

10.31653/smf44.2022. 79-87

Козьмініх М. А., Константінов О. І.

Національний Університет «Одеська морська академія»

ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В нинішній час процеси змін кліматичних умов на нашій планеті відіграють все більшу значущість. І ця тенденція посилюється з року в рік. Серед факторів впливу розглядаються, як найбільш важливі, парниковий ефект, тобто збільшення кількості парникових газів в атмосфері, зокрема CO_2 , та руйнування озонового шару нашої планети [1].

Заходи впливу на перший фактор оговорені в Кіотському протоколі до Рамочної конвенції ООН про зміни клімату. Заходи, щодо другого фактору, визначені Монреальським протоколом.

Враховуючи те, що застосуванням холодильних установок, як в промисловості, так і в повсякденному житті людського суспільства постійно зростає, а в якості робочих речовин в таких установках зазвичай використовуються речовини, що зазначаються вищезгаданими міжнародними документами, в процесі вибору робочої речовини – холодильного агенту слід комплексно оцінювати її вплив на земну атмосферу.

З іншого боку необхідно звернути увагу на енергетичну ефективність холодильної установки враховуючи її призначення та умови експлуатації в залежності від обраного холодильного агенту [2,4].

Найліпші значення достатньо великої кількості показників здатні створювати антагоністичні умови під час обрання конкретного холодильного агенту, що вимагає від проєктанта пошуків оптимального рішення, яке в найбільшому ступені, буде відповідати всім наявним вимогам [2].

Одним зі шляхів розв'язання проблеми було б отримання комплексного критерію оцінки для обрання холодильного агенту, який би враховував, як його вплив на процеси в атмосфері, так і виконання технологічних вимог [3].

Зниження кількості озону в земній атмосфері, як відомо, є наслідком надходження галогенів, які є складовою частиною хлорфторвуглеців, до яких відноситься значна частина традиційних холодильних агентів. Така властивість цих речовин оцінюється коефіцієнтом озоноруйнуючого потенціалу *ODP* (*Ozone Depletion Potential*), що змінюється від 1 (100%), для найбільш поширеного в минулому сто-

річчі R12, до 0 для більшості холодильних агентів, що застосовуються нині (R 507, R 404a та інш.) [1].

Для оцінки впливу на парниковий ефект застосовують коефіцієнт глобального потепління *GWP* (*Global Warming Potential*), в якості базового значення було прийнято $GWP=1$ для R 11, який може змінюватися дуже в широких межах від 1 до більш ніж трьох тисяч у R 404a, який теж використовується в деяких суднових холодильних установках.

Для остаточного урахування впливу функціонування холодильної установки на парниковий ефект в нинішній час рекомендують застосовувати показник *TEWI* (*Total Equivalent Warming Impact*), який враховує не тільки вплив холодильного агента, але й вплив кількості енергії, яка вживається холодильною установкою за весь час експлуатації.

$$TEWI = GWP \cdot M + \alpha \cdot B,$$

де *M* – загальна маса холодильного агента, викинутого до атмосфери під час експлуатації, кг;

α – кількість двоокису вуглецю (*CO₂*), що надходить до атмосфери під час виробки 1 кВт години енергії, кг/кВт година;

B – загальне електровживання холодильної установки за весь час експлуатації, кВт.

Не важко зробити висновок, що наведені вище показники та їх порівняння з умов використання різних холодильних агентів не дозволяють оцінити ефективність експлуатації холодильної установки та її конкретний вплив на навколишнє середовище.

Для більш наглядного порівняння властивостей холодильних агентів оберемо достатньо поширені в транспортних холодильних установках: R 407c, R 134a, R 410a, R 507. У якості базового для порівняння було обрано холодильний агент R 22, який і в нинішній час ще, можливо зустріти в транспортних холодильних установках.

Таблиця 1 – Властивості холодильних агентів

	HCFC 22	HFC 407c	HFC 134a	HFC 410a	HFC 507
1	2	3	4	5	6
Склад	Чиста речовина R22 (дифторхлорметан)	Неазеотропна суміш: 23% R 32, 25% R 125, 52% R134a	Чиста речовина R 134a (тетрафторетан)	Неазеотропна суміш: 50% R 32, 50% R 125	Азеотропна суміш: R125 (50%) R143a (50%)

1	2	3	4	5	6
Питома масова холодопродуктивність, кДж/кг	163	Практично така ж, як у R 22 165	Нижче, ніж у R 22 та R 407C 153	Висока 169	Майже як у R22 164
Холодильний коефіцієнт	Середній 3,3	Низький 3,05	Високий 3,47	Низький 3,07	Низький 2,83
Робочий тиск, МПа	Середній 1,19	Середній 1,28	Низький 0,77	Дуже високий 1,87	Середній 1,29
Температура нагнітання, 0С	Висока +78	Середня +64	Низька +52	Висока +74	Висока +70
Температурний глайд	Відсутній	Високий - 5 °К	Відсутній	Дуже низький - 0,2 °К	Відсутній
Потенціал руйнування озонового шару Землі ODP	0.050	0	0	0	0
Потенціал глобального потепління GWP	1700	1600	1300	1720	3900

HFC – холодильні агенти, що не містять хлору (*Cl*);

HCFC – холодильні агенти до складу яких входить хлор (*Cl*).

Обираючи параметри, що дозволяють оцінити ефективність використання холодильної установки, перш за все, слід звернути увагу на холодильний коефіцієнт, який оцінює співвідношення відведеного від об'єкту тепла до витрати енергії на здійснення процесу (ϵ) [3].

З конструктивної точки зору важливими показниками є тиски конденсації (P_k) та випаровування ($P_{вип}$) для заданих технологічних умов експлуатації, коефіцієнт подачі компресору λ .

Енергетичні витрати можливо оцінити за значеннями теоретичної N_a , індикаторної N_i , ефективної N_e потужностей та потужності на валу електродвигуна $N_{в.н.2}$.

Розглядаючи випадки застосування обраних для порівняння холодильних агентів при стандартних умовах, тобто: температура випаровування $t_0 = -15^{\circ}C$; температура конденсації $t_k = +30^{\circ}C$; $t_{вс} = -5^{\circ}C$; температура переохолодження $t_{но} = +25^{\circ}C$, можливо отримати відповідні залежності, що характеризують взаємовідносини та зміну обраних для порівняння параметрів.

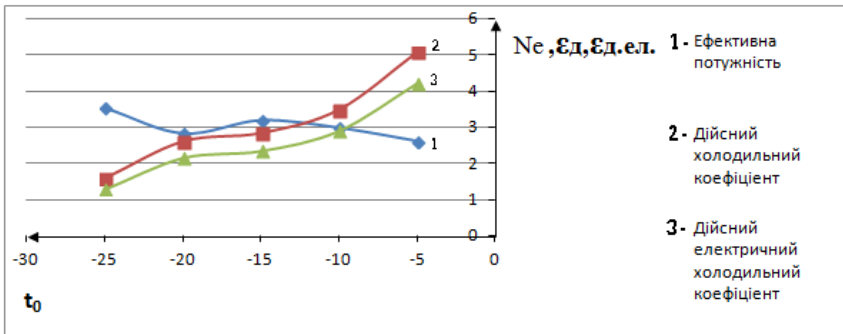


Рис. 1 – Графічні залежності експлуатаційних параметрів від температури випаровування для R 134a

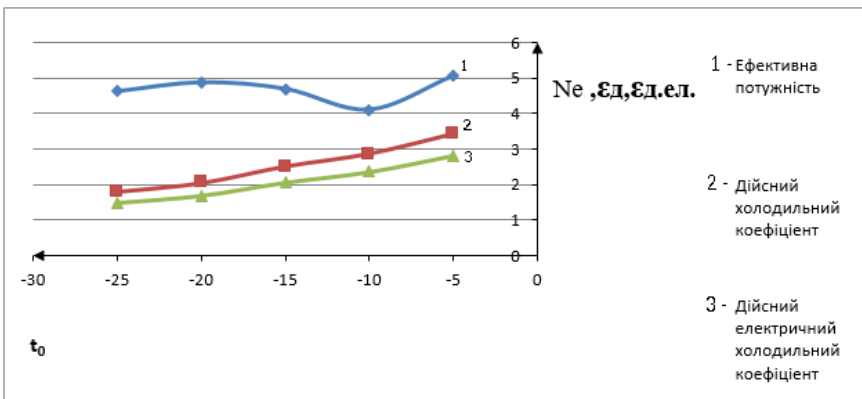


Рис. 2 – Графічні залежності експлуатаційних параметрів від температури випаровування для R 407c

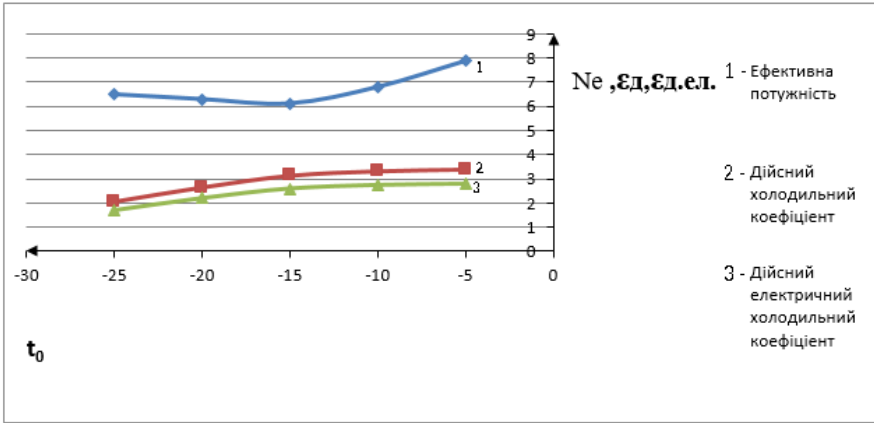


Рис. 3 – Графічні залежності експлуатаційних параметрів від температури випаровування для R 410a

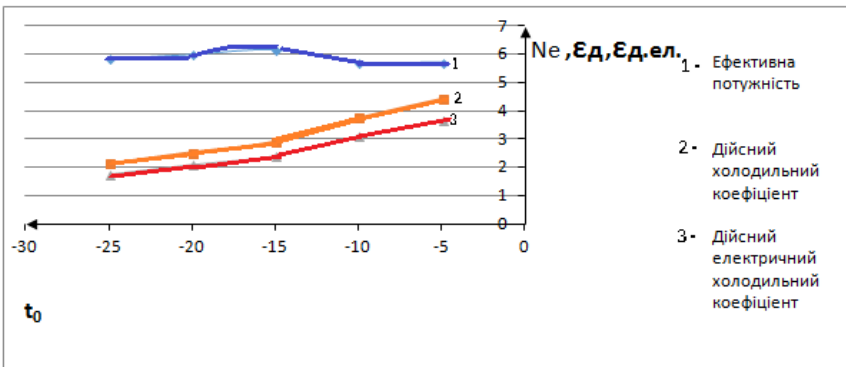


Рис. 4 – Графічні залежності експлуатаційних параметрів від температури випаровування для R 507

Отримані графічні залежності дозволяють зробити попередню оцінку енергетичної доцільності застосування обраних для розгляду холодильних агентів в залежності від технологічних умов.

Так, при відносно високих температурах випаровування (близько до 0°C) помітні переваги має R 134a, однак, зі зниженням температури до -25°C більш бажаним стає R 507, завдяки найвищому значенню холодильного коефіцієнту.

Дещо інакший характер має співвідношення експлуатаційних параметрів при стандартних умовах, що ілюструє гістограма наведена на рисунку 5.

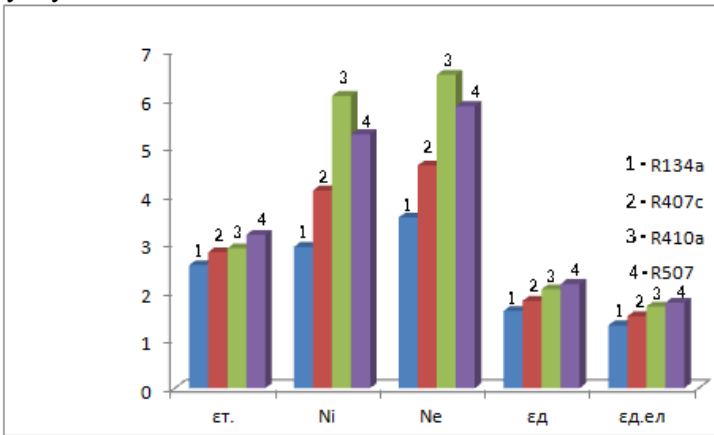


Рис. 5 – Порівняння експлуатаційних показників при стандартних умовах

Враховання тільки експлуатаційних показників в процесі обрання холодильного агенту для застосування в конкретній холодильній установці не достатньо для кінцевого висновку. Як під час проектування, так і у випадках необхідності заміни холодильного агенту важливе значення мають тиски конденсації (P_k), випаровування ($P_{вип}$) та їх співвідношення. На рисунку 6 наведена гістограма, що ілюструє співвідношення згаданих тисків при стандартних умовах.

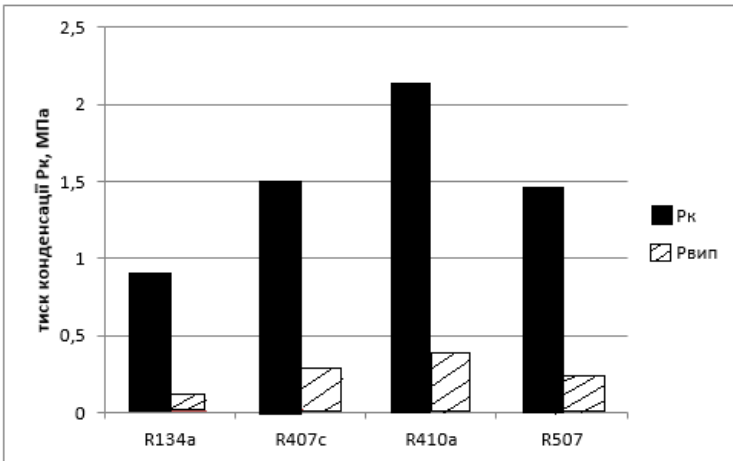


Рис. 6 – Порівняння тисків конденсації та випаровування

Виходячи з вищевикладеного можливо дійти до висновку, що при обранні холодильного агенту для застосування в конкретній холодильній установці при конкретних умовах доцільно враховувати як мінімум три групи факторів:

- вплив на земну атмосферу;
- енергетична ефективність холодильної установки;
- конструктивні вимоги до елементів холодильної установки.

В якості четвертого фактору бажано враховувати вартість експлуатації холодильного обладнання, в тому числі і ціну холодильного агенту, що обирається.

В нинішній час комплексний показник, який би дозволив прийняти рішення з урахуванням згаданих факторів не існує, хоча, можливо стверджувати, що його наявність значно спрощує формування завдань, як на етапі проектування, так і експлуатації, а також у випадку необхідності модернізації.

В якості показників, що визначають екологічність холодильних агентів доцільно запропонувати такі показники як GWP та ODP , значення яких відомі для майже всіх холодильних агентів та не пов'язані з енергетичною ефективністю та конструктивними чинниками.

Енергетична ефективність холодильної установки можливо оцінити за значенням холодильного коефіцієнту ϵ та витратою електричної потужності $N_{вод}$ (можливо застосування ефективної потужності N_e , що не буде здійснювати принципового впливу на одержані висновки).

Конструктивні особливості холодильного обладнання в цілому можливо оцінити за значеннями тисків випарювання $P_{вип}$ і конденсації P_k коефіцієнта подачі компресора λ .

При визначенні комплексного показника слід врахувати можливості випадків, коли $ODP=0$, а також достатньо великі значення GWP . У зв'язку з цим пропонується при розрахунку чисельного значення комплексного показника застосувати $ODP_p = ODP + 1$ та $GWP_p = GWP \cdot 10^{-3}$.

Таким чином, для визначення комплексного показника доцільності застосування холодильного агенту можливо запропонувати наступну залежність:

$$K = \frac{\varepsilon \cdot P_{\text{вин}} \cdot \lambda}{GWP_p \cdot ODP_p \cdot P_k \cdot N_e}$$

Результати розрахунку для обраних для порівняння холодильних агентів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Значення комплексного коефіцієнту при різних температурах випаровування

K	R134a	R407c	R410a	R507
-25	0,024	0,017	0,02	0,0097
-20	0,05	0,018	0,027	0,011
-15	0,049	0,023	0,033	0,012
-10	0,064	0,03	0,031	0,018
-5	0,1	0,03	0,027	0,02

Аналізуючи значення комплексного показника при зміні необхідної температури випаровування можливо зробити попередні висновки, що до доцільності використання того чи іншого холодильного агенту в залежності від технологічних вимог.

На перший погляд застосування *R 134a* буде найбільш бажаним за будь-яких технологічних умов, однак враховуючи високе значення потенціалу глобального потепління ($GWP=1300$) слід шукати йому заміну у вигляді холодильного агенту з меншими значеннями GWP .

Можливо в якості альтернативи слід розглядати *R 32* ($GWP=675$), *R 513a* ($GWP=631$), *R= 450a* ($GWP=605$) та *R 1234* ($GWP<1$), але у випадку модернізації діючої холодильної установки таке рішення може бути неприємним у зв'язку з високими значеннями тисків, так, наприклад, при температурі випаровування -25°C тиск у випарнику буде сягати 3,2 бара, а так конденсації – майже 19 барів для *R 32*. Що до холодильного агенту *R 1234*, то він підходить до використання за термодинамічними властивостями, але на сьогоднішній день його ціна майже в вісім разів вища ніж у *R 134 a*. Крім того необхідно врахувати відсутність накопиченого досвіду використання згаданих альтернативних холодильних агентів в середніх та крупних, за холодопродуктивністю, холодильних установках, які характерні для морських суден.

Можливо використання методу оцінки доцільності вибору холодильного агенту за допомогою комплексного показника для випадків порівняння будь-якої групи наявних холодильних агентів, більш того, за необхідності, можливо внести до запропонованої залежності додаткові показники, наприклад, питому холодопродуктивність та ціновий показник.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іщенко В.М., Брайковська Н.С., Щербіна Ю.В. Методичні підходи до ефективного використання альтернативних холодильних агентів в холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу. Збірник наукових праць ДУПТ: серія «Транспортні системи і технології», Вип. 33, Т.1, 2019. – С. 202-212.
2. Іщенко В.М., Щербіна Ю.В., Осьмак В.Є., Горлушко Ю.В. Взаємозамінність альтернативних холодоагентів в системах кондиціонування повітря пасажирських вагонів. Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, Вип. 2, 2021. –С. 96-100.
3. Галян І.С., Козьмініх М.А. Аналіз ефективності застосування сучасних холодильних агентів в транспортних холодильних установках. НТЗ Суднові енергетичні установки, Вип. 38, 2019. –С. 54-68.
4. Константинов І.В., Хмельнюк М.Г. Порівняння енергоефективності торгового холодильного обладнання працюючих на різних холодильних агентах. Збірник наукових праць за матеріалами XVIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології», 2020. –С. 136-140.