містять менше 3 кг F-газу (або 6 кг для герметично закритих систем)
	III категорія	Видалення холодоагенту	Видалення холодоагентів із систем, які містять менше 3 кг F-газів (або 6 кг для герметично закритих систем)
	IV категорія (найнижча)	Перевіряння на предмет витоків	Перевіряння на предмет витоків будь-якої системи за умови, що це не передбачає розривання холодильного контура, який містить F-гази

Сертифікація компаній. З метою проектування, монтажу, регламентних робіт, технічного обслуговування або ремонту обладнання, яке містить або потребує F-газів, F-гази можуть продаватися та купуватися лише у компаній, які мають сертифікати та/або мають сертифікований персонал. Компаніям, які збирають, транспортують або постачають гази виключно, сертифікат не потребує. Компаніям, які займаються винятково збиранням, транспортуванням або постачанням F-газів, сертифікат не потрібен.

Сертифікат для компанії видає уповноважений місцевий орган влади за її запитом. Цьому органу потрібно подавати письмову заявку із зазначенням такої інформації:

- Назва і місцезнаходження компанії (кожне місце окремо);

- Опис видів діяльності, якими займається компанія;
- Сертифікати персоналу;
- Перелік технічного оснащення/перелік обладнання;
- Заява про достатню кількість сертифікованого персоналу.

Організаційна структура схеми сертифікації. Відповідно до рішення Комісії, яка займається Регламентом імплементації (ЄС) 2015/2067 від 17 листопада 2015 р., що встановлює відповідно до Регламенту (ЄС) 517/2014 мінімальні вимоги та умови для взаємного визнання сертифікатів фізичних осіб щодо обладнання RACHP, європейські держави повинні створити Органи з сертифікації та оцінювання.

Орган із сертифікації (СВ) має розробити процедури надання і відкликання сертифікатів фізичним особам або компаніям, які займаються одним або більшою кількістю видів діяльності, вказаних у таблицях 2 і 3, а також вести реєстри, що дають змогу перевірити статус сертифікованої особи або компанії.

Орган із оцінювання (ЕВ) має організувати екзаменаційні перевірки для всіх фізичних осіб у спосіб, що гарантує охоплення мінімальних навичок і знань, вказаних у додатку I Регламенту (ЄС) 2015/2067. Екзаменатори повинні мати належну компетенцію у галузі яка перевіряється. Орган з оцінювання також має встановити процедури звітування і документування з метою ведення записів про індивідуальні і загальні результати оцінювання.

Орган із оцінювання та орган із сертифікації можуть бути однією і тією ж установою.

Досвід інших країн показав, що цих органів не завжди достатньо для забезпечення прозорості та ефективної системи сертифікації. Саме тому деякі країни додатково створили незалежний орган (ІВ), який займається сертифікацією ЕВ та СВ, а також їхньої практики у відповідності до офіційно прийнятих стандартів. Його задача полягає в тому, щоб кваліфікаційні стандарти (навчальні плани), а також методика оцінювання та сертифікації відповідали національним нормативно-правовим актам і стандартам, а екзаменатори мали

компетенцію, необхідну для тестування і сертифікації персоналу сектора RACHP, і поводитися етично. Разом з тим, створення ІВ не є частиною вимог Регламенту щодо F-газів.

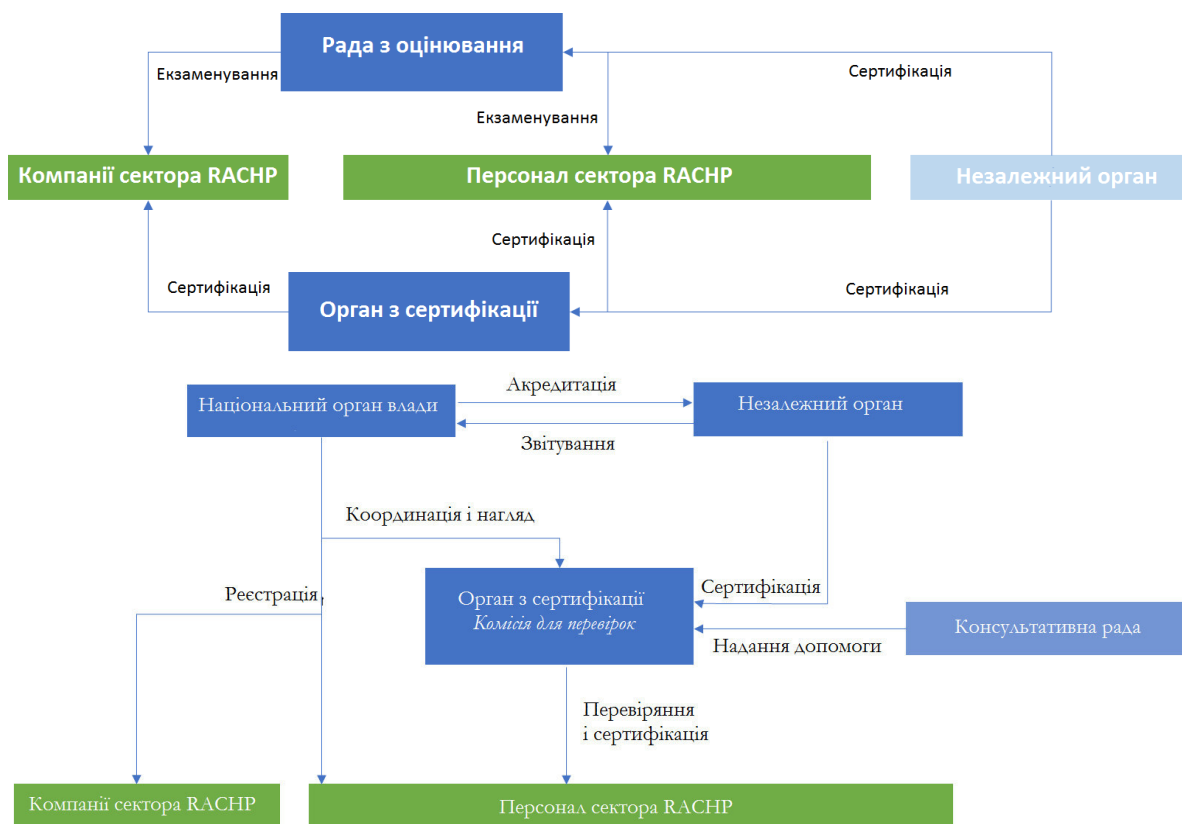


Рис.12. . Організаційна структура схеми сертифікації

Окрім персоналу, який працює в секторі RACHP, компанії, які приймають на роботу сертифікованих технічних працівників, мають бути зареєстровані в НА, після чого для них надається дозвіл на придбання холодоагентів і гідравлічних рідин (мастильних матеріалів, вторинних холодоагентів тощо). Компанія має забезпечити доступність для персоналу, зайнятого роботами, для виконання яких потрібна сертифікація, необхідного обладнання, інструментів і процедур.

Може бути бажаним призначення Національного органу влади (НА), що є частиною державної установи, яка несе повну відповідальність за імплементацію схеми кваліфікації і сертифікації у відповідності до вже існуючих національних технічних стандартів, екологічних норм, законодавчих актів щодо охорони здоров'я та безпеки праці, а також існуючих освітніх рівнів у галузі RACHP.

4.2. Існуючі програми професійної підготовки та підвищення кваліфікації

У секторі RACHP в Україні пропонують два типи програм професійної підготовки та підвищення кваліфікації:

- Тренінги для технічних працівників та інженерів, які проводять головним чином іноземні компанії, зокрема, виробники обладнання та розробники технологій (Danfoss, Güntner, Bitzer тощо) у формі семінарів, вебінарів і навчальних марафонів. Під час проведення тренінгів виробники зазвичай надають інформацію щодо типів свого обладнання та рішень для переходу на екологічно безпечні холодоагенти. Ці тренінги проводять спеціалізовані інженери та спеціалісти зазначених компаній.

- Крім того, існує загальне навчання спеціалістів у галузі холодильних систем та кондиціонування, яке проводиться в 17 навчальних закладах: п'яти закладах вищої освіти (HEI) і 12 коледжах.

Крім того, деякі з цих навчальних закладів пропонують короткі курси професійної підготовки. Проте державним установам важко перевести ці курси на комерційну основу і мотивувати викладачів. До того ж, матеріально-технічна база навчальних закладів є недостатньою. Навчання на цих курсах не супроводжується отриманням офіційного свідоцтва (сертифіката) про їхнє закінчення.

Короткі курси зазвичай можуть проводити приватні компанії, але вони, на відміну від щойно згаданих закладів, не надають офіційно визнаних документів про освіту.

На даний момент в Україні лише запроваджується сертифікаційна практика, яка б надавала дозволи на роботу з озоноруйнівними речовинами та F-газами. Свідоцтва про навчання надають організатори тренінгів, а дипломи державного зразка про проходження особами, які навчаються, повного циклу професійної підготовки – професійно-технічні училища, технікуми та ЗВО.

Деякі компанії проводять професійну підготовку працівників для власних потреб, іноді для потреб інших компаній, але надані ними свідоцтва (сертифікати) не погоджено і не визнаються державою.

Відповідність в Україні не контролюється. Свідоцтва про проходження професійної підготовки, дипломи, тощо не є обов'язковими і зазвичай невисоко ціняться на ринку праці. Саме з цих причин більшість персоналу сектора RACHP в Україні не мають спеціальної освіти, а проходять навчання за місцем роботи.

Семінари та тренінги зазвичай фінансуються організаторами та співфінансуються учасниками. Дипломи фінансуються урядом, а також самими студентами (та їх батьками). Навчальні заклади в Україні зазвичай мають дуже малі фінансові можливості.

Свідоцтва (сертифікати) на категорії жодним чином не поділяються, але дипломи відрізняються залежно від того, яким навчальним закладом їх видано, зокрема:

- Диплом професійно-технічного училища дає робочу професію;
- Диплом технікуму (коледжу) дає процесію спеціаліста, молодшого спеціаліста і бакалавра;
- Диплом університетів дає ступінь бакалавра і магістра.

Висновки:

Короткий огляд чинних в ЄС та Україні нормативних документів і практик щодо розвитку знань та навичок у секторі RACHP показав, що система освіти в Україні в теперішній час перебуває в перехідному стані від системи, що існувала в колишньому Радянському Союзі, до стандартів, нормативних документів та освітніх концепцій, які більшою мірою відповідають тим, що існують в Європейському Союзі.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ ЗНАНЬ І НАВИЧОК В УКРАЇНІ

5.1. Розвиток фундаментальних знань про сектор штучного охолодження.

Зусилля рекомендовано прикладати на двох різних рівнях

- Розроблення та розширення курсу професійної підготовки для наявного персоналу (вузькоспеціалізоване навчання технічних працівників сектора RACHP), який включає в себе додаткові аспекти безпеки альтернативних холодоагентів;

- Перегляд існуючої системи освіти, зокрема, навчальних курсів і схем сертифікації з метою гарантування того, щоб у секторі RACHP персонал мав усе необхідне обладнання, а також належні знання і навички у відповідності до нормативних документів і стандартів ЄС.

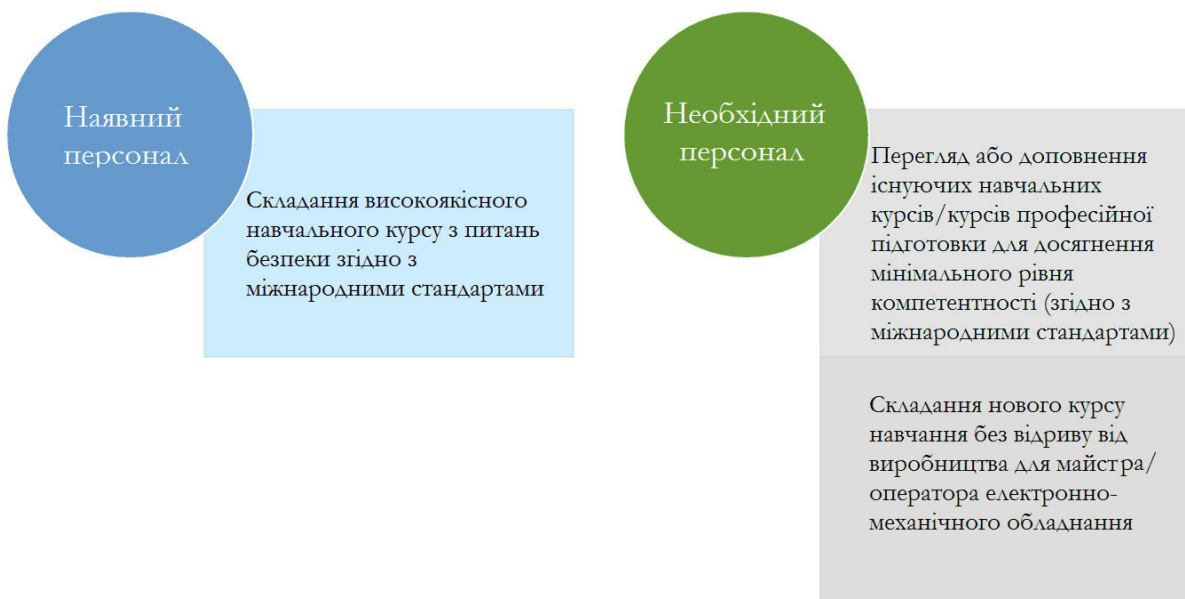


Рис. 13. Підхід до розв'язання існуючих проблем з навчанням у секторі RACHP [4-6]

Увагу слід було б приділити таким питанням:

- Передумовою для визначення мінімального рівня компетентності для розроблення нових програм професійної підготовки та схем сертифікації є визнання і прийняття стандартів щодо професійної підготовки і навичок в Україні. Україна може розробити власні стандарти (які більшою мірою

відповідають умовам, що склалися в Україні) або прийняти відповідні міжнародні стандарти (наприклад, EN 13313).

□ Оскільки холодоагенти природного походження характеризуються більшою токсичністю займистістю, ніж HFC, має бути гарантоване безпечне поводження з цими речовинами. Курси спеціального навчання і курси професійної підготовки в Україні слід порівняти і доповнити основними положеннями Регламенту щодо F-газів та інформацією щодо компетентності, викладеною в EN 13313:2010 та ISO/DIS 22712:2018. З цією метою зазначені стандарти і нормативні документи слід було б перекласти українською/російською мовою (це могло б зробити, наприклад, Українське агентство зі стандартизації).

Рішення комісії, що займається Регламентом імплементації (ЄС) 2015/2067, викладено мінімальні вимоги щодо персоналу сектора RACHP. На додаток до цих видів діяльності, компетенція персоналу сектора RACHP має поширюватися також на виконання робіт з електрообладнанням холодильних установок з дотриманням національних нормативних документів або переліку, поданого в додатку В EN 13313:2010.

□ Усі особи, які виконують ці роботи в секторі RACHP, повинні заздалегідь продемонструвати свою практичну (навички) і теоретичну (знання) компетентність, вони повинні пройти успішне оцінювання призначеним Органом із сертифікації, який видає сертифікат відповідності згідно заданим мінімальним вимогам (і стандартам).

Відповідно, Україні необхідно було б створити Орган з сертифікації і Раду з оцінювання, які оцінюють фізичних осіб, виготовляють і видають сертифікати. Асоціації (наприклад, Громадська спілка “Холодильна асоціація України” та Національна асоціація України з теплових насосів) або ж одна з існуючих освітніх установ з потужною базою у сфері технологій RACHP чи знов створена установа могла б виконувати функції Органа з сертифікації в Україні.

Асоціації, які представляють роботодавців у секторі RACHP, могли б гарантувати, щоб знання і навички, набуті в результаті навчання, відповідали

потребам приватного сектора, і займатися підвищенням визнання таких сертифікатів у приватному секторі.

Органу з сертифікації також слід було б встановити процедуру документування результатів перевірки знань і створити національний реєстр.

□ Потрібна була б стратегія створення нових центрів професійної підготовки. В ідеалі в усіх найбільших містах України мали б бути високопрофесійні центри професійної підготовки, які мають функціонувати під патронатом асоціацій за участю навчальних закладів, які входять до цих асоціацій.

□ В Робочій групі слід обговорити, яка саме державна установа могла б відігравати роль незалежного органа з сертифікації і контролювання діяльності Органа з сертифікації, а також їхню практичну діяльність згідно з офіційно затвердженими стандартами і гарантування того, що кваліфікаційні стандарти (навчальні курси) відповідають національним нормативним документам, а СВ і практики сертифікації (Рада екзаменаторів) мають компетенцію, необхідну для перевіряння знань та сертифікації персоналу сектора RASHP.

□ Як зазначалося вище, сертифікацію рекомендовано проводити окремо від надання диплому, який наразі пропонується до здобуття в Україні, але вона має визнавати дві форми навчання (комбінацію професійної підготовки на базі компанії і на базі навчального закладу), а також приватні центри професійної підготовки (за умови що вони відповідають стандартам щодо професійної підготовки).

□ Оскільки не всім найманим працівникам сектора RASHP потрібно мати один і той самий рівень компетенції у виконання робіт, рекомендовано також класифікувати і відрізнити рівень мінімальної компетентності, наприклад, середньо кваліфікованих працівників через виконання ними лише сезонних робіт і нижчий рівень компетентності, від професіоналів, які активно займаються роботами з побудови холодильних систем та реалізації проектів з різними вимогами щодо складності і жорсткості умов експлуатації. Оскільки категорії компетентності згідно з Регламентом F-газів не поширюються на всі види

діяльності, можна використовувати чотири категорії, описані в EN 13313:2010. Рекомендовано, щоб сертифікати, які засвідчують компетентність, залишалися чинними упродовж чотирьох років з моменту надання диплома.

□ Потужності для проведення професійної підготовки слід було б забезпечити мінімальним необхідним обладнанням та інструментами (у тому числі достатньою кількістю витратних матеріалів) для її проведення.

5.2. Розвиток обізнаності в рамках екологічних аспектів

Вимоги Регламенту щодо F-газів змусили прийняти холодоагенти зі зниженим GWP. Таким чином, майбутні прямі викиди від систем охолодження будуть значно зменшені. Водночас значну кількість викидів парникових газів (ПГ), пов'язаних із системою охолодження, становлять викиди ПГ від виробництва використаної електроенергії та ті викиди, які є вбудованими у виробництво компонентів системи та викидаються в кінці терміну служби системи. LCCP і TEWI є добре відомими екологічними показниками, які можна використовувати для оцінки комбінованих прямих і непрямих викидів ПГ.

З двох, LCCP забезпечує більш цілісну оцінку, розширюючи спектр факторів, які беруться до уваги.

Тому необхідно оцінити загальний вплив системи RASHP на клімат, щоб обґрунтувати вибір відповідного холодоагенту, щоб перевірити найменший внесок у глобальне потепління. LCCP — це комплексний показник, який пропонується використовувати для оцінки викидів на різних етапах життєвого циклу системи RASHP. Включаючи невизначеності вхідних даних у розрахунок LCCP, можна отримати більш надійні результати розрахунку, а також полегшити обчислення LCCP шляхом заміни вибраних вхідних параметрів, які важко або неможливо отримати, їх найкращими оцінками та пов'язаними невизначеностями. Було запропоновано такий підхід до розрахунку LCCP, який передбачає включення невизначеності вхідних даних в аналіз LCCP. Забезпечення більш прозорого підходу до розрахунку LCCP уможливить перехід

на холодоагенти, які дозволять створити систему RACHP з найменшим можливим впливом на клімат.

Забезпечення більш прозорого підходу до аналізу LCCP для систем RACHP, можна врахувати такі рекомендації:

Навчальні програми:

- Розробіть та впровадьте навчальні програми для фахівців у сфері технічного проектування, експлуатації та обслуговування систем RACHP, які включають у себе розрахунок LCCP.
- Забезпечте інтеграцію навчання з питань невизначеності вхідних даних у розрахунки LCCP.

Дослідження та Розвиток:

- Підтримуйте дослідження в галузі альтернативних холодоагентів та технологій RACHP з низьким впливом на клімат.
- Розвивайте методи розрахунку LCCP, що враховують невизначеність вхідних даних.

Партнерства та Мережі:

- Сприяйте обміну досвідом та інформацією між університетами, науково-дослідними установами та промисловими підприємствами у галузі RACHP.
- Розвивайте партнерства з міжнародними організаціями та іншими країнами, щоб використовувати найкращі практики у сфері розрахунку LCCP.

Інформаційна Кампанія:

- Проводьте інформаційні кампанії серед підприємств, фахівців та громадськості з акцентом на важливість включення невизначеності в розрахунки LCCP.
- Забезпечте доступ до публікацій, ресурсів та інструментів для вивчення і застосування методів розрахунку LCCP.

Підтримка Ініціатив:

- Підтримуйте участь в міжнародних ініціативах та стандартах, спрямованих на розробку більш ефективних та екологічно безпечних систем RACHP.
- Сприяйте впровадженню інновацій у сфері RACHP, спрямованих на зменшення впливу на клімат.

Висновки

Зважаючи на наведену вище інформацію для успішної інтеграції українського ринку на рівень ЄС необхідно визнання і прийняття стандартів для професійної підготовки і навичок в Україні, щоб встановити мінімальний рівень компетентності. Слід порівняти та доповнити курси професійної підготовки в Україні з відповідними міжнародними стандартами. Важливо забезпечити безпечне поводження з холодоагентами, особливо з урахуванням їхньої токсичності та займистості. Розвивати наявні високопрофесійні центри у найбільших містах України, спільно з асоціаціями та навчальними закладами. Гарантування відповідності стандартам та контроль за діяльністю.

Також автором запропоновано використовувати екологічні показники LCCP і TEWI для оцінки комбінованих прямих і непрямих викидів ПГ. Серед них LCCP надає більш цілісну оцінку, охоплюючи ширший спектр факторів. Це важливо для обґрунтування вибору холодоагента, що мінімізує внесок у глобальне потепління. Врахування невизначеностей у вхідних даних для розрахунків LCCP сприяє отриманню надійних результатів та полегшує аналіз. Прозорий підхід до розрахунку LCCP, який включає невизначеності, дозволяє здійснити перехід до холодоагентів, що мають мінімальний вплив на клімат.

ВИСНОВКИ

Поточний і прогнозований вплив фторвмісних речовин на зміну клімату спричинив перехід до більш екологічних рішень. У секторі RACHP це поклато початок переходу на альтернативні холодоагенти зі зниженими значеннями GWP. Перехід підтримується вимогами Регламенту щодо Ф-газів, Монреальського протоколу та Паризької угоди. Визнаючи цілі Паризької угоди, необхідно суттєво скоротити викиди ПГ. Стосовно холодильного обладнання, яке використовує системи стиснення парів, зменшення може бути досягнуто шляхом розгляду як прямих викидів (наприклад, шляхом зменшення GWP використаних речовин), так і непрямих викидів (наприклад, шляхом підвищення енергоефективності роботи системи) від системи RACHP.

Оскільки для пом'якшення кліматичних змін слід використовувати системи RACHP із низьким впливом на клімат, необхідний вибір холодоагенту, який стосується як прямих, так і непрямих викидів. Регламент щодо F-газів передбачає стимули для використання холодоагентів зі зниженим GWP. У таких випадках очікується, що прямі викиди від систем RACHP будуть зменшені. Однак, як показано в цій тезі та представлено в документі E, це не обов'язково призводить до зниження впливу на клімат, вираженого у вигляді значення LCCP. Таким чином, оцінка LCCP може бути необхідною для врахування повного впливу системи на клімат під час вибору альтернативного холодоагенту. Проблемою щодо широкого впровадження методу LCCP є його невизначеність, яка виникає на різних рівнях (наприклад, відсутні або нерепрезентативні вхідні дані, невизначеність моделювання). Ці невизначеності слід враховувати під час розрахунку LCCP системи RACHP. Крім того, невизначеності можна включити в порівняльний аналіз LCCP, як показано в цій дисертації та представлено в документі F.

Загалом, нові холодоагенти, придатні для використання в секторі RACHP, були розроблені у вигляді сумішей, де вибір компонентів і пропорції змішування забезпечують варіативність їхніх властивостей. Зменшення GWP, але

збереження низької займистості або її відсутність є типовою тенденцією поточного розвитку суміші холодоагентів. Інші бажані властивості включають збільшення Q_{vol} і підвищення енергоефективності. Низьке значення GWP холодоагенту часто віддається пріоритету під час вибору нового холодоагенту, оскільки воно сприяє дотриманню вимог, встановлених Регламентом щодо F-газів, а компроміс між іншими властивостями здійснюється залежно від передбачуваного використання холодоагенту.

Деякі важливі аспекти розробки нових холодоагентів та їх застосування залишилися поза межами представленого дослідження та пропонуються для подальшого аналізу.

Оскільки нові альтернативи R410A з GWP нижче 1494 є легкозаймистими холодоагентами, існує великий інтерес до негорючої альтернативи R410A з нижчим GWP.

Відсутність ефективних методів оцінки впливу холодильних систем на клімат перешкоджає розробці відповідної політики, яка може стимулювати перехід до систем RACHP із низьким впливом на клімат.

Тому потрібен подальший аналіз, включаючи більшу кількість експериментальних досліджень. Запропоновані напрямки для майбутніх досліджень включають вплив температурного ковзання нових холодоагентів, міркування безпеки, хімічну стабільність і оцінку сумісності матеріалів, аналіз теплопередачі, подальший аналіз впливу на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. J. Molina and F. S. Rowland, “Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone,” *Nature*, vol. 249, no. 5460, pp. 810–812, Jun. 1974
2. United Nations Environment Programme, “The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.” 2019.
3. World Meteorological Organization (WMO), Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018. Geneva, Switzerland, 2018.
4. Julia Naack, Edgar Timm, Dietram Oppelt, HEAT (HEAT GmbH) I Методичні вказівки: Законодавча база щодо кліматичних та енергоефективних альтернатив у секторі охолодження, кондиціонування і теплових насосів (РАСНР) в Україні. *В рамках проекту “Нарощування потенціалу для інноваційного застосування енергоефективних та клімат-технологій РАСНР в Україні” ГС ХАУ 2021, Україна.*
5. Julia Naack, Edgar Timm, Dietram Oppelt, HEAT (HEAT GmbH) II Методичні вказівки: Вимоги безпеки і стандарти для виробників та операторів обладнання для штучного охолодження, кондиціонування повітря і теплових насосів (РАСНР) в Україні. *В рамках проекту “Нарощування потенціалу для інноваційного застосування енергоефективних та клімат-технологій РАСНР в Україні” ГС ХАУ 2021, Україна.*
6. Julia Naack, Edgar Timm, Dietram Oppelt, HEAT (HEAT GmbH) III Методичні вказівки: Навчання, кваліфікація та сертифікація для впровадження в Україні екологічно чистих технологій охолодження та нагрівання. *В рамках проекту “Нарощування потенціалу для інноваційного застосування енергоефективних та клімат-технологій РАСНР в Україні” ГС ХАУ 2021, Україна.*
7. Pavel Makhnatch, Doctoral Thesis, 2019 KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology SE-100 44 Stockholm, Sweden 2019.

8. E. Clark and S. Wagner, OzoneAction fact sheet. The Kigali Amendment to the Montreal Protocol: HFC phase-down. 2016.

9. IPCC, Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva, Switzerland, 2018.

10. M. O. McLinden, J. S. Brown, R. Brignoli, A. F. Kazakov, and P. A. Domanski, “Limited options for low-global-warming-potential refrigerants,” *Nature Communications*, vol. 8, Feb. 2017.

11. E. Granryd, I. Ekroth, P. Lundquist, Å. Melinder, B. Palm, and P. Rohlin, *Refrigerating engineering*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2011.

12. S. Bobbo, G. D. Nicola, C. Zilio, J. S. Brown, and L. Fedele, “Low GWP halocarbon refrigerants: A review of thermophysical properties,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 90, pp. 181–201, Jun. 2018.

13. B. Palm, “Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – A review,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 31, no. 4, pp. 552–563, Jun. 2008.

14. K. Andersson, G. Eric, and B. Palm, “Water to water heat pump with minimum charge of propane,” in *Natural refrigerant solutions for warm climate countries*, Valencia, Spain, 2018.

15. IEC, “IEC 60335-2-89:2019. Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor.” 2019.

16. A. Pearson, “Refrigerating with ammonia,” in *Natural refrigerant solutions for warm climate countries*, Valencia, Spain, 2018.

17. B. Palm, “Ammonia in low-capacity refrigeration and heat pump systems,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 31, no. 4, pp. 709–715, Jun. 2008

18. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., ANSI/ASHRAE standard 34-2016. Designation and safety classification of refrigerants. Atlanta, GA, 2016.
19. A. Domanski, M. O. McLinden, I. H. Bell, and G. T. Linteris, “Low- GWP alternative refrigerant blends for HFC-134a,” National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST TN 2014, Sep. 2018.
20. G. Myhre et al., “Anthropogenic and natural radiative forcing,” in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Doschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013, pp. 659–740.
21. European Parliament, Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance, vol. 150. 2014.
22. WMO (World Meteorological Organization), “Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018,” Geneva, Switzerland, 58, 2018.
23. UNEP, Report of the UNEP Technology and Economic Assessment Panel. Volume 1. 2010.
24. IIR, Guideline for Life Cycle Climate Performance. V.1.2. 2016.
25. E. W. Lemmon, M. L. Huber, and M. O. McLinden, “NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (REFPROP), Version 9.1,” Physical and Chemical Properties National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, 2013.
26. European Environment Agency, “Fluorinated greenhouse gases 2018. Data reported by companies on the production, import, export and destruction of fluorinated greenhouse gases in the European Union, 2007-2017,” 2018.
27. Honeywell, “Honeywell refrigerants roadmap.” 2018.

28. P. A. Domanski, R. Brignoli, J. S. Brown, A. F. Kazakov, and M. O. McLinden, “Low-GWP refrigerants for medium and high-pressure applications,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 84, pp. 198–209, Dec. 2017.

29. P. Makhnatch, A. Mota-Babiloni, and R. Khodabandeh, “The effect of temperature glide on the performance of refrigeration systems,” in *Creative refrigerants for low carbon and green growth*, Seoul, South Korea, 2017.

30. E. W. Lemmon, and I. H. Bell, M. L. Huber, and M. O. McLinden, *NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 10.0*, National Institute of Standards and Technology. 2018.

31. https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32096/1/refrigeration_equipment.pdf – Холодильна техніка та технологія харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс]: науково-допоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020 рр. / упоряд. Т.П. Фесун; Наук.-техн. б-ка ; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 211 с.

32. <http://ref.org.ua/info/articles/materialy-proektu-neat-gs-khau/> – матеріали проекту HEAT + ГС “Холодильна асоціація України”. Статті, законодавча база та технічна література.

33. <https://store.danfoss.com/ua> – обладнання для систем охолодження фірми Данфос.<https://>

34. *Refrigeration Application Handbook | Danfoss /* – навчальна література із застосування промислового холоду.

35. https://www.academia.edu/28692186/HANDBOOK_REFRIGERATION – навчальна література по холодильному обладнанню.

36. <https://agrimoon.com/refrigeration-and-air-conditioning-pdf-book/> – навчальна література по холодильному обладнанню.

37. <https://epdf.tips/refrigeration-equipment.html> – навчальна література по холодильному обладнанню.

38. www.grasso.nl – Вибір обладнання для систем охолодження фірми Grasso.

39. www.bitzer.de – Вибір обладнання та розрахунки для систем охолодження фірми Bitzer.

40. 14. Теплохолодотехніка: навч. посіб. / С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, М.М. Масліков, Н.В. Іващенко, С.В. Барановська. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 258 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Designation	Chemical name	Chemical formula	GWP
R23	trifluoromethane	CHF_3	14800
R32	difluoromethane	CH_2F_2	675
R41	fluoromethane	CH_3F	92
R125	pentafluoroethane	CHF_2CF_3	3500
R134	1,1,2,2-tetrafluoroethane	CHF_2CHF_2	1100
R134a	1,1,1,2-tetrafluoroethane	CH_2FCF_3	1430
R143	1,1,2-trifluoroethane	CH_2FCHF_2	353
R143a	1,1,1-trifluoroethane	CH_3CF_3	4470
R152	1,2-difluoroethane	$\text{CH}_2\text{FCH}_2\text{F}$	53
R152a	1,1-difluoroethane	CH_3CHF_2	124
R161*	fluoroethane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{F}$	12
R227ea	1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	3220
R236cb	1,1,1,2,2,3-hexafluoropropane	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CF}_3$	1340
R236ea	1,1,1,2,3,3-hexafluoropropane	$\text{CHF}_2\text{CHFCF}_3$	1370
R236fa	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	9810
R245fa	1,1,1,3,3-Pentafluoropropane	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1030
R245ca	1,1,2,2,3-Pentafluoropropane	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CHCF}_2$	693
R365 mfc	1,1,1,3,3-pentafluorobutane	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$	794
R43-10 mee	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoropentane	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	1640

Refrigerant	Chemical Name
R1130(E)	trans 1,2-dichloroethene
R1123	1,2,2-trifluoroethene
R1224yd(Z)	cis 1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene
R1132a	1,1-difluoroethene
R1233zd(E)	trans 1-chloro-3,3,3-trifluoropropene
R1336mzz(Z)	cis 1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene

Number	Refrigerant Composition (Mass %)
R407G	R32/125/134a (2.5/2.5/95.0)
R407H	R32/125/134a (32.5/15.0/52.5)
R407I	R32/125/134a (19.5/8.5/72.0)
R444B	R32/152a/1234ze(E) (41.5/10.0/48.5)
R446A	R32/1234ze(E)/600 (68.0/29.0/3.0)
R447A	R32/125/1234ze(E) (68.0/3.5/28.5)
R447B	R32/125/1234ze (E) (68.0/8.0/24.0)
R448A	R32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26.0/26.0/20.0/21.0/7.0)
R449A	R32 /125 /1234yf /134a (24.3/24.7/25.3/25.7)
R449B	R32/125/1234yf/134a (25.2/24.3/23.2/27.3)
R449C	R32/125/1234yf/134a (20.0/20.0/31.0/29.0)
R450A	R134a/1234ze(E) (42.0/58.0)
R451A	R1234yf/134a (89.8/10.2)
R451B	R1234yf/134a (88.8/11.2)
R452A	R32/125/1234yf (11.0/59.0/30.0)
R452B	R32/125/1234yf (67.0/7.0/26.0)
R452C	R32/125/1234yf (12.5/61.0/26.5)

Number	Refrigerant Composition (Mass %)
R453A	R32/125/134a/227ea/600/601a (20.0/20.0/53.8/5.0/0.6/0.6)
R454A	R32/1234yf (35.0/65.0)
R454B	R32/1234yf (68.9/31.1)
R454C	R32/1234yf (21.5/78.5)
R455A	R744/32/1234yf (3.0/21.5/75.5)
R456A	R32/134a/1234ze(E) (6.0/45.0/49.0)
R457A	R32/1234yf/152a (18.0/70.0/12.0)
R458A	R32/125/134a/227ea/236fa (20.5/4.0/61.4/13.5/0.6)
R459A	R32/1234yf/1234ze(E) (68.0/26.0/6.0)
R459B	R32/1234yf/1234ze(E) (21.0/69.0/10.0)
R460A	R32/125/134a/1234ze(E) (12.0/52.0/14.0/22.0)
R460B	R32/125/134a/1234ze(E) (28.0/25.0/20.0/27.0)
R460C	R32/125/134a/1234ze(E) (2.5/2.5/46.0/49.0)
R461A	R125/143a/134a/227ea/600a (55.0/5.0/32.0/5.0/3.0)
R462A	R32/125/143a/134a/600 (9.0/42.0/2.0/44.0/3.0)
R463A	R744/32/125/1234yf/134a (6/36/30/14/14)
R464A	R32/125/1234ze(E)/227ea (27/27/40/6)
R465A	R32/290/1234yf (21.0/7.9/71.1)

Number	Refrigerant Composition (Mass %)
R513A	R1234yf/134a (56.0/44.0)
R513B	R1234yf/134a (58.5/41.5)
R514A	R-1336mzz(Z)/1130 (E) (74.7/25.3)
R515A	R-1234ze(E)/227ea (88.0/12.0)
R516A	R-1234yf/134a/152a (77.5/8.5/14.0)