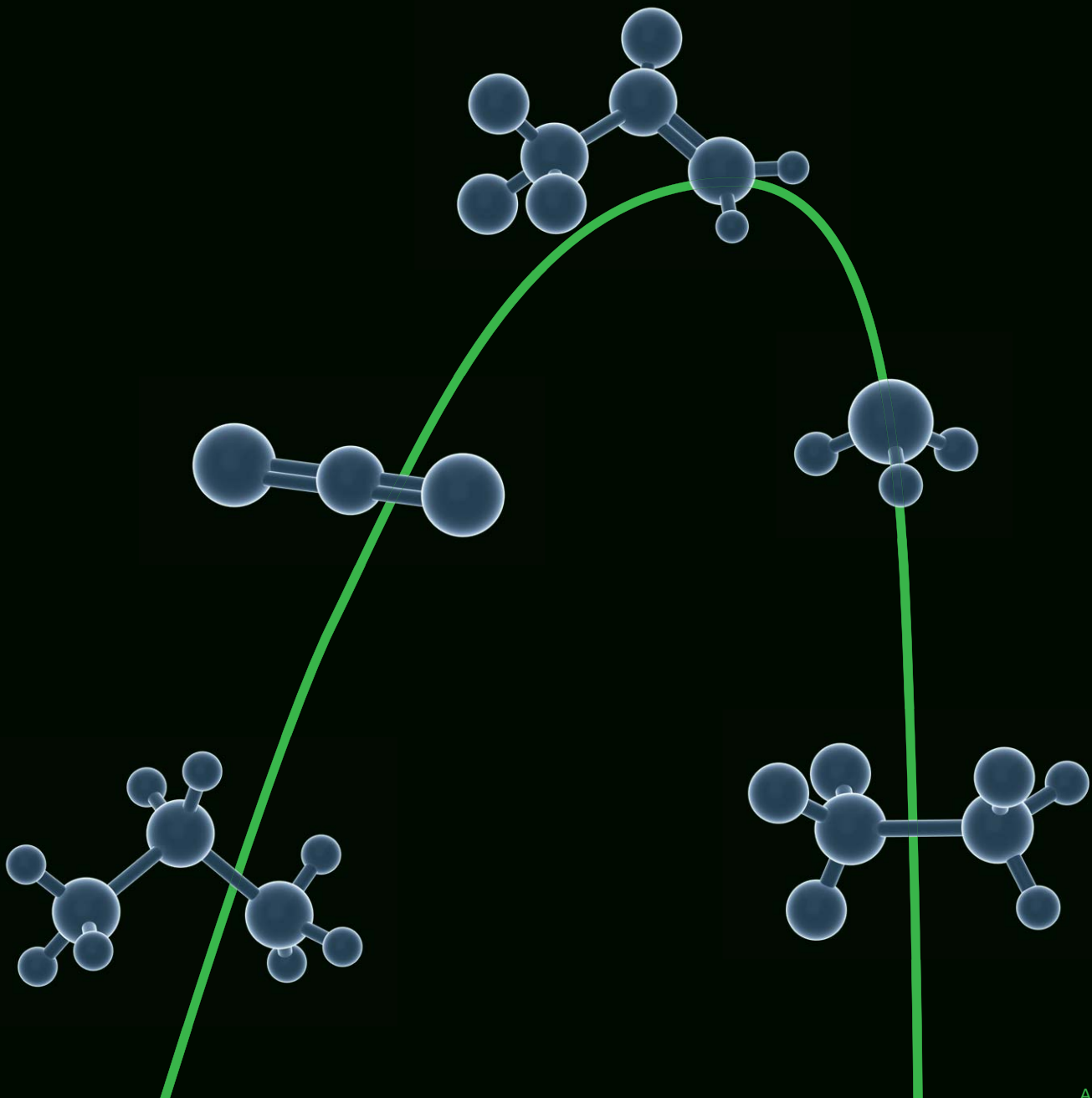




THE HEART OF FRESHNESS

CZYNNIKI CHŁODNICZE – RAPORT

Wydanie 18



Strona	Tematyka
	➤ Zweryfikowane i uzupełnione w stosunku do Wydania 17
3	Ogólne zagadnienia rozwoju czynników chłodniczych
3	Wstęp
4	➤ Alternatywne czynniki chłodnicze – przegląd
6	Względy ochrony środowiska
6	Globalne ocieplenie i wskaźnik TEWI
7	Efektywność ekologiczna
8	Czynniki chłodnicze HCFC
8	R22 jako przejściowy czynnik chłodniczy
9	Czynniki chłodnicze HFC i HFO
9	R134a jako zamiennik R12 i R22 ■ Oleje smarne do R134a i innych czynników HFC
11	Zamienniki czynnika R134a
11	Czynnik R152a alternatywą R134a(?)
11	➤ Czynniki o niskim wskaźniku GWP: HFO-1234yf i HFO-1234ze (E)
13	Mieszanki
15	Mieszanki serwisowe jako zamienniki R502
16	Mieszanki serwisowe jako zamienniki R12 (R500)
17	Bezchlorowe zamienniki R502 i R22 (mieszanki)
17	➤ R404A i R507 jako zamienniki R502 i R22
18	➤ Mieszanki R407A/R407B/R407F jako zamienniki R502 i R22
19	R422A jako zamiennik R502 i R22
20	Bezchlorowe zamienniki R22
20	R407C jako zamiennik R22
21	R410A jako zamiennik R22
22	R417A, R417B, R422D i R438A jako zamienniki R22
22	R427A jako zamiennik R22
23	➤ R32 jako zamiennik R22
24	➤ Mieszanki HFO/HFC jako zamienniki za HFC
27	Bezfluorowe czynniki chłodnicze
27	NH ₃ (amoniak) jako alternatywny czynnik chłodniczy
28	R723 (NH ₃ /DME) jako alternatywa wobec amoniaku
29	R290 (propan) jako zamiennik R502 i R22
31	Propylen (R1270) jako czynnik alternatywny wobec propanu
32	➤ Dwutlenek węgla R744 (CO ₂) jako alternatywny czynnik chłodniczy i nośnik ciepła
36	➤ Zastosowania specjalne
38	➤ Własności czynników chłodniczych
40	➤ Zakresy stosowania ■ Oleje smarne

Wstęp

Od początku lat 90-tych ubiegłego wieku w technice chłodniczej i klimatyzacyjnej nastąpił szereg drastycznych zmian. Ich przyczyną jest udział czynników chłodniczych emitowanych do atmosfery w niszczeniu ozonu stratosferycznego oraz powiększaniu efektu cieplarnianego.

Ma to szczególne znaczenie w przypadku handlowych instalacji chłodniczych i urządzeń klimatyzacyjnych, w szerokim zakresie ich stosowania. Dawniej typowymi czynnikami chłodniczymi, wykorzystywanymi w takich układach były substancje zubożające warstwę ozonową, a mianowicie R12, R22 i R502. Ponadto, w specyficznych zastosowaniach, można było spotkać R114, R12B1, R13B1, R13 i R503.

W krajach uprzemysłowionych wykorzystanie tych czynników nie jest już dozwolone, z wyjątkiem R22. Jednakże na obszarze Unii Europejskiej zrealizowano plan stopniowego wycofania z użycia i tego czynnika (patrz str. 8). Przyjęto tu krótszy harmonogram redukcji w porównaniu z ustaleniami umów ogólnosiwiatowych ze względu na zdolność R22 do niszczenia ozonu stratosferycznego mimo, że potencjał zubożania warstwy ozonowej tego czynnika jest stosunkowo mały. Począwszy od roku 2010 przepisy o wycofywaniu czynnika R22 z użycia weszły w życie także w innych krajach, np. w USA.

Sytuacja ta pociąga za sobą poważne konsekwencje dla całej branży chłodniczej i klimatyzacyjnej. Firma BITZER uznała za swój obowiązek przyjęcie wiodącej roli w dziedzinie projektowania i rozwoju układów chłodniczych bezpiecznych dla środowiska naturalnego.

Po tym, jak bezchłorowe czynniki chłodnicze z grupy HFC: R134a, R404A, R507A, R407C i R410A ugruntowały sobie pozycję w technice chłodniczej, klimatyzacyjnej i pomp ciepła, pojawiły się nowe wyzwania, w szczególności związane z pogłębianiem efektu cieplarnianego. Podjęto zatem przeciwdziałania zmierzające do osłabienia bezpośredniego wpływu tych czynników, poprzez radykalne ograniczenie ich wycieków do atmosfery, a także do zmniejszenia wpływu pośredniego, dzięki konstruowaniu zdecydowanie bardziej efektywnych energetycznie układów chłodniczych.

W tym zakresie obowiązują już odpowiednie przepisy, jak Rozporządzenie UE w sprawie F-gazów nr 517/2014 (patrz broszura firmy BITZER A-510) oraz szereg aktów prawnych uchwalonych, bądź przygotowywanych do wdrożenia zgodnie z Dyrektywą Ecodesign (Ekoprojekt). Podobne regulacje są opracowywane w Ameryce Północnej i innych regionach, a niektóre z nich nawet weszły już tam w życie.

Pomimo, że pośredni wpływ czynników chłodniczych HFC na pogłębianie efektu cieplarnianego jest zdecydowanie większy niż bezpośredni,

to właśnie substancje o wysokim wskaźniku powiększania efektu cieplarnianego (GWP) zostaną w przyszłości objęte ograniczeniami lub zakazem stosowania. Dotkną one w pierwszej kolejności R404A i R507A, dla których dostępne już są zamienniki o niższym wskaźniku GWP. Wypełnienie zapisów prawa będzie jednak wymagać znalezienia zamienników także dla pozostałych czynników chłodniczych oraz szerszego wykorzystania substancji naturalnych (NH₃, CO₂, węglowodorów).

Potrzeba zatem wszechstronnych badań nad tymi czynnikami oraz odpowiednimi dla nich olejami i układami chłodniczymi.

Z tego względu istnieje bliska współpraca z placówkami naukowymi, producentami czynników chłodniczych i środków smarnych, wytwórcami podzespołów instalacji chłodniczych oraz z wieloma innowacyjnymi firmami branży chłodniczej i klimatyzacyjnej.

Zrealizowano ogrom zadań badawczych, dzięki czemu dostępny jest już szeroki asortyment sprężarek dla alternatywnych czynników chłodniczych.

Poza prowadzeniem projektów rozwojowych, BITZER wspiera również rozwój legislacji i wewnętrznych regulacji odnoszących się do odpowiedzialnego stosowania czynników chłodniczych, jak również działa na rzecz zwiększenia efektywności układów i ich komponentów.

Niniejsze opracowanie pokazuje możliwości przejścia w krótkim i średnim terminie na technologie bardziej przyjazne dla środowiska naturalnego w średnich i dużych komercyjnych urządzeniach chłodniczych oraz w układach klimatyzacyjnych. Ponadto, wzięto pod uwagę dotychczasowe doświadczenia i ich konsekwencje dla technologii budowy instalacji chłodniczych.



Rezultaty wielu badań potwierdzają, że powszechnie stosowane w chłodnictwie komercyjnym urządzenia oparte na sprężaniu par czynnika, są daleko bardziej korzystne niż inne rodzaje obiegów chłodniczych. Wniosek ten potwierdza się w całym zakresie spotykanych tam temperatur, nawet do około -40°C.

Istotne znaczenie ma wszakże wybór czynnika chłodniczego i odpowiednie zaprojektowanie obiegu. Obok warunku zerowego potencjału niszczenia warstwy ozonowej (ODP=0), stawia się wymóg jak najmniejszej energochłonności układu, którego znaczenie wynika z dążenia do zmniejszenia pośredniego wpływu urządzeń chłodniczych na efekt cieplarniany. Natomiast wpływ bezpośredni wiąże się z potencjałem tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) samego czynnika roboczego w razie jego emisji do atmosfery.

Wobec tego opracowano metodę obliczeniową, pozwalającą na ocenę układu chłodniczego pod

katem całkowitego wpływu na efekt cieplarniany. W tym celu wprowadzono tak zwany wskaźnik TEWI (Total Equivalent Warming Impact) – całkowity równoważnik tworzenia efektu cieplarnianego. Stworzono także inną, jeszcze bardziej kompleksową metodę oceny wpływu czynników na środowisko, uwzględniającą aspekt tzw. efektywności ekologicznej (ang. „Eco-Efficiency”), która bierze pod uwagę zarówno wskaźnik ekologiczny TEWI, jak też ekonomiczne kryteria wyboru czynnika i obiegu chłodniczego (patrz także strona 7).

Możliwe jest zatem, że ekologiczna i ekonomiczna ocena czynnika będzie się różnić w zależności od miejsca zainstalowania urządzenia i rodzaju energii wykorzystywanej do jego napędu.

Bliższe spojrzenie na zamienniki czynników z grup CFC i HCFC, a także płynów HFC o wysokim wskaźniku GWP pokazuje, że możliwości znalezienia jednorodnej substancji będącej bezpośrednim substytutem są bardzo ograniczone. Przykładowo, w grę wchodzi R134a, który będzie można stosować przez nieco dłuższy czas, z uwagi na stosunkowo niewysoki wskaźnik GWP. Do dyspozycji są też olefiny wodorofluorowe (HFO) R1234yf oraz R1234ze(E), dla których wskaźnik GWP nie przekracza 10. Jednakże dotychczas obszar ich wykorzystania jest wąski, a doświadczenie nikome.

Bezpośrednie zamienniki typu HFC dla niemal wszystkich czynników o objętościowej wydajności chłodniczej i ciśnieniach wyższych niż dla R134a mają postać mieszanin. Jednak ze względu na własności termodynamiczne, palność, toksyczność i potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, ich lista jest krótka. Składnikami mieszanin o obniżonym wskaźniku GWP obok R134a, R1234yf i R1234ze(E) są przede wszystkim substancje R32, R125 oraz R152a.

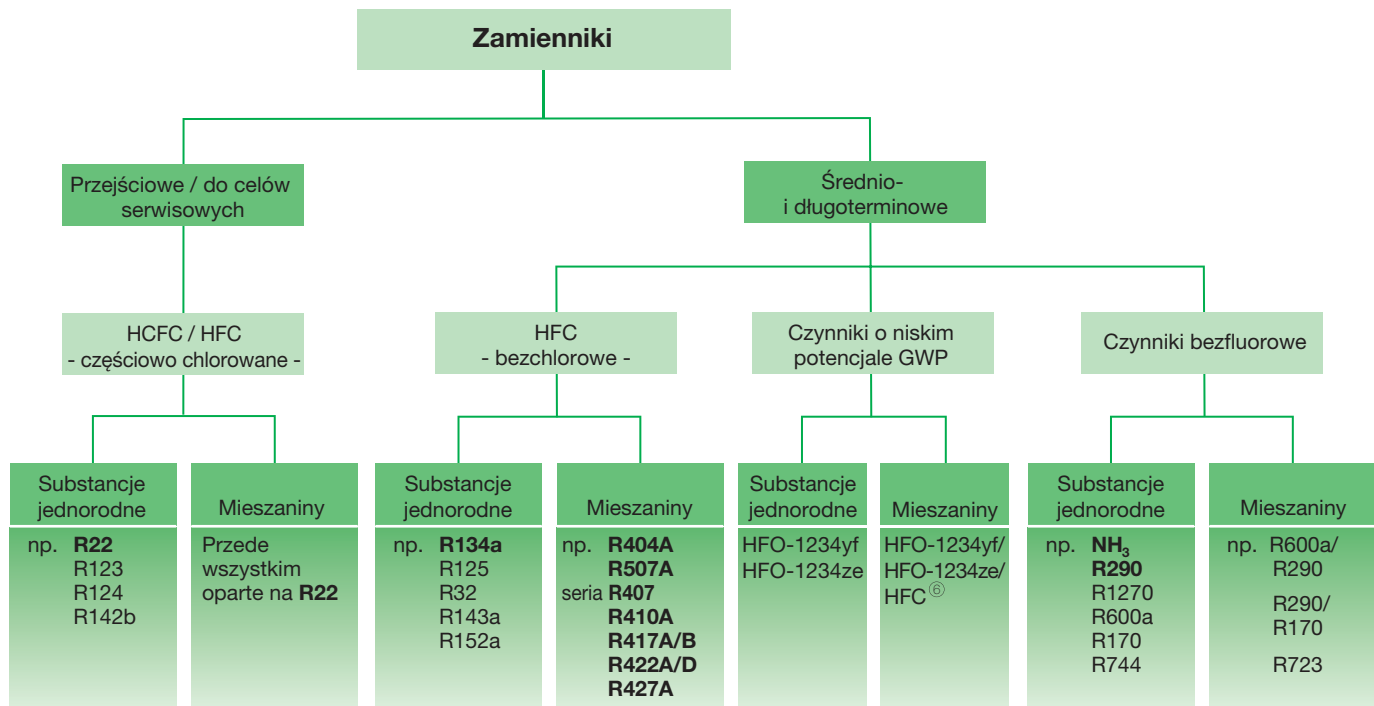
Poza substancjami z grupy HFC, do grona zamienników zalicza się również amoniak (NH₃) i niektóre węglowodory. Ich wykorzystanie w chłodnictwie handlowym ograniczają jednak restrykcyjne wymogi bezpieczeństwa.

Na znaczeniu zyskuje dwutlenek węgla (CO₂), zarówno jako czynnik chłodniczy, jak i medium pośrednie. Jednak i w tym przypadku, szersze stosowanie jest ograniczone jego szczególnymi właściwościami.

Ilustracje zamieszczone na kolejnych stronach stanowią schematyczne zestawienie dostępnych obecnie alternatywnych czynników chłodniczych, z podziałem na substancje jednorodne i mieszaniny. W dalszej części przedstawiono charakterystykę poszczególnych czynników.

Własności czynników chłodniczych, obszary zastosowania oraz przeznaczone dla nich oleje smarne zestawiono na stronach od 38 do 41.

Dla zachowania przejrzystości, niniejsze opracowanie nie obejmuje czynników mało znanych lub posiadających tylko lokalne znaczenie, co w niczym nie umniejsza ich wartości.



Wymienione czynniki serwisowe należą do grupy HCFC lub zawierają te substancje w swoim składzie. Zatem podlegają tym samym regulacjom prawnym co R22 (patrz strona 8). W wyniku ciągłej modernizacji starszych instalacji, znaczenie tych czynników chłodniczych w sposób wyraźny spada. Zakończono już produkcję niektórych z nich. Jednak uwzględniając historię rozwoju mieszanin, czynniki te zostały ujęte w niniejszym raporcie.

Rys. 1. Ogólna klasyfikacja czynników chłodniczych

Czynniki chłodnicze z grupy HFC

09.14

Czynnik zastępowany	Zamienniki				
	Numer wg ASHRAE	Nazwa handlowa	Producent	Skład mieszaniny	Informacje szczegółowe
R12 (R500)	R134a R152a ^① R437A ^④	- ISCEON MO49 Plus	DuPont	R125/134a/600/601	strony 9...11, 16, 38...41
R502/R22	R404A R507A R422A	różne różne ISCEON MO79	DuPont	R143a/R125/R134a R143a/125 R125/134a/600a	strony 17...19, 38...41
R22	R407A R407C R407F R410A R417A R417B R422D R427A R438A	różne Performax LT różne ISCEON MO59 Sol Kane 22L ISCEON MO29 Forane 427A ISCEON MO99	Mexichem, Arkema Honeywell DuPont Solvay DuPont Arkema DuPont	R32/125/134a R32/125/134a R32/125/134a R32/125 R125/134a/600 R125/134a/600 R125/134a/600a R32/125/143a/ 134a R32/125/134a/600/601a	strony 18...23, 38...41
R114 R12B1	R236fa R227ea	- -	-	-	strony 36, 38...41
R13B1	R410A -	różne ISCEON MO89	DuPont	R32/125 R125/218/290	strony 37, 38...41
R13 R503	R23 R508A R508B	- KLEA 508A Suva 95	Mexichem DuPont	- R23/116 R23/116	strony 37, 38...41

Rys. 2. Zamienniki czynników CFC i HCFC (bechlorowe substancje HFC)

Czynniki z grupy HFO oraz mieszaniny HFO/HFC

Czynnik zastępowany	Zamienniki				
	Numer wg ASHRAE	Nazwa handlowa	Producent	Skład mieszaniny	Informacje szczegółowe
R134a	R1234yf ^①	różne	-	-	strony 24...26, 38...41
	R1234ze(E) ^①	różne	-	-	
	R513A	Opteon [®] XP10	DuPont	R1234yf/134a	
	R450A	Solstice N-13	Honeywell	R1234ze(E)/134a	
	-	ARM-42 ^①	Arkema	R1234yf/152a/134a	
	-	AC5X	Mexichem	R32/1234ze(E)/134a	
R404A/R507A*	R449A	Opteon [®] XP40	DuPont	R32/125/1234yf/134a	strony 24...26, 38...41
	R448A	Solstice N-40	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	
	-	ARM-32b	Arkema	nie ujawniono	
	-	LTR4X	Mexichem	R32/125/1234ze(E)/134a	
R22/R407C*	-	DR-91	DuPont	nie ujawniono	strony 24...26
	-	Solstice N-20	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	
	-	ARM-32c	Arkema	nie ujawniono	
R410A	R32 ^①	różne	-	-	strony 24...26
	-	Opteon [®] XL41 ^①	DuPont	R32/1234yf	
	R447A ^①	Solstice L-41 ^①	Honeywell	R32/125/1234ze(E)	
	-	ARM-71a ^①	Arkema	nie ujawniono	
	-	HPR1D ^①	Mexichem	R32/1234ze(E)/CO ₂	

* Z powodu dużej liczby potencjalnych kombinacji substancji HFO i HFC oraz możliwych zmian w składzie opracowywanych mieszanin, powyżej zamieszczono tylko te zamienniki R404A i R507A oraz R22 i R407C, które nie są palne i posiadają wskaźnik GWP poniżej 1500. Mieszaniny HFO/HFC opisano szerzej na stronach od 24 do 26. Uwzględniono też dalsze możliwości.

Rys. 3. Czynniki chłodnicze o niskim wskaźniku GWP

Bezfluorowe czynniki chłodnicze

09.14

Czynnik zastępowany	Zamienniki			
	Numer wg ASHRAE	Nazwa handlowa	Wzór chemiczny	Informacje szczegółowe
R134a	R290/600a ^①	-	C ₃ H ₈ /C ₄ H ₁₀	strony 29, 38...41
	R600a ^{①③}	-	C ₄ H ₁₀	
R404A R507A R22	R717 ^{①②}	-	NH ₃	strony 27...31, 38...41
	R723 ^{①②⑤}	-	NH ₃ + R-E170	
	R290 ^①	-	C ₃ H ₈	
	R1270 ^①	-	C ₃ H ₆	
R124	R600a ^①	-	C ₄ H ₁₀	strony 36, 38...41
R410A M089	Brak bezpośrednich zamienników			
R23	R170 ^①	-	C ₂ H ₆	strony 37, 38...41
Różne czynniki	R744 ^③	-	-	strony 32...35, 38...41

Rys. 4. Zamienniki czynników HCFC i HFC (substancje bezfluorowe)

Objaśnienia do rys. 2 do 4

① Palne

② Toksyczne

③ Wydajność chłodnicza i ciśnienia robocze znacznie różnią się w stosunku do czynnika zastępowanego

④ Czynnik do celów serwisowych o zerowym wskaźniku ODP

⑤ Mieszanina azeotropowa

Globalne ocieplenie i wskaźnik TEWI

Jak wspomniano we wstępie, istnieje metoda obliczeniowa pozwalająca ocenić wpływ poszczególnych instalacji chłodniczych na globalne ocieplenie. Jest to wskaźnik TEWI (Total Equivalent Warming Impact), całkowity równoważnik tworzenia efektu cieplarnianego.

Wszystkie fluorowane czynniki chłodnicze, włącznie z bezchlorowymi czynnikami z grupy HFC, należą do kategorii gazów cieplarnianych. Ich emisja do atmosfery przyczynia się do globalnego ocieplenia. Wpływ tych substancji jest zdecydowanie silniejszy niż CO₂, który jest najpowszechniejszym gazem cieplarnianym w ziemskiej atmosferze (obok pary wodnej). Przykładowo, biorąc pod uwagę horyzont czasowy 100 lat, emisja 1 kg R134a jest równoważna emisji 1430 kg CO₂ (GWP₁₀₀ = 1430). Ograniczenie wycieków czynników do atmosfery jest zatem jednym z głównych zadań stojących przed techniką chłodniczą.

Z drugiej strony, instalacje chłodnicze przyczyniają się do powstawania efektu cieplarnianego przede wszystkim w sposób pośredni, poprzez emisję CO₂ związaną z produkcją energii używanej do ich napędu. Ponieważ energię tę wytwarza się najczęściej w elektrowniach opalanych paliwami kopalnymi, na każdą kilowatogodzinę energii elektrycznej przypada w Europie średnio około 0,6 kg CO₂ emitowanego do atmosfery. Zatem zużycie energii napędowej w całym okresie eksploatacji urządzenia ma znaczny wpływ na efekt cieplarniany.

Dlatego należy nie tylko dążyć do stosowania czynników roboczych o wysokiej efektywności termodynamicznej, ale również kłaść silny nacisk na korzystanie ze **sprężarek o wysokiej sprawności** i podzespołów instalacji chłodniczych o zoptymalizowanej konstrukcji.

Porównując sprężarki chłodnicze o odmiennych rozwiązaniach technicznych można stwierdzić, że różnice w pośredniej emisji CO₂ z tytułu ich energochłonności mogą mieć większe znaczenie, niż wycieki czynnika chłodniczego.

Na rys. 5 przedstawiono wzór do obliczenia wskaźnika TEWI, wraz z zaznaczeniem składników odpowiedzialnych za bezpośredni i pośredni wpływ na efekt cieplarniany.

Dodatkowo na rys. 6. porównano wartości wskaźnika TEWI dla średnotemperaturowego urządzenia chłodniczego napełnionego czynnikiem R134a, w zależności od ilości czynnika w instalacji, wielkości wycieków i zużycia energii napędowej.

Dla uproszczenia przyjęto, że wielkość wycieków pozostaje w stałym stosunku do napełnienia instalacji. Oczywiście w praktyce wycieki czynnika chłodniczego są różne dla różnych urządzeń, a ich ryzyko jest szczególnie wysokie w przypadku rozległych instalacji chłodniczych.

Podjęto duży, ogólnosięwiatowy wysiłek w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i wprowadzono już pewne uregulowania prawne. Od 2007 roku na obszarze Unii Europejskiej obowiązuje Rozporządzenie w sprawie niektórych fluorowanych gazów cieplarnianych, które stawia surowe wymagania wobec techniki chłodniczej i klimatyzacyjnej. Od stycznia 2015 obowiązuje znowelizowana postać tych przepisów, ujęta w Rozporządzeniu 517/2014.

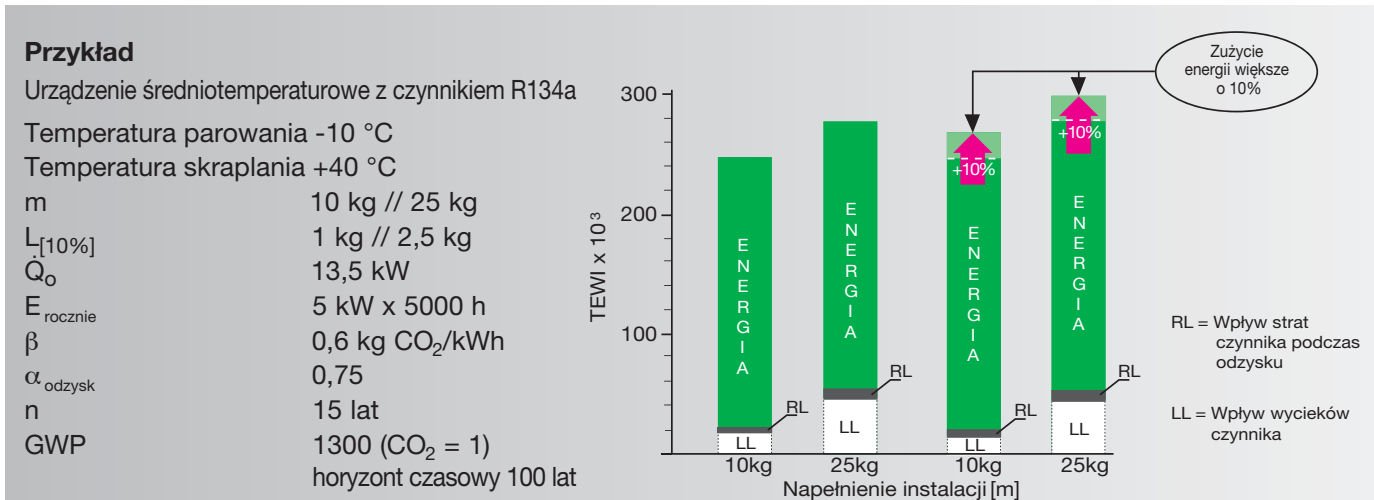
TEWI = TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - \alpha_{\text{odzysk}}]) + (n \times E_{\text{roczne}} \times \beta)$$

← Wycieki → ← Straty podczas odzysku → ← Zużycie energii →
 ← bezpośredni wpływ na efekt cieplarniany → ← pośredni wpływ na efekt cieplarniany →

GWP	=	Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego [względem CO ₂]
L	=	Roczne wycieki czynnika [kg]
n	=	Okres eksploatacji urządzenia [lat]
m	=	Napełnienie instalacji [kg]
α _{odzysk}	=	Stożek odzysku czynnika chłodniczego
E _{roczne}	=	Roczne zużycie energii [kWh]
β	=	Emisja CO ₂ podczas produkcji energii [kg/kWh]

Rys. 5. Metodyka obliczania wskaźnika TEWI



Rys. 6. Porównanie wartości wskaźnika TEWI w zależności od napełnienia instalacji i zużycia energii napędowej

Efektywność ekologiczna

Ocena instalacji chłodniczej, klimatyzacyjnej lub pompy ciepła oparta na wyliczeniu wskaźnika TEWI, bierze pod uwagę wpływ urządzenia na efekt cieplarniany w całym okresie jego eksploatacji. Nie uwzględnia jednak wszystkich aspektów ekologicznych i ekonomicznych.

A przecież, obok uwarunkowań ochrony środowiska, to właśnie względy ekonomiczne odgrywają decydującą rolę podczas wyboru technologii i podejmowania decyzji inwestycyjnych. W przypadku urządzeń technicznych, ograniczenie szkodliwego wpływu na środowisko naturalne oznacza zazwyczaj wzrost kosztów, a tanie rozwiązania często nie są przyjazne otoczeniu. Dla większości przedsiębiorstw najważniejsze są koszty inwestycyjne, podczas gdy często tracą one na znaczeniu w dyskusji o ochronie środowiska.

W celu dokonania pełniejszej analizy, w 2005 roku zaprezentowano opracowanie*, które na przykładzie instalacji chłodniczej supermarketu opisuje pojęcie **efektywności ekologicznej**. Opiera się ono na relacji pomiędzy wartością dodaną (ekonomiczną wartością produktu), a wpływem na środowisko naturalne.

Ocena ta obejmuje cały cykl życia instalacji, z uwzględnieniem:

- ❑ skutków ekologicznych, zgodnie z koncepcją oceny cyklu życia („Life Cycle Assessment”) zawartą w normie ISO 14040;
- ❑ skutki ekonomiczne, wynikające z analizy kosztów w całym cyklu życia („Life Cycle Cost Analysis”).

Wzięto zatem pod uwagę całkowity wpływ na środowisko naturalne (w tym oddziaływanie bezpośrednie i pośrednie), jak też koszty inwestycyjne, eksploatacyjne i wycofania urządzenia oraz koszty kapitału.

Wspomniane opracowanie pokazało, że efektywność ekologiczną można podwyższyć dzięki zainwestowaniu w zoptymalizowane wyposażenie chłodnicze (minimalizujące koszty eksploatacji). Wybór czynnika chłodniczego i związanych z jego własnościami rozwiązań technicznych odgrywa tu ważną rolę.

Koncepcję efektywności ekologicznej można przedstawić graficznie (patrz rys. 8). Oś pozioma reprezentuje ekologiczne walory urządzenia, a pionowa jego efektywność ekonomiczną. W tym układzie współrzędnych efektywność ekologiczna instalacji jest tym większa,

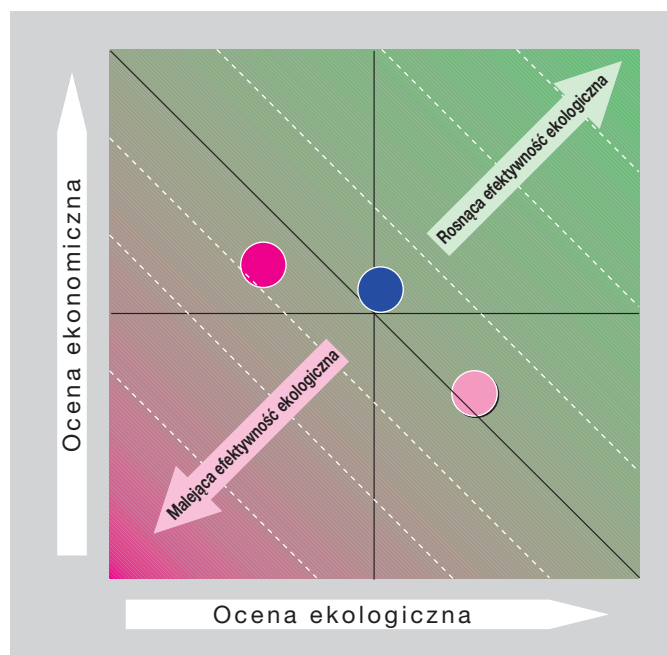
im bliżej prawego górnego narożnika diagramu wypada wynik analizy. I odwrotnie – im niżej i bardziej na lewo, tym efektywność ekologiczna jest niższa.

Ukośne linie na wykresie grupują punkty o tej samej efektywności ekologicznej. To znaczy, że układy o zróżnicowanym koszcie cyklu życia i różnym wpływie na środowisko naturalne mogą się charakteryzować taką samą efektywnością ekologiczną.

* Jest to materiał sporządzony przez firmy Solvay Management Support GmbH i Solvay Fluor GmbH oraz Centrum Informacji o Pompach Ciepła i Chłodnictwie (IZW) z Hanoweru. Prace wspierała grupa ekspertów z przemysłu chłodniczego.



Rys. 7. Idea efektywności ekologicznej



Rys. 8. Przykładowa analiza efektywności ekologicznej

R22 jako przejściowy czynnik chłodniczy

O ile bezchlorowe czynniki R134a i R404A / R507A (rys. 1 i 3) znalazły powszechne zastosowanie jako zamienniki, to w wielu krajach R22 wciąż jest wykorzystywany do napełniania nowych instalacji lub serwisowania i przezbrajania starych.

Przyczyną tego stanu rzeczy jest stosunkowo niski koszt inwestycyjny, szczególnie w porównaniu do układów z R134a, jak również szeroki zakres zastosowań czynnika R22, korzystne własności termodynamiczne oraz niska energochłonność napełnionych nim urządzeń. Ponadto R22 i przeznaczone do niego elementy instalacji chłodniczych są powszechnie dostępne, co nie zawsze ma miejsce w odniesieniu do bezchlorowych zamienników.

Pomimo generalnie korzystnych własności czynnika R22, podlega on obecnie licznym regulacjom prawnym*, które ograniczają jego zastosowanie w nowych instalacjach chłodniczych, często dopuszczając wykorzystanie tego czynnika jedynie do serwisu istniejących układów. Restrykcje te wynikają z faktu, że czynnik R22 nie jest bezpieczny dla ozonu stratosferycznego – chociaż jego potencjał zubażania warstwy ozonowej jest niski.

Mając na uwadze konstrukcję układów chłodniczych i ich poszczególnych elementów należy

pamiętać jeszcze o innych problemach. Wydajność chłodnicza i ciśnienie robocze R22 są około 55% wyższe w porównaniu z R12**. Istotnym parametrem jest także temperatura tłoczenia – znacznie wyższa od R12 (rys. 9) i R502**.

Podobne różnice w wydajności chłodniczej odnoszą się do czynników z grupy HFC, jak R134a i R404A / R507A (str. 9 i 17).

Wymagania techniczne

Szczególnie kłopotliwe – z uwagi na wysoką temperaturę tłoczenia – jest wykorzystanie R22 w niskotemperaturowych urządzeniach chłodniczych, szczególnie w związku ze stabilnością termiczną oleju smarowego i samego czynnika oraz groźbą powstawania kwasów i platerowania miedzią elementów instalacji. Aby zapobiec tym niebezpieczeństwom, stosuje się specjalne rozwiązania układów chłodniczych, jak dwustopniowe sprężanie, wtrysk czynnika do przewodu ssawnego lub do sprężarki, dodatkowe chłodzenie, kontrolę temperatury tłoczenia, ograniczanie przegrzania na ssaniu i szczególnie staranny montaż instalacji.

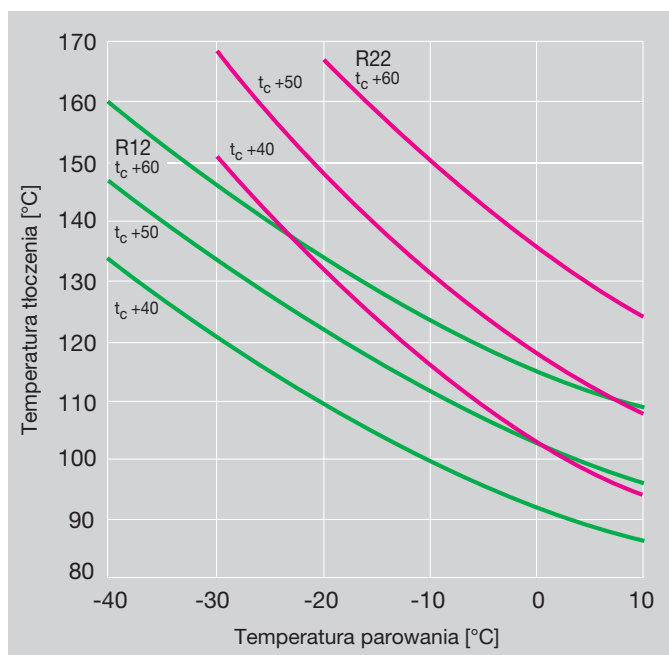
Firma BITZER może dostarczyć do pracy z czynnikiem R22 szeroką gamę sprężarek tłokowych, śrubowych i spiralnych.

* Stosowanie czynnika R22 w nowych urządzeniach zostało zabronione w Niemczech i w Danii z początkiem roku 2000, a w Szwecji już w 1998 roku. Od 1 stycznia 2001 restrykcje te obowiązują

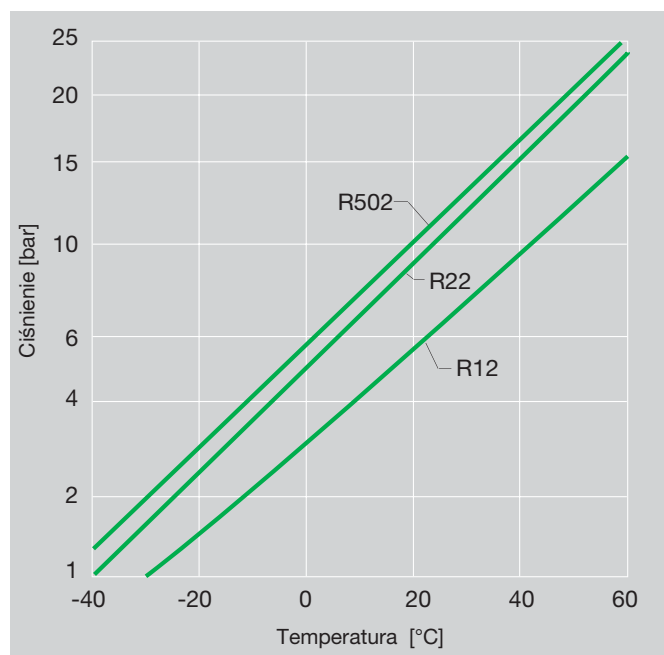
w pozostałych krajach Unii Europejskiej. Stosowne przepisy zawarto w unijnym Rozporządzeniu nr 1005/2009 w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową. Ten akt prawny reguluje także wykorzystanie czynnika R22 do celów serwisowych na terenie całej Wspólnoty.

Od 2010 roku przepisy o wycofywaniu z użycia czynnika R22 obowiązują w innych krajach, również w USA.

** Czynnik już wycofany w większości państw.



Rys. 9. Porównanie temperatury tłoczenia sprężarki półhermetycznej dla czynników R12 i R22, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)



Rys. 10. Porównanie ciśnienia nasycenia czynników R12, R22 i R502, w zależności od temperatury

R134a jako zamiennik R12 i R22

R134a był pierwszym wszechstronnie przetestowanym, bezchlorowym czynnikiem chłodniczym o zerowym potencjale niszczenia warstwy ozonowej (ODP=0). Obecnie spotyka się go w wielu urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych na całym świecie. Używany jest zarówno jako czynnik jednorodny, a także jako składnik różnorodnych mieszanin (rozdz. „Wieloskładnikowe czynniki chłodnicze” str.13).

Własności termodynamiczne R134a są zbliżone do R12:

Wydajność chłodnicza, zapotrzebowanie na moc napędową oraz poziomy temperatury i ciśnień roboczych są porównywalne, przynajmniej w średniotemperaturowych układach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Dlatego R134a może stanowić alternatywę R12 w większości zastosowań.

W niektórych przypadkach **R134a wykorzystuje się nawet jako zamiennik R22**, co wynika głównie z zakazu stosowania R22 w nowych instalacjach i do serwisowania. Niższa jednostkowa objętościowa wydajność chłodnicza R134a (rys. 11/2) wymusza jednak instalowanie sprężarek o większej niż dla R22 wydajności skokowej. Należy także pamiętać o ograniczeniach co do używania R134a w instalacjach o niskiej temperaturze parowania.

Wyniki wszechstronnych badań świadczą, że jakość pracy czynnika R134a przewyższa przewidywania teoretyczne w szerokim zakresie warunków roboczych sprężarki. Temperatura tłoczenia i temperatura oleju są nawet niższe niż dla R12, a tym samym znacznie niższe niż w przypadku R22. R134a nadaje się zatem potencjalnie do wielu urządzeń klimatyzacyjnych i średniotemperaturowych układów chłodniczych, jak również do pomp ciepła. Z ekonomicznego punktu widzenia korzystne są wysokie współczynniki przejmowania ciepła w parowniku i w skraplaczu – lepsze niż w przypadku mieszanin zeotropowych.

Czynnik R134a odznacza się stosunkowo niewysokim wskaźnikiem GWP (1430). Zatem z punktu widzenia legislacji F-gazowej jego stosowanie w pewnych rodzajach układów chłodniczych będzie dopuszczalne jeszcze przez dłuższy czas.

Oleje smarne do R134 i innych czynników HFC

Tradycyjne mineralne i syntetyczne oleje chłodnicze nie mieszają się (nie rozpuszczają) z R134a i innymi czynnikami HFC opisanymi dalej, co utrudnia ich powrót z instalacji do sprężarki. Nie mieszający się z czynnikiem olej chłodniczy może zalegać w wymiennikach, pogarszając warunki wymiany ciepła nawet w stopniu uniemożliwiającym pracę instalacji. Opracowano zatem nowe środki smarne, charakteryzujące się wystarczającą rozpuszczalnością z czynnikami HFC i poddano je długotrwałym testom. Są to oleje poliestrowe (POE) i poliglikolowe (PAG), które znajdują się w użyciu już od wielu lat.

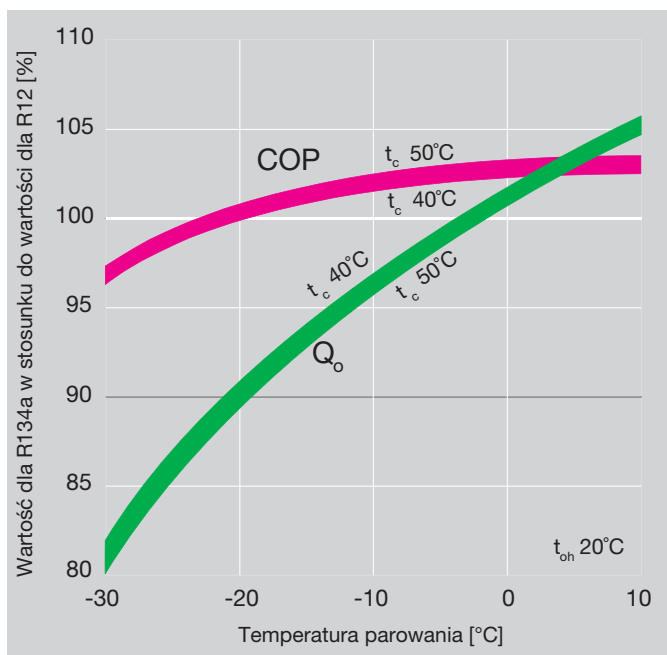
Ich własności smarne są zbliżone do olejów tradycyjnych, natomiast są one mniej lub bardziej higroskopijne, zależnie od ilości rozpuszczonego w nich czynnika chłodniczego. Duża zdolność do pochłaniania wilgoci wymaga szczególnych zabiegów podczas produkcji oleju (włącznie z dehydratacją), w czasie jego transportu i składowania oraz przy napełnianiu instalacji olejem. Ma to na celu uniknięcie szkodliwych reakcji chemicznych w układzie chłodniczym, jak na przykład hydrolizy.

Szczególnie wysoką higroskopijnością charakteryzują się oleje typu PAG. Co więcej, mają one stosunkowo niską wytrzymałość dielektryczną, przez co niezbyt nadają się do sprężarek półhermetycznych i hermetycznych.

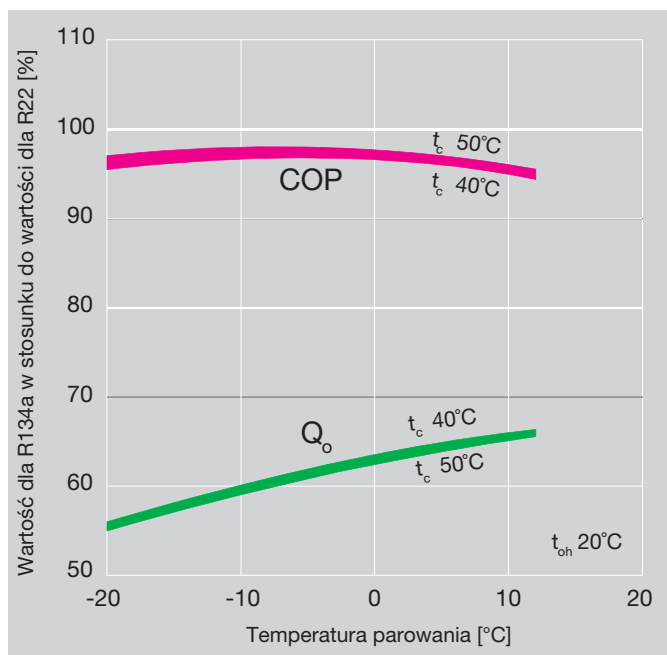
Z uwagi na ostre wymagania co do własności smarnych i rozpuszczalności z czynnikiem, znajdują one zastosowanie głównie w układach klimatyzacji samochodowej ze sprężarkami otwartymi.

Wymóg rozpuszczalności ma istotne znaczenie, gdyż w takich instalacjach krąży stosunkowo duża ilość oleju wydostającego się wraz z czynnikiem ze sprężarki. Aby wyeliminować niebezpieczeństwo platerowania elementów instalacji miedzią, w układach tych nie stosuje się materiałów konstrukcyjnych zawierających ten metal.

W pozostałych rodzajach instalacji chłodniczych preferuje się korzystanie z **olejów poliestrowych**. Zebrano już bogate doświadczenie z ich eksploatacji, a wnioski generalnie są pozytywne, o ile zawartość wilgoci w oleju nie przekracza 100 ppm.



Rys. 11/1. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) dla czynników R134a i R12 pracujących w układzie ze sprężarką półhermetyczną, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)



Rys. 11/2. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) dla czynników R134a i R22 pracujących w układzie ze sprężarką półhermetyczną, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)

Fabrycznie montowane urządzenia chłodnicze i klimatyzacyjne są coraz częściej napełniane olejem sporządzonym na bazie **eteru poliwinylowego (PVE)**. Chociaż są one jeszcze bardziej higroskopijne niż oleje poliestrowe, to wykazują większą odporność na hydrolizę, większą stabilność termiczną i chemiczną, mają dobre własności smarne i wysoką wytrzymałość dielektryczną. W przeciwieństwie do olejów typu POE nie mają tendencji do zmydlania, dzięki czemu spada groźba zatykania rurki kapilarnej.

Wymogi projektowe i konstrukcyjne

Do pracy z R134a i odpowiadającym mu środkiem smarnym, konieczne są odpowiednie sprężarki oraz dostosowane do tego podzespoły instalacji chłodniczej. Swoją przydatność zachowują metalowe materiały konstrukcyjne wykorzystywane tradycyjnie w układach z czynnikami grupy CFC. Nie dotyczy to natomiast niektórych elastomerów. Szczególnej uwagi wymagają przewody elastyczne, od których wymaga się jak najmniejszej zawartości wilgoci rezydualnej i niskiej przepuszczalności czynników chłodniczych.

Po montażu układy chłodnicze muszą być szczególnie starannie odwodnione, a napełnianie lub wymianę oleju należy prowadzić tak, aby w jak najmniejszym stopniu pochłaniał on wilgoć z powietrza. Dodatkowo należy używać odpowiednio wydajnych odwadniaczy, dostosowanych do mniejszych wymiarów części R134a.

W ciągu wielu lat eksploatacji czynnika R134a i olejów poliestrowych zgromadzono wiele pozytywnych doświadczeń. Firma BITZER oferuje w tym zakresie bardzo szeroki asortyment sprężarek tłokowych, śrubowych i spiralnych.

Przezbieranie istniejących układów z R12

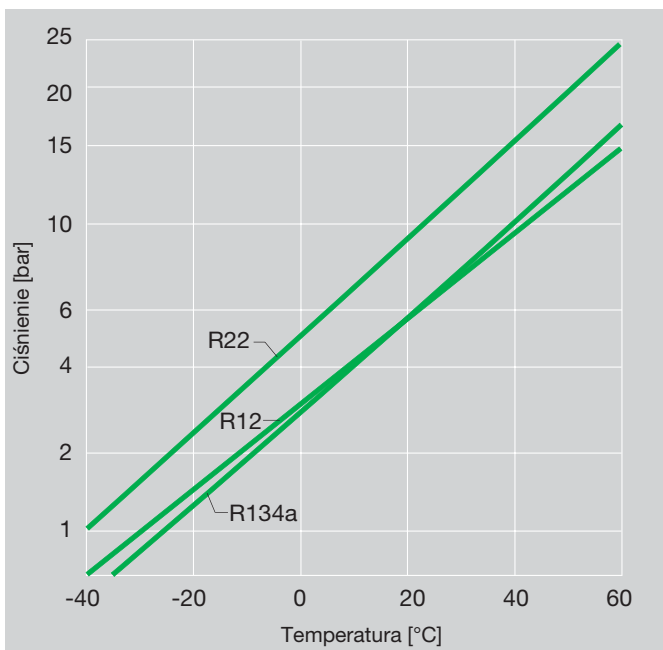
Początkowo w dyskusjach o przezbieraniu („retrofitcie”) instalacji pracujących z R12 padało wiele kontrowersyjnych opinii, proponowano i stosowano wiele różnych metod prowadzenia tej operacji. Obecnie panuje ogólna zgodność poglądów co do najbardziej efektywnych technicznie i ekonomicznie rozwiązań. Własności olejów estrowych okazały się tu bardzo pomocne. W pewnych warunkach mogą one współpracować z czynnikami grupy CFC, mogą być mieszane z olejami mineralnymi oraz tolerują pozostałość do kilkuset ppm chloru w układach przezbieranych na R134a.

Jednakże obecność wilgoci w układzie wywiera silny, negatywny wpływ. Dlatego kluczowym wymogiem jest dokładne próżniowanie instalacji przed przebrojeniem (usunięcie pozostałości chloru i wilgoci) oraz zainstalowanie dużych odwadniaczy. Niewątpliwie groźna sytuacja ma miejsce w przypadku urządzeń, w których stabilność chemiczna była zachwiana już wtedy, gdy pracowały one z czynnikiem R12 – np. układów źle konserwowanych, z odwadniaczami o małej wydajności, bądź silnie obciążonych termicznie. Należy się liczyć z zaleganiem w nich produktów rozkładu oleju, zawierających

chlor. Osady te zostaną wyplukane przez silnie spolaryzowaną mieszaninę R134a i oleju poliestrowego, a następnie uniesione do sprężarki i elementów automatyki. Dlatego dopuszczalne jest jedynie przezbieranie instalacji utrzymanych w dobrym stanie.

Ograniczenia stosowania R134a w układach klimatyzacji samochodowej

Unijna dyrektywa dotycząca emisji z układów klimatyzacji w pojazdach silnikowych (Dyrektywa 2006/40/WE z dnia 17 maja 2006; tekst polski znajduje się w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej L 161/12 z 14.06.2006 – dopisek tłum.) ustanawia przyszły zakaz wykorzystania czynnika R134a w nowych instalacjach tego rodzaju. Obecnie trwają prace rozwojowe nad kilkoma nowymi, alternatywnymi rozwiązaniami. Niektóre dotyczące tego informacje znajdują się na stronach 11, 12 i 33.



Rys. 12. Porównanie ciśnienia nasycenia czynników R134a, R12 i R22, w zależności od temperatury

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania czynnika R134a

(patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KP-104 „Sprężarki tłokowe, półhermetyczne seria ECOLINE”
- Informacja techniczna KT-620 „Czynnik HFC R134a”
- Informacja techniczna KT-510 „Oleje poliestrowe dla sprężarek tłokowych”
- Materiał specjalny „Nowa generacja kompaktowych sprężarek śrubowych zoptymalizowanych dla R134a”

Zamienniki R134a

W samochodowych instalacjach klimatyzacyjnych wyposażonych w sprężarki otwarte i elastyczne przewody, ryzyko wycieku czynnika chłodniczego jest zdecydowanie wyższe niż w urządzeniach stacjonarnych. W celu ograniczenia bezpośredniego wpływu tej emisji na środowisko naturalne, uchwalono Dyrektywę Unii Europejskiej nr 2006/40/WE. Zgodnie z jej postanowieniami, od początku 2011 roku uzyskanie homologacji na nowe samochody jest możliwe jedynie wówczas, gdy stosowany w instalacji klimatyzacyjnej czynnik chłodniczy ma potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) niższy niż 150. W konsekwencji wyklucza to możliwość dalszego wykorzystywania R134a (GWP = 1430) w tego rodzaju układach.

W międzyczasie zostały opracowane i przetestowane alternatywne czynniki oraz nowe technologie. Baczniejszą uwagę zwrócono na własności czynnika R152a.

Jakiś czas temu przemysł motoryzacyjny zaakceptował czynniki o niskim wskaźniku GWP („Low GWP refrigerants”). Zostaną one omówione w dalszej części.

Technologia CO₂, preferowana od dawna do tego typu zastosowań, z różnych powodów nie została jeszcze wprowadzona (patrz strony 12 i 35).

Czynnik R152a alternatywą R134a (?)

R152a jest bardzo podobny do R134a pod względem jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej (ok. -5%), ciśnienia roboczego (ok. -10%) i efektywności energetycznej. Z punktu widzenia masowego natężenia przepływu, gęstości pary i co za tym idzie, spadków ciśnienia w przepływie, jest on nawet korzystniejszy (ok. -40%).

R152a od wielu lat znajduje zastosowanie jako składnik niektórych mieszanin, natomiast nie wykorzystuje się go dotychczas jako jednorodnego czynnika chłodniczego. Szczególną jego zaletą jest bardzo niski potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP = 124).

Jednak z powodu małej zawartości fluoru R152a jest palny. Pod względem bezpieczeństwa zaklasyfikowano go do grupy A2. W efekcie, zastrzeżone względy bezpieczeństwa wymagają stosowania odpowiednich rozwiązań technicznych oraz każdorazowej analizy ryzyka związanego z wykorzystaniem czynnika R152a.

Dlatego mało prawdopodobne jest stosowanie R152a w układach klimatyzacji samochodowej.

Czynniki o niskim wskaźniku GWP: HFO-1234yf i HFO-1234ze(E)

Zakaz stosowania R134a w układach klimatyzacji nowych samochodów eksploatowanych na obszarze Unii Europejskiej dał impuls do podjęcia szeregu projektów badawczych. Oprócz technologii opartej o CO₂ (str. 35), trwają prace nad nowymi czynnikami chłodniczymi o bardzo niskim wskaźniku GWP oraz własnościach termodynamicznych zbliżonych do R134a.

Na początku 2006 roku przedstawiono dwa nowe wieloskładnikowe czynniki chłodnicze, o roboczych nazwach „Blend H” (producent – Honeywell) i „DP-1” (DuPont). Wkrótce potem firma INEOS Fluor zaproponowała kolejny płyn, noszący oznaczenie „AC-1”. Wspólną cechą tych mieszanin było wykorzystanie różnych fluorowanych cząsteczek.

W toku badań rozwojowych okazało się, że produkty te nie są w stanie spełnić wszystkich postawionych im wymagań i dalszych prac zaniechano. Następnie firmy DuPont i Honeywell* połączyły wysiłki, koncentrując się na rozpoznaniu własności 2,3,3,3-czterofluoropropylenu (CF₃CF=CH₂). Czynnik ten, oznaczony jako R1234yf, należy do grupy fluoro-olefin (HFO). Substancje te są nienasyconymi związkami HFC z podwójnym wiązaniem węglowym.

Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego jest dla R1234yf bardzo niski (GWP₁₀₀ = 4), dzięki szybkiemu rozkładowi jego cząsteczek w atmosferze, następującemu już w ciągu kilku dni. Cecha ta może budzić pewne obawy co do stabilności czynnika w toku wieloletniej eksploatacji w instalacji chłodniczej. Jednakże szeroko zakrojone badania nie potwierdziły tego niebezpieczeństwa i dowiodły jego wystarczającej trwałości w układach klimatyzacji samochodowej.

Czynnik R1234yf charakteryzuje się umiarkowanym stopniem palności (wg normy ASTM 681), a wymagana energia inicjacji zapłonu jest dużo większa niż np. dla R152a. Z uwagi na niską prędkość rozprzestrzeniania się płomienia oraz na wysoki poziom energii inicjacji płomienia zaliczono tę substancję do grupy bezpieczeństwa A2L wg normy ISO 817.

Wszechstronne testy wykazały, że to potencjalnie wyższe ryzyko zapalenia czynnika można zażegnać w przypadku klimatyzacji samochodowej

dzięki odpowiednim środkom. Jednakże z innych badań (np. prowadzonych przez firmę Daimler-Benz) wyciągnięto wniosek o zwiększonym zagrożeniu. Z tego powodu różni producenci ponownie wznowili poszukiwania alternatywnych rozwiązań.

Pomyślnie są rezultaty badań toksykologicznych czynnika R1234yf oraz jego oddziaływania na tworzywa sztuczne i oleje stosowane w technice chłodniczej. Chociaż niektóre środki smarne przejawiają pewną reaktywność, to można jednak jej przeciwdziałać za pomocą odpowiednio opracowanego składu oleju, bądź dodatków stabilizujących.

Zgromadzone dotąd doświadczenia eksploatacyjne z czynnikiem R1234yf – w warunkach nie tylko laboratoryjnych – pozwalają na pozytywną jego ocenę, szczególnie pod względem wydajności i efektywności. W typowym zakresie parametrów pracy układów klimatyzacji samochodowej, wydajność chłodnicza i współczynnik wydajności chłodniczej nie odbiegają o więcej niż 5% od wartości uzyskiwanych z R134a. Oczekuje się zatem, że proste modyfikacje obiegu pozwolą osiągnąć wydajność jak dla R134a.

Temperatura krytyczna i ciśnienie nasycenia też są zbliżone do własności R134a, zaś gęstość pary i masowe natężenie przepływu są o około 20% wyższe. Z kolei temperatura tłoczenia jest nawet o około 10 K niższa.

Ze względu na stosunkowo prostą konwersję układów klimatyzacji samochodowej jest prawdopodobne, że układy z tym czynnikiem będą dominować nad konkurencyjnymi instalacjami z CO₂.

Jednakże wspomniana palność czynnika R1234yf sprawia, że dalsze badania koncentrują się na innych rozwiązaniach technicznych, w tym właśnie na układach z CO₂.

Inne zastosowania czynników HFO

Rozważa się także wykorzystanie czynnika R1234yf w innego rodzaju układach klimatyzacji środków transportu, jak również w stacjonarnych instalacjach klimatyzacyjnych i w pompach ciepła. Jednak należy wziąć pod uwagę przepisy bezpieczeństwa dotyczące napełniania instalacji czynnikiem chłodniczym z grupy A2(L) (np. EN378), które odpowiednio ograniczają ich stosowanie. Dodatkowe obawy dotyczą stabilności chemicznej czynnika, z uwagi na zwykle bardzo długi okres eksploatacji takich instalacji.

Do zastosowań wymagających użycia czynników chłodniczych z grupy bezpieczeństwa A1 (nie palne i nie toksyczne), zostały już opracowane zamienniki za R134a o niższym wskaźniku GWP, oparte na mieszaninach HFO/HFC. Były one testowane przez jakiś czas w istniejących układach chłodniczych.

Zarówno czynnik R1234yf, jak i opisany dalej R1234ze(E) wykorzystuje się jako składniki mieszanin HFO/HFC. Z punktu widzenia legislacji F-gazowej (np. unijnego Rozporządzenia o F-gazach) mieszaniny te proponuje się jako substancje o niskim wskaźniku GWP, będące zamiennikami czynników R404A/R507, R22/R407C i R410A. Niektóre z nich testowano już pod kątem wydajności chłodniczej i efektywności w ramach „Programu Badań Alternatywnych Czynników Chłodniczych” (AREP) prowadzonego przez AHRI. Eksploatowano je też w eksperymentalnych układach chłodniczych. Więcej informacji na temat mieszanin HFO/HFC znajduje się na stronie 24.

Z grupy fluoro-olefin dostępna jest również inna substancja pod nazwą R1234ze (E), która do tej pory była głównie stosowana jako środek spieniający poliuretany i jako propelent. Płyn R1234ze(E) różni się od R1234yf budową

molekularną. Jego własności termodynamiczne przemawiają za wykorzystaniem go jako czynnika chłodniczego. Ma również bardzo niski potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP₁₀₀ = 7).

Brak jest absolutnej pewności co do palności czynnika R1234ze(E). W karcie charakterystyki substancji określa się go jako niepalny. Dotyczy to jednak kwestii transportu i przechowywania. Dla zastosowań w roli czynnika chłodniczego bardziej odpowiednia jest temperatura odniesienia 60°C, w której R1234ze(E) staje się palny. Dlatego zalicza się go do grupy bezpieczeństwa A2L – tej samej, jak w przypadku czynnika R1234yf.

Czynnik R1234ze(E) wskazuje się niekiedy jako zamiennik wobec R134a, jednak jego objętościowa wydajność chłodnicza jest o ponad 20% niższa niż dla R134a lub R1234yf. Ponadto normalna temperatura wrzenia (-18°C) poważnie ogranicza zakres wykorzystania tego płynu w układach niskotemperaturowych. Z tego względu, zalecany obszar pracy w urządzeniach chłodniczych ze sprężarkami tłokowymi obejmuje wysokie temperatury parowania. Więcej informacji na stronie 36, w rozdziale „Zastosowania specjalne”.

Wieloskładnikowe czynniki chłodnicze

Zarówno do urządzeń już eksploatowanych, jak do nowych instalacji chłodniczych opracowano wieloskładnikowe mieszaniiny, o własnościach ukształtowanych tak, że stanowią one zamienniki tradycyjnych czynników chłodniczych.

Należy wyraźnie rozgraniczyć trzy kategorie:

1. Mieszaniiny przejściowe i do celów serwisowych

Głównym składnikiem większości z nich jest HCFC 22. Mieszaniiny te są przeznaczone przede wszystkim do **serwisowania istniejących układów chłodniczych**, pracujących uprzednio z R12, R502 lub innym czynnikiem z grupy CFC. Różni producenci oferują takie czynniki, a sprawdzone w praktyce właściwe procedury przezbrajania instalacji są zwykle jasno określone.

Jednakże mieszaniiny serwisowe podlegają tym samym co R22 przepisom i harmonogramom wycofania (str. 8).

2. Mieszaniiny HFC

Są to długoterminowe wieloskładnikowe zamienniki R502, R22, R13B1 i R503. Powszechne zastosowanie znalazły przede wszystkim czynniki R404A, R507A, R407C i R410A.

Niektóre mieszaniiny bezchlorowe zawierają dodatek węgłowodorów, który zapewnia dobrą rozpuszczalność ze środkami smarnymi, nawet do tego stopnia, że w pewnych warunkach czynniki te mogą współpracować z tradycyjnymi olejami chłodniczymi. W wielu przypadkach umożliwia to przezbrojenie układu pracującego z czynnikiem CFC lub HCFC na mieszaniinę bezchlorową (ODP = 0) bez konieczności wymiany oleju.

3. Mieszaniiny HFO/HFC

Następna generacja po czynnikach chłodniczych HFC. Są to mieszaniiny czynników z niskim wskaźnikiem GWP (np. R1234yf) z czynnikami HFC. Podstawowym celem jest dodatkowe zmniejszenie potencjału globalnego ocieplenia (GWP) w porównaniu z fluorowanymi węgłowodorami (patrz strona 24).

Wykorzystanie czynników dwu- lub trójskładnikowych w technice chłodniczej ma już długą historię. Rozróżnia się mieszaniiny azeotropowe (np. R502, R507A), których własności termodynamiczne są zbliżone do czynników jednorodnych oraz mieszaniiny zeotropowe, charakteryzujące się poślizgiem temperaturowym podczas zmiany stanu skupienia (patrz następny rozdział). Opracowując mieszaniiny zeotropowe koncentrowano się pierwotnie na ich zastosowaniu w układach niskotemperaturowych, bądź w pompach ciepła.

W przeszłości dosyć powszechną praktyką było dodawanie pewnej ilości R12 do R22, w celu polepszenia warunków powrotu oleju z instalacji oraz obniżenia temperatury tłoczenia przy dużych sprężach. Dodawano także R22 do układów pracujących z R12, aby podnieść wydajność lub wprowadzano domieszkę węgłowodorów, w celu polepszenia warunków transportu oleju w instalacjach niskotemperaturowych.

Sprawdzona w ten sposób możliwość modyfikowania własności czynników chłodniczych stała się inspiracją do tworzenia nowej generacji mieszaniiny.

We wstępie (na stronie 3) napisano już, że nie istnieją jednorodne substancje fluorowodorowe, które mogłyby wprost zastąpić stare i obecnie wykorzystywane czynniki chłodnicze przewyższające R134a pod względem objętościowej wydajności chłodniczej. Z tego powodu jedyną możliwością stanowią mieszaniiny. Biorąc jednak pod uwagę własności termodynamiczne, palność, toksyczność i potencjał pogłębiania efektu cieplarnianego, lista potencjalnych zamienników jest krótka.

Stosunkowo duża była liczba czynników chłodniczych alternatywnych wobec czynników z grup CFC i HCFC, a to z powodu dopuszczenia do stosowania substancji o wysokim wskaźniku GWP. Natomiast mieszaniiny, które mają się charakteryzować zdecydowanie obniżonym wskaźnikiem GWP mogą obok R134a, R1234yf i R1234ze(E) mieć w składzie właściwie jedynie R32, R125 i R152a. Większość z tych substancji jest palna. Ponadto, różnią się wyraźnie temperaturą wrzenia, przez co mieszaniiny o niskim wskaźniku GWP i wysokiej objętościowej wydajności chłodniczej posiadają wyraźny poślizg temperaturowy (patrz kolejny rozdział).

Firma BITZER zgromadziła dotąd bogate doświadczenie z eksploatacji mieszaniiny nowej generacji. Testy w laboratoriach i w eksploatowanych komercyjnie instalacjach chłodniczych pozwoliły już we wczesnej fazie rozwoju tych czynników na zoptymalizowanie ich składu i znalezienie odpowiednich olejów. W oparciu o tę wiedzę, już na początku 1991 roku stało się możliwe uruchomienie dużej instalacji w supermarkecie, wyposażonej w 4 półhermetyczne sprężarki pracujące w układzie równoległym. Wykorzystanie nowych mieszaniiny w różnorodnych układach chłodniczych należy już od wielu lat do typowych rozwiązań w technice chłodniczej i generalnie przynosi dobre rezultaty.

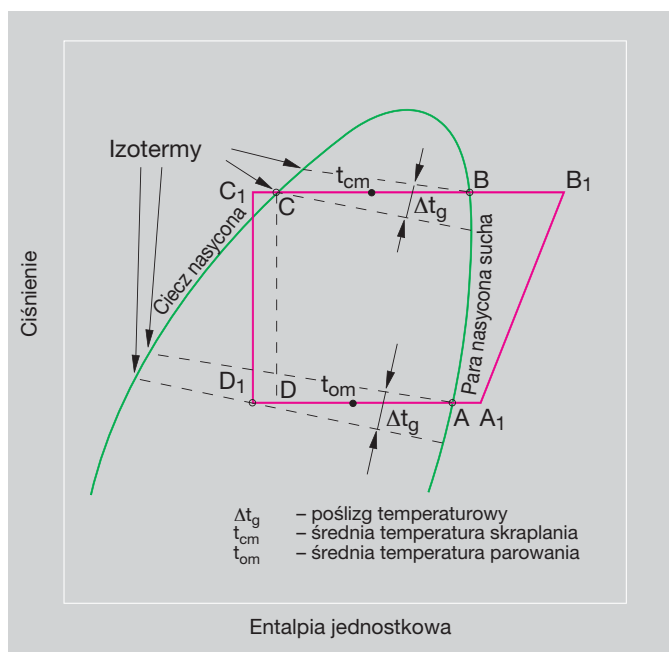
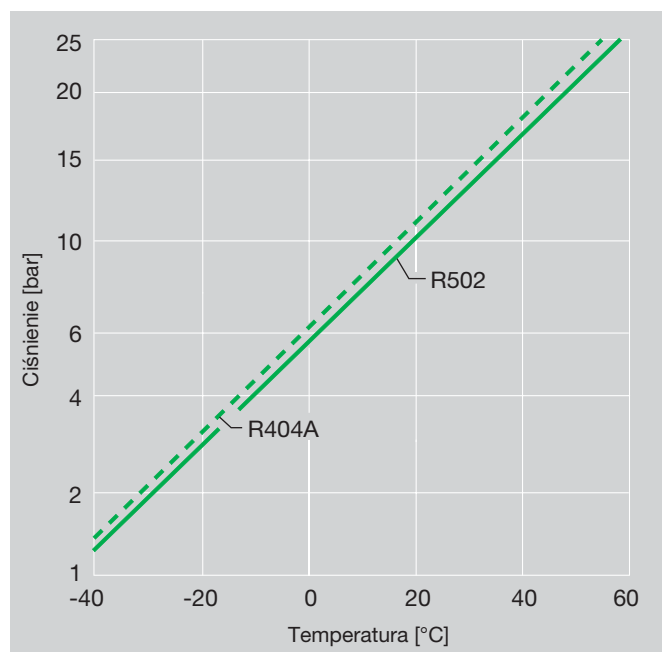
Ogólne własności mieszaniiny zeotropowych

W przeciwieństwie do mieszaniiny azeotropowych (np. R502, R507), które podczas wrzenia i skraplania zachowują się jak czynniki jednorodne, mieszaniiny zeotropowe w trakcie zmiany fazy przy stałym ciśnieniu wykazują „ślizgową” zmianę temperatury.

Ten poślizg temperaturowy może być mniej lub bardziej zauważalny, co zależy przede wszystkim od temperatury nasycenia i udziału poszczególnych składników w mieszaniinie. W odniesieniu do czynników o poślizgu temperaturowym poniżej 1 K używa się niekiedy określeń mieszaniiny „blisko-azeotropowa” lub „pół-azeotropowa”.

Poślizg temperaturowy skutkuje w praktyce wzrostem temperatury czynnika podczas parowania i spadkiem temperatury w trakcie skraplania. Innymi słowy, dla konkretnego ciśnienia istnieje różnica pomiędzy temperaturą nasycenia cieczy i pary (rys. 13).

Dla celów porównawczych z czynnikami jednorodnymi, temperaturę parowania i temperaturę skraplania mieszaniiny zeotropowych zwykle uśrednia się. W efekcie wyznaczenie dochłodzenia i przegrzania (w oparciu o te średnie temperatury) daje nieprawdziwe wartości. Rzeczywiste wartości przegrzania i dochłodzenia – określone względem temperatury nasycenia na krzywych granicznych – są zawsze mniejsze.


Rys. 13. Obieg chłodniczy mieszanimy zeotropowej

Rys. 14. Porównanie ciśnienia nasycenia R404A i R502 w zależności od temperatury

Ma to szczególne znaczenie przy określaniu minimalnego przegrzania czynnika chłodniczego na ssaniu sprężarki (zwykle 5 do 7 K) i stanu cieczy za zbiornikiem (pęcherze gazu).

W celu ujednoczenia i uproszczenia pojęcia nominalnej wydajności chłodniczej sprężarki, znowelizowane normy EN12900 i ARI540 nakazują podawanie temperatury wrzenia i temperatury skraplania dla pary nasycionej suchej (na prawej krzywej granicznej).

Temperaturę parowania określa się

- w punkcie A (rys. 13).

Temperaturę skraplania określa się

- w punkcie B (rys. 13).

Takie podejście ułatwia też ocenę rzeczywistego przegrzania i dochłodzenia.

Należy jednak wziąć pod uwagę, że rzeczywista wydajność chłodnicza układu może być wyższa od nominalnej wydajności chłodniczej sprężarki, z uwagi na niższą temperaturę na wlocie do parownika.

Inną cechą czynników zeotropowych jest poten-

cjalna możliwość zmiany udziału poszczególnych składników w mieszaninie w razie wycieku.

Ucieczka tylko cieczy lub tylko pary przegrzanej nie stanowi szczególnego zagrożenia. Groźbę zmiany składu niosą ze sobą przede wszystkim wycieki z tych części instalacji, w których współistnieją oba stany skupienia, np. z przewodu za zaworem rozprężnym, z parownika, skraplacza, ze zbiornika cieczy.

Zaleca się więc stosowanie w tych częściach instalacji wyłącznie połączeń lutowanych, bądź spawanych.

Badania eksperymentalne wykazują jednak, że efekt zmiany składu mieszanimy na skutek jej częściowej ucieczki z układu jest mniejszy niż pierwotnie sądzono. W każdym razie pewne jest, że z tych substancji należących do grupy bezpieczeństwa A1 (patrz strona 36) nie dojdzie do utworzenia mieszanimy palnej ani w instalacji, ani w otoczeniu. Uzupełnienie ubytków czynnika nową porcją mieszanimy może przywrócić właściwe parametry robocze układu tylko w przypadku substancji o małym poślizgu temperaturowym.

W praktyce posługując się mieszanimami należy

zawsze przestrzegać następujących zaleceń:

- Instalację chłodniczą należy zawsze napełniać cieczą. Wprowadzenie pary pobranej z butli może doprowadzić do zmiany składu mieszanimy.

Ze względu na obecność przynajmniej

- jednego palnego składnika w każdej mieszanimie, należy uniemożliwić dostęp powietrza do instalacji. Duża ilość powietrza w warunkach wysokiego ciśnienia czynnika lub przy podciśnieniu, może znacznie zmienić temperaturę zapłonu.

Nie zaleca się wykorzystywania mieszanimy

- o dużym poślizgu temperaturowym w układach z parownikami zalanyymi. Istnieje bowiem ryzyko zróżnicowania składu czynnika w parowniku i w wysokociśnieniowej części instalacji.

Mieszanki serwisowe oparte na R22 jako zamienniki R502

W wyniku dalszej modernizacji starszych instalacji, znaczenie tych czynników wyraźnie zmalało. Produkcja niektórych z nich została już zakończona. W Raporcie są jednak nadal uwzględniane, z uwagi na rolę, jaką odegrały w historii rozwoju mieszanin.

Poniższe czynniki chłodnicze należą do grupy „mieszanki serwisowych” i są znane pod oznaczeniami R402A*, R402B* (HP80, HP81 - produkty firmy DuPont), R403A*, R403B* (dawnej ISCEON 69S, 69L) i R408A* (Forane FX10 - produkt firmy Arkema).

Podstawowym składnikiem każdego z tych czynników jest R22 – czynnik chłodniczy charakteryzujący się wysoką temperaturą tłoczenia, którą w omawianych mieszaninach obniżono dzięki dodatkom substancji bezchlorowych, o niskim wykładniku izentropii (np. R125, R143a, R218). Cechą charakterystyczną tych składników jest niezwykle wysokie masowe natężenie przepływu, dzięki czemu mieszaniny zbliżają się pod względem własności do czynnika R502.

Z kolei jednym ze składników mieszanin R402A/B i R403A/B jest propan (R290), który dodany został w celu polepszenia rozpuszczalności z tradycyjnymi olejami chłodniczymi.

Mieszanki R402 i R403 oferowane są w dwóch odmianach A i B, różniących się udziałami poszczególnych składników. Wynika to z faktu, że zoptymalizowanie składu mieszaniny pod kątem osiągnięcia takiej samej jak R502 wydajności chłodniczej, w połączeniu z dużym przegrzaniem pary na ssaniu (np. w instalacjach supermarketów) może prowadzić do znacznego wzrostu temperatury tłoczenia (rys. 15).

Z drugiej strony, większy udział składników R125 i R218, obniżających temperaturę tłoczenia mieszaniny do poziomu podobnego jak dla R502, skutkuje nieco wyższą wydajnością chłodniczą (rys. 16).

Pod względem zgodności z materiałami konstrukcyjnymi, mieszaniny serwisowe są zbliżone do czynników typu CFC i HCFC. O ile rekomenduje się stosowanie olejów syntetycznych lub półsyntetycznych, to mieszaniny te mogą także współpracować z tradycyjnymi olejami mineralnymi – w zależności od zawartości R22 i R290.

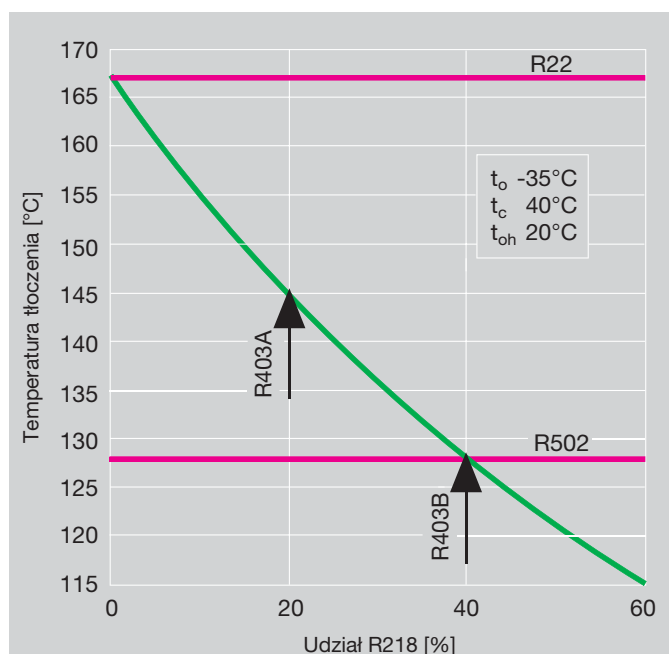
Oprócz zalet mieszanin serwisowych, nie są one też pozbawione wad. Można je traktować jedynie jako zamienniki przejściowe, o ograniczonym terminie stosowania. Zawartość R22 powoduje, że mają one pewien (jakkolwiek niewielki) potencjał niszczenia warstwy ozonowej. Z kolei składniki R125, R143a i R218 odznaczają się stosunkowo wysokim potencjałem tworzenia efektu cieplarnianego.

Przeobrażanie układów z R502

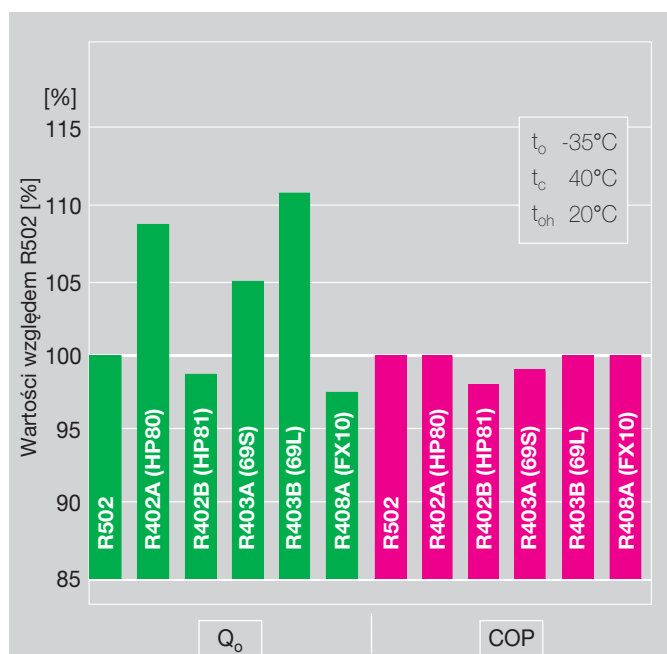
W większości przypadków nie ma konieczności wymiany sprężarki i innych podzespołów dostosowanych do czynnika R502. Należy jednak wziąć pod uwagę ograniczenia zakresu stosowania poszczególnych zamienników, z uwagi na wyższą temperaturę tłoczenia mieszanin R402B**, R403A** i R408A**, bądź wyższe ciśnienie robocze czynników R402A** i R403B**.

Ponieważ R22 i R290 charakteryzują się dobrą rozpuszczalnością środków smarnych, po wymianie czynnika istnieje niebezpieczeństwo wypłukiwania z układu ewentualnych pozostałości produktów rozkładu oleju zawierających chlor i unoszenia ich do sprężarki lub elementów automatyki. Ryzyko takie jest szczególnie duże w przypadku układów, w których były problemy ze stabilnością czynnika chłodniczego jeszcze podczas pracy z R502 (instalacje źle utrzymane, wyposażone w zbyt małe odwadniacze, poddane dużym obciążeniom termicznym).

- * Wykorzystanie mieszanin zawierających R22 podlega odpowiednim regulacjom prawnym (str. 8).
- ** Oznaczenia wg kodu ASHRAE.



Rys. 15. Wpływ różnic w składzie mieszaniny R22/R218/R290 na temperaturę tłoczenia



Rys. 16. Porównanie wydajności chłodniczej (Q₀) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) wybranych mieszanin, pracujących w układzie ze sprężarką półtermiczną

Przed wymianą czynnika należy w układzie zainstalować wydajne filtry w przewodzie ssawnym i odwadniacze w przewodzie cieczowym, a po około 100 godzinach pracy instalacji wymienić olej. Zaleca się ponadto dalsze kontrole czystości układu.

Gdy instalacja pracuje jeszcze z czynnikiem R502, należy zanotować parametry robocze (włącznie z temperaturą tłoczenia i przegrzaniem pary na ssaniu), aby można było je porównać z wartościami osiąganymi z nową mieszaniną. Może bowiem zająć potrzeba dokonania pewnych czynności, jak np. wyregulowanie elementów automatyki.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat mieszanin serwisowych (patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-650 „Przezbieranie układów chłodniczych z R12 i R502 na alternatywne czynniki chłodnicze”

Mieszaniny serwisowe jako zamienniki R12 (R500)

Doświadczenie pokazuje, że czynnik R134a może być również dobrym zamiennikiem R12 w istniejących urządzeniach, jednak efektywne przeprowadzenie operacji przebrojenia nie zawsze jest możliwe. Nie każda sprężarka zainstalowana w obiegu R12 nadaje się do pracy z R134a. Ponadto, takie przebrojenie układu wymaga wymiany oleju smarnego, co w odniesieniu do większości hermetycznych agregatów sprężarkowych jest praktycznie niewykonalne.

Nie bez znaczenia są też względy ekonomiczne, szczególnie w przypadku starych instalacji chłodniczych, których koszt przebrojenia na R134a jest stosunkowo wysoki. Zachodzi również obawa o dostateczną stabilność chemiczną czynników w takich układach, co zwiększa ryzyko niepowodzenia operacji.

Dlatego obok czynnika R134a, dostępne są także mieszaniny serwisowe, noszące oznaczenia R401A, R401B (MP39, MP66 – produkty firmy DuPont) i R409A (Forane FX56 – Arkema, Solvay). Głównymi ich składnikami są substancje z grupy HCFC: R22, R124, bądź R142b. Ponadto w ich skład wchodzi R152a lub R600a (izobutan). Dzięki dużemu udziałowi HCFC, wspomniane mieszaniny mogą współpracować z tradycyjnymi olejami mineralnymi, chociaż zaleca się korzystanie z syntetycznych lub półsyntetycznych środków smarnych.

Kolejną zaoferowaną mieszaniną przeznaczoną do celów serwisowych był czynnik R413A (DuPont- ISCEON MO49), zastąpiony pod koniec 2008 roku przez R437A. Jednak z uwagi na rolę jaką odegrał w historii rozwoju mieszanin, jest nadal uwzględniany w Raporcie. W skład R413A wchodzi tylko substancje bezchlorowe: R134a, R218 i R600a. Pomimo stosunkowo dużego udziału R134a, możliwa jest współpraca mieszaniny z olejem mineralnym, dzięki niewielkiej polarności R218 i bardzo dobrej rozpuszczalności R600a.

Czynnik R437A jest mieszaniną składającą się z R125, R134a, R600 i R601. Ma własności zbliżone do R413A oraz zerowy potencjał niszczenia warstwy ozonowej.

Ponieważ czynniki R413A i R437A w bardzo ograniczonym zakresie tworzą roztwory z olejami mineralnymi i alkilobenzenowymi, należy się liczyć z niebezpieczeństwem zalegania środka smarnego w układach, w których krąży duża ilość oleju, szczególnie w instalacjach wyposażonych w duże zbiorniki cieczy i pozbawionych odolejaczy.

Jeśli po wymianie płynu roboczego powrót oleju do sprężarki okaże się utrudniony, producent czynnika zaleca w takim przypadku wymianę części środka smarnego na olej poliestrowy. Z punktu widzenia wytwórcy sprężarki, takie posunięcie należy jednak poprzedzić dokładną analizą warunków jej smarowania. Przykładowo, nadmierne pienienie się środka smarnego w skrzyni korbowej oznacza konieczność całkowitej wymiany oleju na poliestrowy. Trzeba też pamiętać, że mieszanina oleju poliestrowego i substancji typu HFC wykazuje wysoką polarność, a co za tym idzie zdolność do wyplukiwania ewentualnych osadów z instalacji. Dlatego w przewodzie ssawnym należy zainstalować wydajny filtr. Więcej informacji można znaleźć w materiałach publikowanych przez producenta czynnika.

Przezbieranie układów z R12

W większości przypadków nie zachodzi konieczność wymiany sprężarki, ani innych podzespołów instalacji chłodniczej. Podczas przezbierania układu na R413A lub R437A należy jednak sprawdzić zgodność materiałów konstrukcyjnych z czynnikami z grupy HFC. Wymiana czynnika chłodniczego może się wiązać z koniecznością wymiany oleju oraz regulacji termostatycznego zaworu rozprężnego. Ponieważ poszczególne składniki różnią się wyraźnie pod względem temperatury nasycenia, opisane mieszaniny serwisowe wykazują duży poślizg temperatury. Prawidłowa ocena rzeczywistego

przegrzania pary na ssaniu wymaga zatem dokładnej znajomości parametrów nasycenia czynnika (np. na podstawie tablic własności udostępnianych przez producenta).

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na zakres zastosowania mieszanin. Układy o niskiej i wysokiej temperaturze parowania wymagają odmiennych czynników, a poszczególne czynniki różnią się istotnie pod względem wydajności chłodniczej (zakres stosowania str. 40). Powodem jest bardziej stroma charakterystyka wydajnościowa mieszanin, w porównaniu z R12.

Z powodu dosyć dużej zawartości R22, szczególnie w czynnikach niskotemperaturowych, temperatura tłoczenia niektórych mieszanin znacznie przekracza poziom typowy dla R12. Przed wymianą czynnika należy więc sprawdzić dopuszczalny zakres parametrów roboczych sprężarki.

Pozostałe aspekty stosowania mieszanin serwisowych są podobne jak dla krótkoterminowych zamienników czynnika R502, opisanych w poprzednim rozdziale.

Wykorzystanie mieszanin zawierających R22 podlega odpowiednim regulacjom prawnym (str. 8).

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat mieszanin serwisowych (patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-650 „Przezbieranie układów chłodniczych z R12 i R502 na alternatywne czynniki chłodnicze”

R404A i R507 jako zamienniki R502 i R22

Mieszanki te są całkowicie pozbawione chloru (ODP = 0) i dlatego można je uważać za długoterminowe zamienniki R502 oraz R22 w układach średnio- i niskotemperaturowych.

Na początku 1992 roku w ofercie firmy DuPont znalazł się czynnik Suva HP62. Od tego czasu zebrano wiele pozytywnych doświadczeń z jego eksploatacji. Następnie na rynku pojawiły się mieszanki Forane FX70 (Arkema), Genetron AZ50 (Allied Signal / Honywell) i Solkane 507 (Solvay). Stowarzyszenie ASHRAE nadało mieszaninom HP62 i FX70 oznaczenie R404A, natomiast czynnikowi AZ50 przypisało numer R507A. Podstawowe składniki tych mieszanin należą do grupy HFC. Jeden z nich – R143a jest palny. Jednak duży udział R125 w składzie sprawia, że cała mieszanina jest niepalna, również w zakresie stężeń spodziewanych w przypadku wycieku.

Wykładnik izentropy każdego ze składników jest bardzo niski, dzięki czemu temperatura tłoczenia mieszanin nie przekracza poziomu charakterystycznego dla czynnika R502, a nawet bywa niższa (rys. 17). Omawiane czynniki chłodnicze nadają się zatem do jednostopniowych układów niskotemperaturowych.

Zbliżone wartości temperatury nasycenia składników R143a i R125 oraz stosunkowo niewielki udział R134a sprawiają, że poślizg temperatu-

rowy mieszaniny R404A w całym zakresie zastosowania nie przekracza 1 K. Stąd procesy zachodzące w wymiennikach ciepła przebiegają niemal tak samo, jak w przypadku mieszanin azeotropowych. Wyniki pomiarów świadczą również o dobrych warunkach wymiany ciepła. Czynnik R507A jest dwuskładnikową mieszaniną azeotropową. Warunki wymiany ciepła są więc w jej przypadku jeszcze lepsze.

Wyniki testów laboratoryjnych (rys. 18) pokazują, że wykorzystanie opisywanych mieszanin daje bardzo podobne rezultaty, w dodatku zbliżone do czynnika R502. Uzasadnione jest zatem szerokie rozpowszechnienie tych substancji na rynku – stały się one swego rodzaju standardem w handlowych układach chłodniczych w Europie i w Ameryce Północnej. Kwestie dotyczące tolerancji materiałowej dają się rozwiązać, podobnie jak dla innych czynników z grupy HFC. Analogicznie zaleca się korzystanie z olejów poliestrowych, chociaż testuje się również przydatność innych środków smarnych (str. 9 i 10).

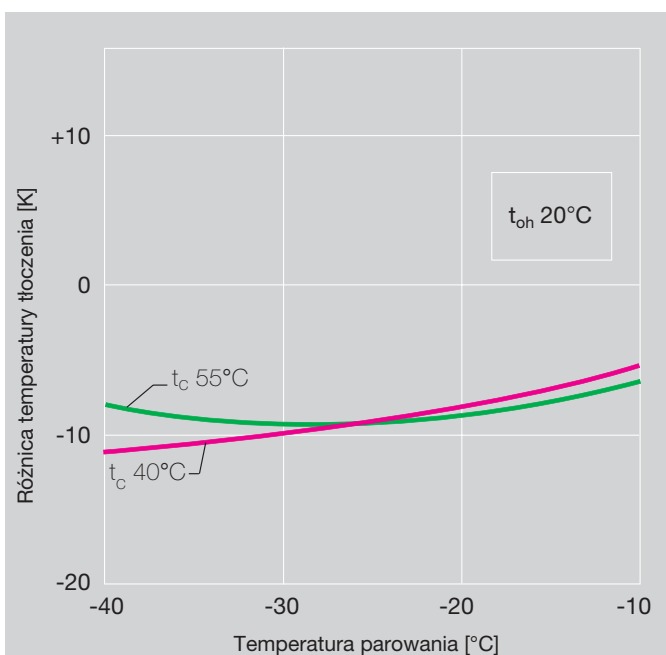
Pewną komplikacją stanowi stosunkowo wysoki potencjał tworzenia efektu cieplarnianego tych mieszanin ($GWP_{100} = 3922...3985$), spowodowany głównie zawartością R143a i R125. Jednak i tak są to wartości niższe niż dla czynnika R502, co w połączeniu z dobrymi charakterystykami energetycznymi prowadzi do obniżenia wskaźnika TEWI. Dodatkowe korzyści w tym względzie może przynieść stosowanie zaawansowanej automatyki chłodniczej.

Niemniej jednak, z powodu stosunkowo wysokich wartości wskaźnika GWP, wykorzystanie czynników R404A i R507A w nowych urządzeniach będzie zabronione na obszarze Unii Europejskiej od 2020 roku. Zapis ten znalazł się już w Rozporządzeniu nr 517/2014 o F-gazach, które wchodzi w życie z początkiem 2015 roku. Narzucony przy tym harmonogram redukcji wykorzystania tych czynników i ograniczania ich kontyngentów doprowadzi nawet do wcześniejszego ich wycofania z pewnych obszarów zastosowania. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w broszurze firmy BITZER nr A-510.

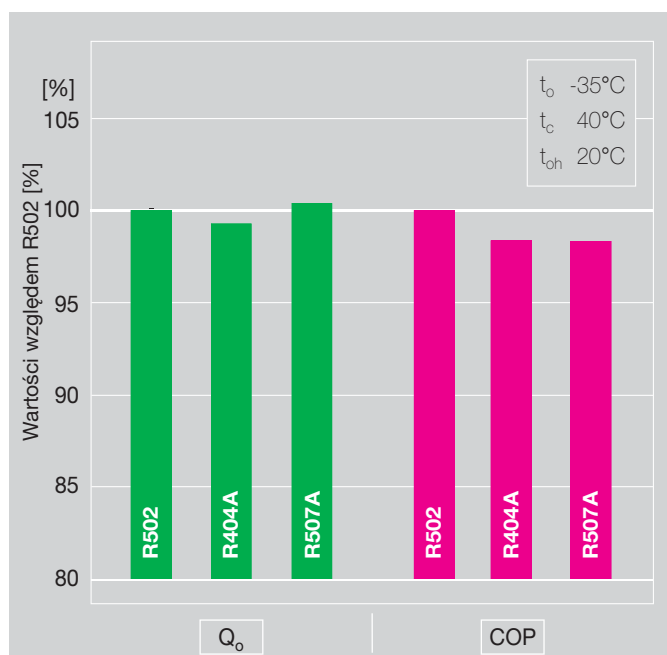
Również w USA pojawiła się inicjatywa wycofywania czynników R404A i R507A od 2016 roku (zalecenie EPA). Możliwe, że w tym kierunku pójdą też inne części świata.

Alternatywnymi mieszaninami o niższym wskaźniku GWP są mieszaniny HFC omówione dalej (od strony 18), jak również mieszaniny HFO/HFC obecnie opracowywane i poddawane ocenie (omówione od strony 24).

Do konkretnych zastosowań rozwiązaniem mogą być także bezfluorowe czynniki chłodnicze oraz układy kaskadowe pracujące na różnych czynnikach (od strony 27).



Rys. 17. Różnica temperatury tłoczenia R404A i temperatury tłoczenia R502 w sprężarce półhermetycznej, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)



Rys. 18. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_0) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) wybranych mieszanin, pracujących w układzie ze sprężarką półhermetyczną

Wymagania techniczne

Układ chłodniczy można zazwyczaj zaprojektować w oparciu o zasady analogiczne, jak dla czynnika R502. Ze względów termodynamicznych korzystne jest zastosowanie regeneracyjnego wymiennika ciepła między przewodem ssawnym i cieczowym, gdyż polepsza on wydajność chłodniczą obiegu i jego efektywność.

Dostępność czynników R404A i R507 jest powszechna.

BITZER oferuje do pracy z tymi mieszaninami pełen asortyment sprężarek tłokowych, spiralnych i śrubowych.

Przeobrażanie układów z czynnikami (H) CFC

Zgromadzone doświadczenie pokazuje, że przeobrażenie instalacji pracujących z czynnikami chlorowanymi na mieszaniny typu HFC bywa możliwe, jednak w wielu przypadkach wymaga zbyt dużych nakładów.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania mieszanin typu HFC

(patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-651 „Przeobrażanie układów chłodniczych z R22 na alternatywne czynniki chłodnicze”
- Informacja techniczna KT-510 „Oleje poliestrowe dla sprężarek tłokowych”

Mieszanki R407A /R407B/R407F jako zamienniki R502 i R22

Oprócz opisanych powyżej czynników chłodniczych, opracowano jeszcze inne mieszaniny, tym razem w oparciu o R32 – substancję bezchlorową (ODP = 0) i palną, podobnie jak R143a.

Czynnik R32 również należy do grupy HFC i zasadniczo postrzegano go jako potencjalny zamiennik R22 (str. 20). Tworząc na jego bazie mieszaniny, można zbliżyć się również do własności R502 oraz R404A / R507A.

Tego rodzaju czynniki chłodnicze pojawiły się na rynku początkowo pod nazwami handlowymi KLEA 60 i KLEA 61 (produkt firmy ICI), a następnie przypisano im według nomenklatury ASHRAE numery R407A i R407B*.

Honeywell opracował inną mieszaninę o nazwie handlowej Performax LT (R407F zgodnie z oznaczeniem ASHRAE) i wprowadził ją na rynek. Udział R32 jest o 10% wyższy niż w R407A, podczas gdy udział R125 jest proporcjonalnie niższy.

Jednakże własności otrzymanych w oparciu o R32 zamienników czynnika R502 nie są tak korzystne, jak mieszanin bazujących na R143a, które opisano powyżej. Temperatura parowania R32 jest bardzo niska – rzędu -52°C , a w dodatku wykładnik izentropy tej substancji ma wartość, wyższą od wykładnika izentropy

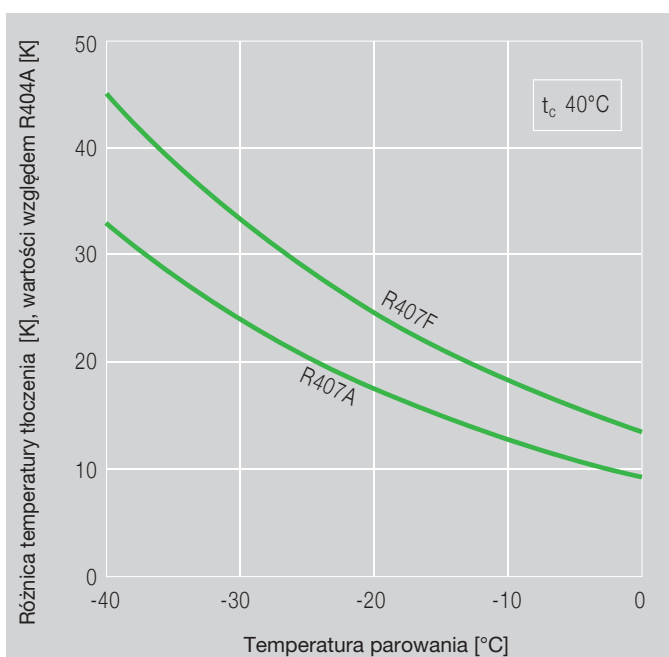
dla R22. Zatem uzyskanie własności podobnych do R404A i R507A wymaga stosunkowo dużego udziału R125 i R134a w składzie mieszaniny. Składniki te przeciwdziałają palności, którą charakteryzuje się R32. Jednocześnie duża zawartość R134a, który wyraźnie różni się pod względem temperatury parowania powoduje, że mieszanina ma większy poślizg temperaturowy.

Zasadniczą zaletą czynnika R32 jest niezwykle niski wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego ($\text{GWP}_{100} = 675$). Nawet przy znacznej zawartości R125 i R134a wskaźnik GWP całej mieszaniny jest dzięki temu niższy, niż dla czynników wieloskładnikowych bazujących na R143a (np. dla R407A $\text{GWP}_{100} = 2107$, zaś dla R407F $\text{GWP}_{100} = 1825$).

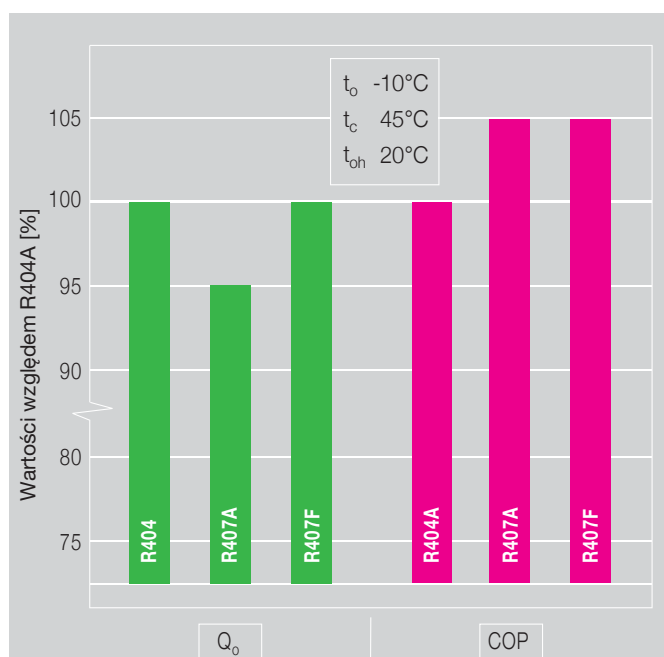
Pod tym względem mieszaniny te spełniają wymagania nowego Rozporządzenia w sprawie F-gazów, które po 2020 roku dopuszcza stosowanie tylko czynników o wskaźniku GWP poniżej 2500.

Wyniki badań mieszanin sporządzonych w oparciu o R32 pokazują, że w porównaniu z R404A i R507A mają one niższą wydajność chłodniczą w układach niskotemperaturowych. Współczynnik COP wykazuje jednak mniejsze odstępstwa, a w zakresie średnich temperatur parowania bywa nawet wyższy (rys. 20).

* Czynnik R407B w międzyczasie przestał być dostępny na rynku. W Raporcie jest jednak nadal uwzględniany, z uwagi na rolę, jaką odegrał w historii rozwoju mieszanin HFC.



Rys. 19. Różnica temperatury tłoczenia dla R407A, R407F/R404A w sprężarce półhermetycznej, w zależności od temperatury parowania



Rys. 20. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) wybranych mieszanin, pracujących w układzie ze sprężarką półhermetyczną

Od konstrukcji układu zależy aby te korzystne warunki znalazły potwierdzenie w rzeczywistych zastosowaniach.

Duży poślizg temperaturowy odgrywa ważną rolę, gdyż może negatywnie wpłynąć na wydajność i różnice temperatury mediów w parowniku oraz w skraplaczu. Pod względem tolerancji materiałowej, mieszaniny oparte na R32 są podobne do R404A i R507. To samo dotyczy współpracy z olejami smarnymi.

Pomimo znacznej zawartości R125 i R134a w mieszaninach z R32, ich temperatura tłoczenia jest nieco wyższa, niż w przypadku zamienników opartych na R143a. Jest to szczególnie ważne dla R407F. Zauważa się zatem zakres ich stosowania, jak również pojawia się wymóg dodatkowego chłodzenia sprężarki przy wysokim ciśnieniu.

W przypadku dużej rozpiętości ciśnień roboczych, efektywne zastosowanie znajdują sprężarki dwustopniowe. Bardzo korzystne jest także zainstalowanie dochładzacza cieczy.

Wymagania techniczne

Zasady budowy układów chłodniczych dla opisywanych mieszanin są w wielu aspektach takie same, jak dla czynników R404A/R507A i R22. Trzeba jednak mieć na uwadze poślizg temperaturowy i różnice we własnościach termodynamicznych.

Przeobrażanie układów z R22

Z praktyki wynika, że w niektórych instalacjach możliwa jest wymiana czynnika chlorowcopochodnego na mieszaninę R407A lub R407B. W porównaniu do własności R22, jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa jest niemal taka sama, a masowe natężenie przepływu tylko nieznacznie się zwiększa (do około 15%). Sprzyja to przeobrażaniu średnio- i niskotemperaturowych układów pracujących dotychczas z R22.

Zasadnicze podzespoły instalacji nie muszą być wymieniane pod warunkiem, że ich materiały konstrukcyjne są zgodne z substancjami typu HFC i olejami estrowymi. Należy jednak rozważyć wpływ poślizgu temperaturowego na pracę wymienników ciepła. Wymiana środka smarnego na olej estrowy jest konieczna i może prowadzić do wypłukiwania z instalacji ewentualnych osadów. Dlatego w przewodzie ssawnym należy instalować wydajne filtry.

Przeobrażanie układów z R404A i R507A

Większe różnice we własnościach termodynamicznych (jak np. masowe natężenie przepływu, temperatura tłoczenia) oraz poślizg temperaturowy mieszanin R407A i R407F mogą sprawić,

że podczas przeobrażania istniejących układów chłodniczych konieczna okaże się wymiana niektórych elementów automatyki, a niekiedy nawet instalacja dodatkowego układu chłodzenia sprężarki. W przypadku nowych urządzeń należy zaprojektować odpowiednie rozwiązania podzespołów i całych układów.

Firma BITZER oferuje pełny asortyment półhermetycznych sprężarek tłokowych do R407A i R407F.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania mieszanin typu HFC

(patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-651 „Przeobrażanie układów chłodniczych z R22 na alternatywne czynniki chłodnicze”

R422A jako zamiennik R502 i R22

Jednym z celów opracowania czynnika R422A (ISCEON MO79 wg nomenklatury DuPont) było uzyskanie bezchlorowego czynnika (ODP = 0), którym można łatwo zastępować R502 i R22 w istniejących średnio- i niskotemperaturowych układach chłodniczych.

Substancja taka musi charakteryzować się wydajnością chłodniczą i efektywnością energetyczną porównywalną z R404A, R507 i R22, a przy tym dawać możliwość pracy z tradycyjnymi olejami mineralnymi.

Cel ten uzyskano mieszając składniki R125 i R134a oraz niewielką ilość R600a. Z uwagi na znaczną zawartość R134a, czynnik R422A wykazuje większy niż R404A poślizg temperaturowy (rys. 34), ale mniejszy niż inne mieszaniny o podobnym składzie, jak np. R417A i R422D (str. 22).

W porównaniu z R404A i R507, wykładnik izentropii jest niższy, dzięki czemu niższa jest też temperatura tłoczenia i temperatura oleju. W układach o bardzo niskiej temperaturze parowania zaleta ta może być bardzo ważna. Z kolei przy małym sprężu i przegrzaniu zasysanej pary, cecha ta może mieć negatywne następstwa spowodowane zwiększoną ilością rozpuszczonego czynnika, jeśli w instalacji znajduje się olej poliestrowy.

Tolerancja materiałowa jest podobna, jak dla opisanych wcześniej mieszanin typu HFC. Dzięki domieszce R600a, czynnik R422A może dobrze współpracować także z tradycyjnymi olejami mineralnymi.

Obok pozytywnych aspektów wymiany czynnika chłodniczego należy też wziąć pod uwagę fakt, że w układach, w których krąży duża ilość oleju lub w zbiorniku znajduje się duża ilość cieczy, istnieje groźba zalegania oleju w instalacji – szczególnie wtedy, gdy w urządzeniu nie przewidziano odolejacza.

Jeśli po wymianie czynnika chłodniczego powrót oleju do sprężarki okaże się utrudniony, wówczas producent czynnika zaleca wymianę części środka smarnego na olej poliestrowy. Wszakże z punktu widzenia wytwórcy sprężarki, takie posunięcie należy poprzedzić dokładną analizą warunków jej smarowania. Przykładowo, nadmierne pienienie się środka smarnego w skrzyni korbowej oznacza konieczność całkowitej wymiany oleju na poliestrowy*. Trzeba też pamiętać, że mieszanina oleju poliestrowego i substancji typu HFC wykazuje wysoką polarność, a co za tym idzie zdolność do wypłukiwania ewentualnych osadów z instalacji. Dlatego w przewodzie ssawnym należy zainstalować wydajny filtr. Szczegółowe informacje można znaleźć w materiałach publikowanych przez producenta czynnika.

Z termodynamicznego punktu widzenia, korzystne jest zainstalowanie w układzie regeneracyjnego wymiennika ciepła pomiędzy przewodem cieczowym i ssawnym, podwyższającego wydajność chłodniczą obiegu i jego współczynnik wydajności chłodniczej. Ponadto dodatkowe przegrzanie zasysanej pary w tym wymienniku (obniżające rozpuszczalność z olejem) oznacza korzystniejsze warunki smarowania podzespołów sprężarki.

* Jest to generalne zalecenie dla układów ze sprężarkami śrubowymi oraz dla agregatów do chłodzenia cieczy („chillerów”), wyposażonych w zasilane ciśnieniowo wielosekcyjne parowniki (DX). Dodatkowo konieczne może się okazać podjęcie dalszych zabiegów.

Sprężarki firmy BITZER nadają się do pracy z czynnikiem R422A. Na życzenie możliwy jest dobór sprężarki do danego zastosowania.

Bezchlorowe zamienniki R22

Jako że czynnik R22 należy do grupy HCFC (ODP = 0,05) i jest dopuszczony do użytku w istniejących urządzeniach jedynie przejściowo, opracowano i przebadano już szereg jego zamienników nie zawierających atomów chloru (ODP = 0). Są one już obecnie szeroko wykorzystywane.

Praktyka dowodzi jednak, że żaden z tych płynów nie może zastąpić R22 w całym obszarze jego zastosowań. Na przeszkodzie stoją przede wszystkim różnice jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej, ograniczenia parametrów roboczych, specjalne wymagania co do rozwiązań technicznych, bądź odmienne poziomy ciśnienia roboczych. W grę wchodzi więc różne zamienniki, w zależności od parametrów pracy poszczególnych układów.

Obok jednorodnego czynnika R134a proponuje się szereg mieszanin, zawierających w różnych proporcjach takie składniki, jak: R32, R125, R134a, R143a oraz R600(a). Poniższy opis historii rozwoju i potencjalnych zastosowań odnosi się przede wszystkim do tych mieszanin. Nie wolno jednak w tym kontekście zapominać o naturalnych, nie zawierających fluoru zamiennikach, jak NH₃, propan, propylen czy CO₂. Wszakże ich wykorzystanie jest uzależnione od spełnienia specyficznych uwarunkowań (str. 23 i dalsze).

R407C jako zamiennik R22

W charakterze krótkoterminowych zamienników czynnika R22 najczęściej proponuje się mieszaniny typu HFC złożone z R32, R125 i R134a, gdyż ich wydajność i efektywność jest odpowiednia (rys. 21). Początkowo dwie firmy wprowadziły na rynek własne mieszaniny o takim samym składzie, pod nazwami AC9000* (DuPont) i KLEA66* (ICI). W nomenklaturze ASHRAE otrzymały one oznaczenie R407C. Później pojawiły się jeszcze kolejne propozycje mieszanin (np. R407A / R407F) różniące się udziałem poszczególnych składników, których własności zostały ukształtowane z myślą o specyficznych zastosowaniach (patrz strona 18).

W odróżnieniu od zamienników czynnika R502, utworzonych z tych samych składników (str. 18 i 19), mieszaniny proponowane jako substytuty R22 zawierają więcej R32 i R134a. Dzięki temu uzyskano wartości ciśnienia roboczego, masowego natężenia przepływu, gęstości pary i jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej na poziomie zbliżonym do własności R22. Przy tym potencjał tworzenia efektu cieplarnianego jest stosunkowo niski (GWP₁₀₀ = 1774), co pozwala spodziewać się korzystnych wartości wskaźnika TEWI.

Pod tym względem mieszanina R407C spełnia wymagania nowego Rozporządzenia w sprawie F-gazów, które po 2020 roku dopuszcza

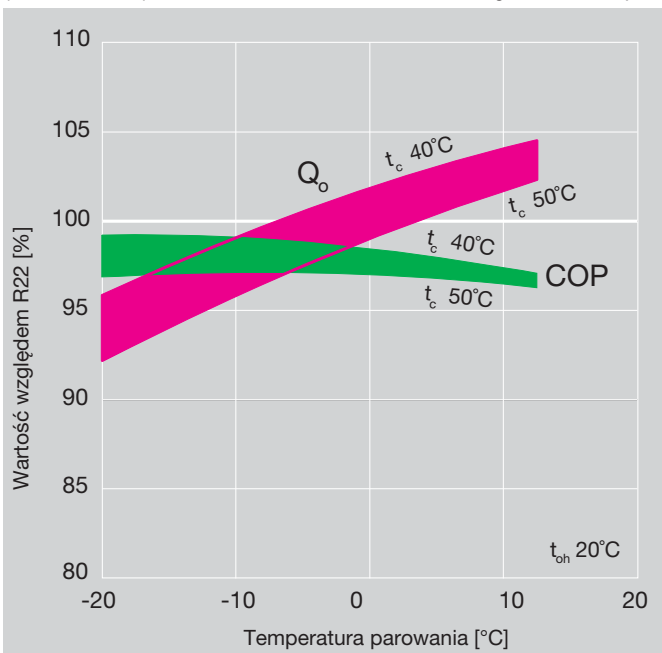
stosowanie tylko czynników chłodniczych o wskaźniku GWP poniżej 2500.

Istotną przeszkodą w stosowaniu R407C jest duży poślizg temperaturowy, który wymaga prawidłowego zaprojektowania układu i może obniżyć efektywność pracy wymienników ciepła (str. 13 i 14).

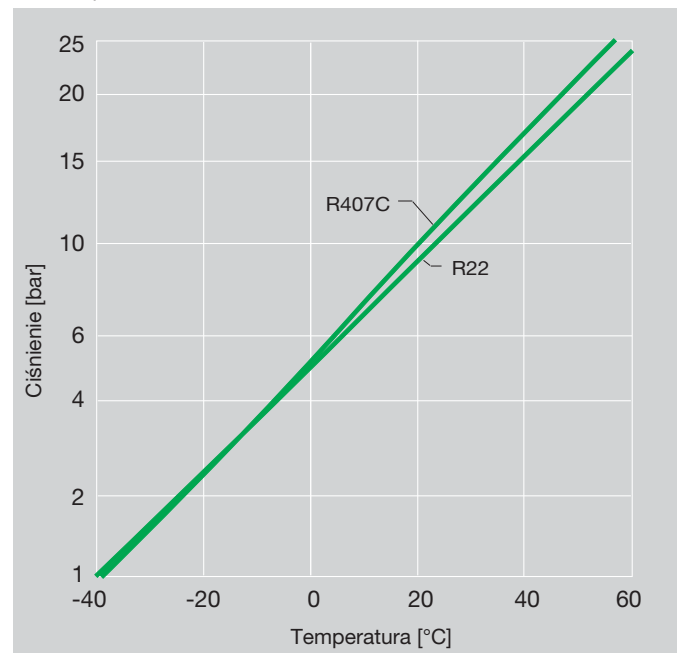
Z powodu swoich własności mieszanina R407C może zastępować R22 głównie w urządzeniach klimatyzacyjnych oraz (z pewnymi ograniczeniami) w średniotemperaturowych układach chłodniczych. W przypadku instalacji niskotemperaturowych, z uwagi na duży udział R134a, należy się spodziewać wyraźnego obniżenia wydajności chłodniczej i współczynnika wydajności chłodniczej. Istnieje także groźba wzrostu stężenia R134a w parowniku, co w konsekwencji może prowadzić do spadku wydajności zaworu rozprężnego, a nawet do jego nieprawidłowego działania (np. przy zbyt małym przegrzaniu pary na ssaniu).

Uwagi w zakresie tolerancji materiałowej i współpracy z olejem są takie same, jak dla opisanych wcześniej mieszanin z grupy HFC.

* Poprzednie nazwy handlowe wyszły z użycia.



Rys. 21. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) czynników R407C i R22 w instalacji z półhermetycznym agregatem sprężarkowym, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)



Rys. 22. Porównanie parametrów nasycenia czynników R407C i R22

Wymagania techniczne

Doświadczenie w zakresie budowy układów chłodniczych z czynnikiem R22 można tylko częściowo wykorzystać w odniesieniu do mieszaniny R407C. Duży poślizg temperaturowy wymaga specjalnych rozwiązań głównych elementów instalacji chłodniczej, takich jak np. parownik, skraplacz, zawór rozprężny. W tym kontekście należy zaznaczyć, że wymienniki ciepła powinny pracować raczej w układzie przeciwwądowym, przy zoptymalizowanym zasilaniu czynnikiem chłodniczym. Specjalne wymagania dotyczą również regulacji elementów automatyki oraz posługiwania się mieszaniną zeotropową podczas prac serwisowych.

Co więcej, nie zaleca się korzystania z R407C w układach z parownikiem zalany, z uwagi na niebezpieczeństwo zróżnicowania składu w poszczególnych częściach instalacji i rozwarstwiania się mieszaniny w parowniku.

Firma BITZER oferuje do pracy z czynnikiem R407C półtermetyczne sprężarki tłokowe, śrubowe i spiralne – wraz z odpowiednim olejem smarowym.

Przeobrażanie układów z R22

Z przytoczonych wyżej względów, nie można sformułować zaleceń o charakterze ogólnym. Każdy przypadek wymaga indywidualnej analizy.

R410A jako zamiennik R22

Obok czynnika R407C na rynku dostępna jest „blisko-azeotropowa” mieszanina oznaczona przez ASHRAE jako R410A. Znalazła ona obecnie szerokie zastosowanie, głównie w urządzeniach klimatyzacyjnych.

Istotną jego cechą jest wyższa o prawie 50% w porównaniu z R22 wydajność chłodnicza (rys. 23/1), uzyskana jednak kosztem proporcjonalnego wzrostu ciśnienia w układzie (rys. 23/2).

Analiza własności termodynamicznych obu czynników prowadzi do wniosku, że w warunkach wysokiej temperatury skraplania, mieszanina R410A wypada gorzej od R22 pod względem zużycia energii i współczynnika wydajności chłodniczej. Z drugiej strony, wysoka sprawność izentropowa uzyskiwana przez R410A w sprężarkach tłokowych i spiralnych sprawia, że w praktyce te różnice są mniejsze.

Do zalet R410A należy zaliczyć wysokie współczynniki przejmowania ciepła w parownikach i skraplaczach, udowodnione eksperymentalnie i stwarzające korzystne warunki pracy wymienników. W zoptymalizowanym układzie napełnionym R410A możliwe jest nawet osiągnięcie lepszej efektywności niż z innymi czynnikami chłodniczymi.

Wobec znikomego poślizgu temperaturowego (poniżej 0,2 K) zachowanie się tej mieszaniny

w układzie i podczas prac serwisowych można uznać za zbliżone do jednorodnych czynników chłodniczych.

Tolerancja materiałowa i współpraca z olejami są porównywalne do opisanych poprzednio mieszanin z grupy HFC. Trzeba jednak brać pod uwagę wyższe ciśnienia robocze R410A i co za tym idzie, większe obciążenie elementów instalacji chłodniczej.

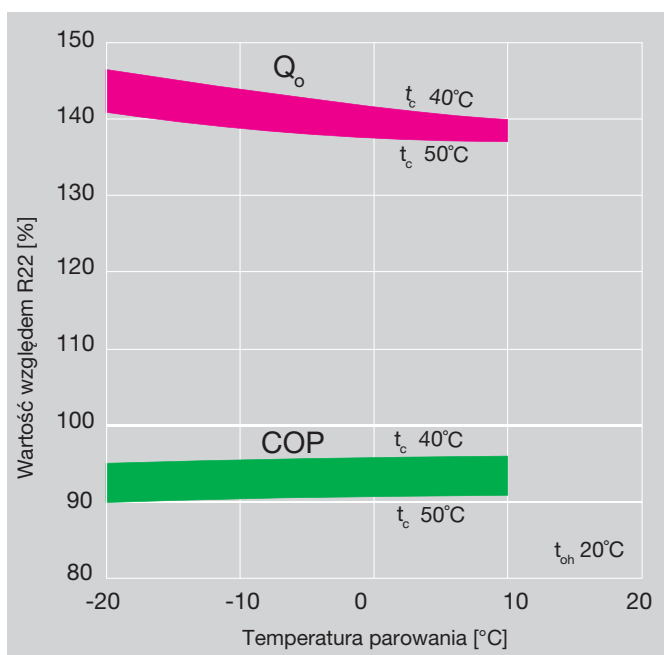
Wymagania techniczne

Podstawowe zalecenia dla mieszanin typu HFC odnoszą się także do układów z czynnikiem R410A, przy czym trzeba brać pod uwagę o wiele wyższe ciśnienia robocze w instalacji chłodniczej (temperatura skraplania 43°C odpowiada już ciśnieniu absolutnemu 26 bar).

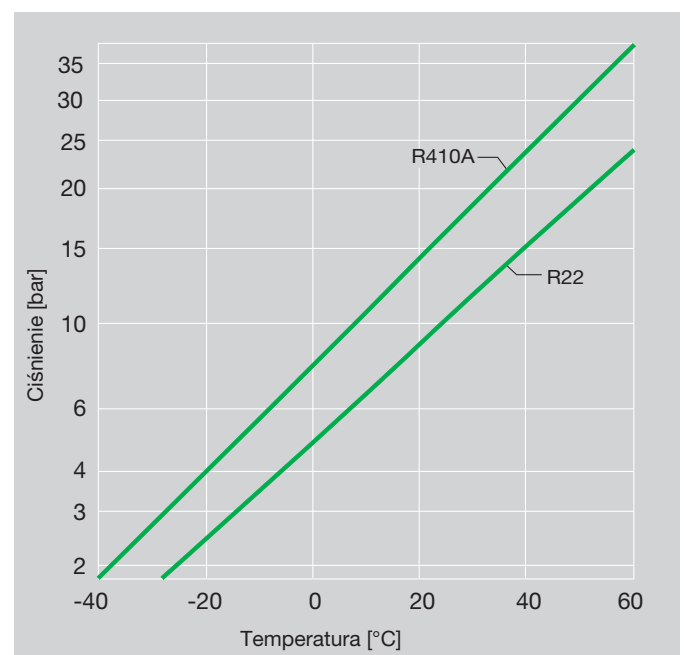
Sprężarki i inne elementy instalacji chłodniczych przeznaczone dla czynnika R22 nie nadają się do pracy z R410A, bądź mają istotnie ograniczony zakres zastosowania.

W międzyczasie dostępne stały się odpowiednie sprężarki i pozostałe podzespoły układów chłodniczych.

Jeśli rozważa się wykorzystanie mieszaniny R410A w całym typowym zakresie stosowania R22, trzeba uwzględnić wyraźnie różne własności termodynamiczne obu czynników (np. ciśnienia robocze, masowe i objętościowe natężenie przepływu, gęstość pary).



Rys. 23/1 Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) czynników R410A i R22 w instalacji ze sprężarką półtermetyczną, w zależności od temperatury parowania i temperatury skraplania (t_c)



Rys. 23/2 Porównanie parametrów nasyceń czynników R410A i R22

Wymuszają one poważne zmiany konstrukcyjne w sprężarkach, w wymiennikach ciepła, w elementach automatyki chłodniczej oraz wymagają pomiarów w celu wytłumienia drgań. W dodatku rosną wymogi bezpieczeństwa dotyczące jakości oraz wymiarów rurociągów i przewodów elastycznych (40 bar przy temperaturze skraplania 60°C).

Inną kwestię stanowi stosunkowo niska temperatura krytyczna czynnika R410A wynosząca 73°C. Temperatura skraplania jest zatem ograniczona, niezależnie od konstrukcji elementów układu.

Firma BITZER oferuje typoszereg póltermicznych sprężarek tłokowych oraz sprężarek spiralnych przeznaczonych do pracy z czynnikiem R410A.

R417A/R417B/R422D/R438A jako zamienniki R22

Podobnie jak w przypadku mieszaniny R422A (str. 19), jednym z powodów opracowania tych czynników było dążenie do otrzymania bezchłorowego czynnika (ODP = 0), umożliwiającego łatwe zastąpienie R22 w istniejących urządzeniach chłodniczych.

R417A wprowadzono na rynek kilka lat temu pod nazwą handlową ISCEON MO59 (produkt firmy DuPont). Ten zamiennik czynnika R22 składa się z R125, R134a i R600 i pod tym względem różni się znacznie np. od mieszaniny R407C zawierającej dużą ilość R32.

Tymczasem pojawił się kolejny czynnik pod nazwą handlową SOLKANE 22L (producent Solvay), oparty na identycznych składnikach, ale o wyższej zawartości R125 i oznaczony wg ASHRAE jako R417B. Z powodu niewielkiej zawartości R134a, jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa i ciśnienie nasycenia tego czynnika przyjmują wartości wyższe niż dla R417A. Fakt ten skutkuje różnicami w efektywności i w parametrach pracy obiegu.

To samo odnosi się do kolejnej mieszaniny opartej na tych samych głównych składnikach, ale posiadającej domieszkę R600a. Jest oferowana pod nazwą handlową ISCEON MO29 (producent DuPont) i oznaczona jako R422D w kodzie ASHRAE.

W 2009 roku został wprowadzony czynnik o nazwie handlowej ISCEON MO99 (producent DuPont), również należący do kategorii mieszanin typu HFC/HC i oznaczony jako R438A w kodzie ASHRAE. Czynnik ten został przeznaczony do układów o wyższych temperaturach krytycznych w obiegu chłodniczym, mających

zastosowanie na obszarach o gorącym klimacie. Jego podstawowe składniki to: R32, R125, R34a, R600 i R601a.

Podobnie jak R407C, wszystkie cztery zamienniki są mieszaninami zeotropowymi, charakteryzującymi się mniej lub bardziej znaczącym poślizgiem temperaturowym. Zatem korzystanie z nich podlega takim samym uwarunkowaniom, jak w przypadku R407C.

Pomimo zbliżonej wydajności chłodniczej, mieszaniny te różnią się bardzo pod względem własności termodynamicznych i warunków transportu oleju. Duży udział R125 w mieszaninach R417A/B i w R422D skutkuje większym niż dla R407C masowym natężeniem przepływu, niższą temperaturą tłoczenia i stosunkowo wysokim ciepłem przegrzania. Różnice te sugerują inne kierunki optymalizacji elementów układu, wskazują też na zasadność wykorzystania regeneracyjnego wymiennika ciepła.

Chociaż w mieszaninach tych dominują składniki typu HFC, to mogą one do pewnego stopnia współpracować z tradycyjnymi olejami mineralnymi, gdyż dodatek węgłowodoru polepsza rozpuszczalność tych substancji. W przypadku krążenia dużej ilości środka smarnego w instalacji lub dużej ilości cieczy w zbiorniku istnieje jednak groźba zalegania oleju w elementach układu.

Należy wtedy poczynić odpowiednie zabiegi, jak te opisane w rozdziale „R422A jako zamiennik R502 i R22” (str. 19).

Sprężarki firmy BITZER nadają się do pracy z opisanymi czynnikami. Na życzenie możliwy jest dobór sprężarki do konkretnego zastosowania.

R427A jako zamiennik R22

Ten czynnik chłodniczy pojawił się na rynku kilka lat temu pod nazwą handlową Forane FX100 (produkt firmy Arkema). W nomenklaturze ASHRAE uzyskał symbol R427A.

Jest on proponowany tam, gdzie zachodzi potrzeba wymiany R22 w istniejącym układzie na czynnik o zerowym wskaźniku ODP. Mieszaninę R427A tworzą cztery składniki: R32, R125, R143a i R134a.

Mimo, że wszystkie składniki mieszaniny należą do grupy HFC, producent podkreśla, iż procedura wymiany czynnika nie jest skomplikowana, z uwagi na pozytywny wpływ udziału R143a.

Zastępując R22 czynnikiem R427A wystarczy jedynie wymienić olej mineralny na poliestrowy.

Nie jest konieczne wielokrotne płukanie instalacji, gdyż obecność do 15% mineralnego lub alkilobenzenowego środka smarnego w oleju poliestrowym nie wpływa istotnie na warunki powrotu oleju do sprężarki.

Trzeba jednak pamiętać, że mieszanina substancji typu HFC i oleju poliestrowego jest bardzo polarna i może łatwo wypłukiwać z instalacji różnorodne osady. Dlatego w przewodzie ssawnym wymaga się instalowania wydajnych filtrów.

Jeśli chodzi o takie parametry R427A jak wydajność chłodnicza, ciśnienie robocze, masowe natężenie przepływu i gęstość pary, to są one zbliżone do R22. Podczas konwersji układu podstawowe elementy, jak zawory rozprężne nie muszą być wymieniane.

Ze względu na duży udział w mieszaninie składników o niskim wykładniku adiabaty, temperatura na tłoczeniu jest zdecydowanie niższa niż przy R22, co stanowi zaletę przy wysokim stopniu sprężania.

Należy pamiętać, że to również jest mieszanina zeotropowa ze znacznym poślizgiem temperaturowym. W związku z tym kryteria opisane w kontekście R407C są obowiązujące również tutaj.

Na życzenie możliwy jest dobór sprężarki firmy BITZER do konkretnego zastosowania z czynnikiem R427A.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania mieszanin typu HFC

(patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-651 „Przeobrażanie układów chłodniczych z R22 na alternatywne czynniki chłodnicze”

R32 jako zamiennik R22

Jak opisano wcześniej R32 należy do grupy czynników HFC, ale aktualnie jest stosowany jako składnik mieszanin. Obecnie istotną przeszkodą w stosowaniu R32 w czystej postaci jest jego palność. Pod względem bezpieczeństwa zaklasyfikowano go do grupy A2. Wymaga to napełnienia określoną ilością czynnika poniżej dopuszczalnego limitu i/lub dodatkowych środków bezpieczeństwa, zwłaszcza w instalacjach wewnątrz budynku. Dodatkowo charakteryzuje się bardzo wysokimi ciśnieniami roboczymi i temperaturami na tłoczeniu (wskaźnik sprężania wyższy niż w przypadku R22 i R410A).

Z drugiej strony R32 ma korzystne właściwości termodynamiczne np. bardzo wysokie ciepło parowania i dużą objętościową wydajność chłodniczą (mały spadek ciśnienia w instalacji), małe masowe natężenie przepływu i korzystny pobór mocy sprężarki. Poza tym jego zaletą jest niski wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego ($GWP_{100} = 675$).

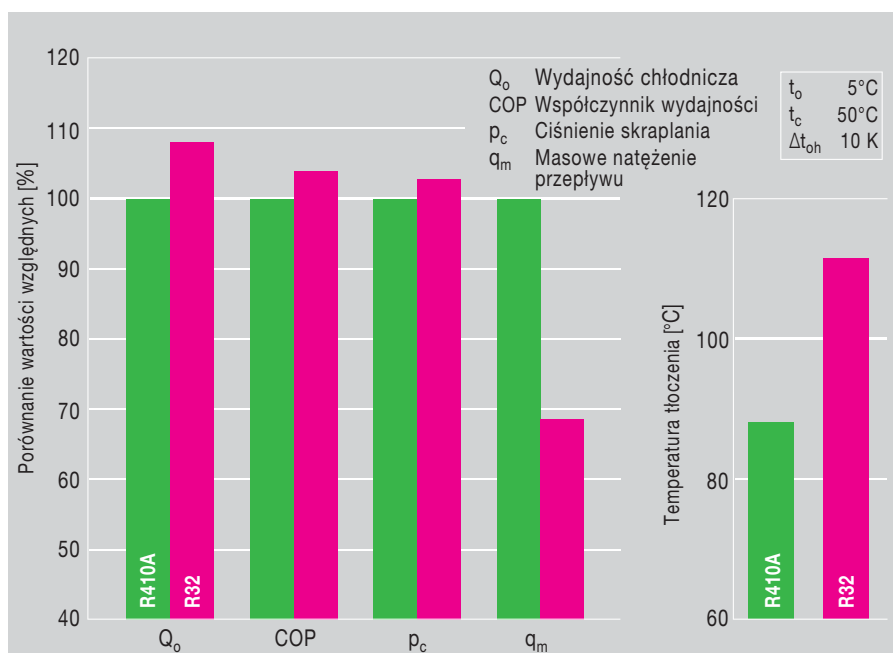
Analizując powyższe korzystne właściwości oraz biorąc pod uwagę dodatkowe dążenie do redukcji emisji, będzie coraz częściej stosowany jako czynnik chłodniczy w nowo produkowanych układach (w klimatyzatorach i pompach ciepła) o niewielkim napełnieniu czynnikiem. Wymagania odnośnie bezpieczeństwa (wg normy EN 378) są dla R32

takie same jak dla całej grupy A2, chociaż wykazano na podstawie badań w zakresie palności, że konieczna jest bardzo duża energia inicjacji zapłonu, a prędkość rozprzestrzeniania się płomienia jest niska.

Z powodu tych cech R32 – podobnie jak R1234yf i R1234ze(E) – został zaliczony do nowej grupy bezpieczeństwa A2L według normy ISO 817.

Aktualnie nie jest jasne do jakiego stopnia wymogi bezpieczeństwa odnośnie czynników A2L (w odróżnieniu od A2) mogą zostać złagodzone w przyszłości. Wymaga to przeprowadzenia indywidualnych testów i analiz zagrożeń.

Na potrzeby prób laboratoryjnych z czynnikiem R32 firma BITZER może dostarczyć sprężarki spiralne serii GSD6/GSD8. Na życzenie dostępne są specjalne wykonania.



Rys. 24 Porównanie wydajności chłodniczej i parametrów pracy R410A i R32 pracujących w układzie ze sprężarką spiralną.

Mieszanki HFO/HFC jako zamienniki za HFC

Wobec decyzji o stosowaniu czynnika R1234yf o niskim wskaźniku GWP w klimatyzacji samochodowej (patrz strony 11/12), w międzyczasie rozpoczęto również opracowywanie alternatywnych zamienników do innych zastosowań mobilnych oraz do układów stacjonarnych.

Podstawowym celem jest opracowanie mieszanin o znacznie obniżonym potencjale GWP, przy zachowaniu podobnych właściwości termodynamicznych jak w przypadku powszechnie dzisiaj stosowanych czynników HFC.

Podstawowymi składnikami są substancje R1234yf oraz R1234ze(E), należące do grupy fluoro-olefin o podwójnym wiązaniu węglowym. Ich preferencja wynika z korzystnego zestawu właściwości. Oba czynniki są jednak palne (grupa bezpieczeństwa A2L), a jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa jest niska. Dla R1234yf kształtuje się w przybliżeniu na tym samym poziomie, jak dla R134a, zaś w przypadku R1234ze(E) jest nawet o ponad 20% niższa.

Lista potencjalnych czynników chłodniczych z grupy HFO jest całkiem długa. Wszakże tylko kilka substancji posiada satysfakcjonujące własności termodynamiczne w połączeniu z niską palnością i toksycznością oraz dobrą stabilnością chemiczną i tolerancją wobec materiałów i olejów chłodniczych. W grę wchodzi przykładowo niskociśnieniowe czynniki w rodzaju R1336mzzZ (oznaczonego przez firmę DuPont jako DR-2), czy R1233zd(E). Są one jednak zasadniczo przeznaczone dla agregatów do chłodzenia wody wyposażonych w sprężarki odśrodkowe, a w sprężarkach tłokowych mogą pracować tylko w zakresie wysokich temperatur parowania. Ponadto czynnik R1233zd(E) charakteryzuje się nieznanym, ale większym od zera potencjałem niszczenia warstwy ozonowej (ODP), co może prowadzić do ograniczeń prawnych w jego stosowaniu.

Z drugiej strony, dla handlowych urządzeń chłodniczych nie są dostępne substancje z grupy HFO o większej wydajności objętościowej, porównywalnej z własnościami R22/R407C, R404A/R507A i R410A. Alternatywnych czynników chłodniczych o niskim wskaźniku GWP należy więc poszukiwać pośród mieszanin substancji R1234yf i/lub R1234ze(E) z czynnikami HFC, być może z niewielkim dodatkiem węglowodorów.

Wchodzące tu w grę substancje HFC charakteryzują się jednak wyraźną współzależnością palności i potencjału tworzenia efektu cieplarnianego. Innymi słowy, mieszanki alternatywne wobec R22/R407C o wskaźniku GWP poniżej 900÷1000 są palne. Identyczna sytuacja ma miejsce w odniesieniu do zamienników R404A/R507A i R410A o wskaźniku GWP poniżej 1300÷1400. Dzieje się tak, gdyż wszystkie wymagane niepalne składniki tych mieszanin posiadają wysoki potencjał GWP. Nieco korzystniejszą rzeczą ma się w zakresie zamienników R134a. Czynnik ten odznacza się stosunkowo niskim wskaźnikiem GWP, co w kombinacji z płynami R1234yf i/lub R1234ze(E) daje możliwość tworzenia niepalnych mieszanin o potencjale GWP w granicach 600.

Aktualnie istnieją dwa kierunki rozwoju:

- ❑ Niepalne zamienniki czynników HFC (mieszanki) z potencjałem GWP na poziomie podanym wyżej, mieszczące się w grupie bezpieczeństwa A1. Zgodnie z wymaganiami w zakresie bezpieczeństwa czynniki te mogą być wykorzystywane w taki sam sposób, jak obecnie stosowane substancje HFC.
- ❑ Palne zamienniki HFC (mieszanki) z GWP poniżej podanych wyżej wartości, zaliczane do grupy bezpieczeństwa A2L – czynników chłodniczych o niskiej palności
Zobacz również objaśnienia na stronie 11.

Te czynniki chłodnicze podlegają wobec tego ograniczeniom wagi napełnienia zgodnie z obecnymi wymogami odnośnie czynników z grupy bezpieczeństwa A2.

To, do jakiego stopnia mogą zostać złagodzone wymogi bezpieczeństwa odnośnie czynników z grupy A2L (w porównaniu do A2), może wynikać jedynie z analizy zagrożeń w poszczególnych przypadkach.

Niepalne zamienniki R134a

Jak wspomniano, najkorzystniejsze warunki istnieją dla opracowania niepalnych mieszanin, będących zamiennikami czynnika R134a.

Możliwe jest osiągnięcie wskaźnika GWP na poziomie około 600, co stanowi mniej niż połowę wartości potencjału GWP dla R134a ($GWP_{100} = 1430$). W dodatku, wiele tego typu mieszanin jest azeotropami i dlatego mogą być stosowane podobnie jak jednorodne czynniki chłodnicze.

Od pewnego czasu na szeroką skalę w warunkach rzeczywistych testuje się mieszaninę o nazwie Opteon® XP-10, opracowaną przez firmę DuPont. Uzyskane do tej pory wyniki są obiecujące.

Dotyczy to też oferowanego przez firmę Honeywell zamiennika R134a o nazwie Solstice N-13, który wszakże różni się pod względem składu mieszaniny.

Oba czynniki objęto już klasyfikacją ASHRAE jako R513A (produkt firmy Du Pont) oraz R450A (Honeywell).

Ostatnio do tej grupy dołączyły mieszanki ARM-42 (z firmy ARKEMA) i AC5X (oferowana przez Mexichem).

Przywołane czynniki są podobne do R134a pod względem wydajności chłodniczej, poboru mocy i ciśnienia roboczego. Zatem poszczególne podzespoły oraz technologia wykonania układu mogą pozostać podobne jak dla R134a. Konieczne są zaledwie drobne zmiany takie jak np. wyregulowanie nastaw przegrzania w zaworach termostatycznych.

Odpowiednimi olejami są oleje poliestrowe spełniające specjalne wymagania np. odnośnie stosowania dodatków.

Bardzo interesujące perspektywy pojawiają się przy zastosowaniu tych czynników w supermarketach w średnim zakresie temperatur w połączeniu w kaskadę z układem niskotemperaturowym CO₂ oraz w agregatach do chłodzenia cieczy, z większym napełnieniem czynnikiem, gdzie zastosowanie palnych lub toksycznych czynników wymagałoby kompleksowych środków bezpieczeństwa.

Zamienniki za R22/R407C, R404A/R507A i R410A

Ponieważ dostępne związki chemiczne typu HFO – R1234yf i R1234ze(E) wykazują znacznie mniejszą objętościową wydajność chłodniczą w porównaniu z wyżej wymienionymi czynnikami chłodniczymi HFC, to w składzie poszczególnych zamienników muszą się znaleźć odpowiednio duże ilości substancji HFC o dużej objętościowej wydajności chłodniczej. Potencjalna lista kandydatów jest raczej ograniczona. Jedną z opcji jest R32 o stosunkowo niskim GWP. Negatywną cechą jest wszakże jego palność (A2L), która powoduje, że palne stają się też mieszanki z dużym udziałem R32 podwyższającą objętościową wydajność chłodniczą przy utrzymaniu niskiego potencjału GWP.

Dotychczasowe czynniki HFC	Zamienniki		Składniki alternatywnych mieszanin o niskim wskaźniku GWP							
	Grupa bezpieczeństwa ↓	GWP ↓	R1234yf A2L GWP 4	R1234ze(E) A2L 7	R32 A2L 675	R152a A2 124	R134a A1 1430	R125 A1 3500	CO ₂ ^② A1 1	R290 ^② A3 3
R134a (GWP 1430)	A1 A2L A2L	~ 600 < 150 < 10	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓			
R404A/R507A (GWP 3922/3985)	A1 A1 A2L A2L ^③ A2	< 2500 ^① < 1400 < 250 < 150 < 150	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓		✓ ✓ ✓
R22/R407C (GWP 1810/1774)	A1 A2L A2L ^③ A2	900..1400 < 250 < 150 < 150	✓ ✓ ✓ ✓	✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓	✓	✓		✓
R410A (GWP 2088)	A2L A2L	< 750 < 500	✓	✓	✓ ✓				✓	

① Wydajność chłodnicza, masowe natężenie przepływu i temperatura tłoczenia zbliżone jak dla R404A

② Tylko niewielki udział – z uwagi na poślizg temperatury (CO₂), bądź palność (R290)

③ Znacznie niższa wydajność chłodnicza niż w przypadku zastępowanego czynnika

Rys. 25/1 Potencjalne składniki alternatywnych mieszanin o niskim wskaźniku GWP (przykłady)

Dotychczasowy czynnik HFC	Zamienniki czynników HFC o niskim potencjale GWP ^③					
	Oznaczenie ASHRAE	Nazwa handlowa	Producent	Skład mieszanin	GWP (AR4) ^④	Grupa bezpieczeństwa
R134a (GWP 1430) ^①	R513A	Opteon [®] XP10	DuPont	R1234yf/134a	631	A1
	R450A	Solstice N-13	Honeywell	R1234ze(E)/134a	601	A1
	-	AC5X	Mexichem	R32/1234ze(E)/134a	620	A1
	R1234yf	różne	-	-	4	A2L
	R1234ze(E)^②	różne	-	-	7	A2L
-	ARM-42	Arkema	R1234yf/152a/134a	< 150	A2L	
R404A/R507A (GWP 3922/3985)	R449A	Opteon [®] XP40	DuPont	R32/125/1234yf/134a	1397	A1
	R448A	Solstice N-40	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	1386	A1
	-	ARM-32b	Arkema	nie ujawniono	~ 1400	A1
	-	LTR4X	Mexichem	R32/125/1234ze(E)/134a	1295	A1
	R452A	Opteon [®] XP44	DuPont	R32/125/1234yf	2140	A1
	-	ARM-35	Arkema	nie ujawniono	~ 2150	A1
	-	Opteon [®] XL40	DuPont	R32/1234yf	246	A2L
	-	Solstice L4F	Honeywell	nie ujawniono	145	A2L
-	ARM-20a/20b	Arkema	nie ujawniono	< 150 / ~ 250	A2L	
-	ARM-25	Arkema	nie ujawniono	< 150	A2	
R22/R407C (GWP 1810/1774)	-	DR-91	DuPont	nie ujawniono	949	A1
	-	Solstice N-20	Honeywell	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	975	A1
	-	ARM-32c	Arkema	nie ujawniono	~ 1350	A1
	-	DR-3	DuPont	R32/1234yf	148	A2L
-	R444B	Solstice L-20	Honeywell	R32/152a/1234ze(E)	294	A2L
R410A (GWP 2088)	R32	różne	-	-	675	A2L
	-	Opteon [®] XL41	DuPont	R32/1234yf	466	A2L
	R447A	Solstice L-41	Honeywell	R32/125/1234ze(E)	582	A2L
	-	ARM-71a	Arkema	nie ujawniono	< 500	A2L
-	HPR1D	Mexichem	R32/R1234ze(E)/CO ₂	407	A2L	

① Stosunkowo niski wskaźnik GWP pozwala wykorzystywać czynnik R134a przez dłuższy czas

② Znacznie niższa wydajność chłodnicza niż dla zastępowanego czynnika

③ Wiele wymienionych w tabeli czynników znajduje się w fazie rozwojowej. Mogą więc nastąpić pewne zmiany składu i nazwy handlowej

④ AR4 zgodnie z IPCC IV

Rys. 25/2 Zamienniki czynników HFC o niskim potencjale GWP

Z drugiej strony, opracowując niepalną mieszaninę należy zapewnić dosyć duży udział związków o wysokiej zawartości fluoru (np. R125), co przeciwdziała palności. Wadą tych substancji jest stosunkowo wysoki wskaźnik GWP. Stąd niepalne zamienniki za R22 i R407C posiadają potencjał GWP powyżej 900, zaś mieszaniny alternatywne wobec R404A i R507A – powyżej 1300. W tym ostatnim przypadku oznacza to wszakże trzykrotne zmniejszenie wskaźnika GWP.

Mające nastąpić w niedalekiej przyszłości drastyczne ograniczenie stosowania F-gazów, wynikające choćby z zapisów Rozporządzenia unijnego, już dziś powoduje zapotrzebowanie na zamienniki czynników R404A i R507A o wskaźniku GWP zdecydowanie poniżej 500. Choć takie płyny da się opracować (mieszając duże ilości substancji HFO ze związkiem R152a i być może również z węglowodorami), to ich nieodłączną wadą będzie palność (grupy bezpieczeństwa A2L lub A2) skutkująca ostrzejszymi wymogami bezpieczeństwa użytkownika i potrzebą odpowiedniego dostosowania technologii budowy układów chłodniczych.

Dotychczas na horyzoncie nie pojawił się niepalny zamiennik czynnika R410A. Można by tu wykorzystać czysty czynnik R32 (patrz strona 23), albo jego mieszaniny ze związkami typu HFO. W celu uzyskania niezbędnej objętościowej wydajności chłodniczej konieczna byłaby w czynniku duża zawartość R32, co oznacza uzyskanie wskaźnika GWP w granicach od około 400 do 600. Wartości te można jeszcze obniżyć dzięki większemu udziałowi substancji HFO, lecz tylko kosztem wyraźnego pogorszenia wydajności chłodniczej.

Wszystkie opisane powyżej zamienniki wykazują mniej lub bardziej wyraźny poślizg temperaturowy, ze względu na istotne różnice temperatury wrzenia poszczególnych składników. Odnoszą się do nich te same uwagi, które opisano w kontekście R407C.

Poza tym, temperatura tłoczenia zamienników R404A/R507A jest niejednokrotnie wyższa niż mieszanin HFC.

W jednostopniowych niskotemperaturowych układach chłodniczych może to ograniczyć zakres stosowania poszczególnych sprężarek, bądź wymagać odpowiednich układów chłodzenia sprężarki.

W układach mobilnych i w niskotemperaturowych urządzeniach z mniejszymi agregatami skraplającymi może się często zdarzać, że ze względu na wysoką temperaturę tłoczenia parametry pracy wykraczają poza zakres zastosowania sprężarki. Z tego powodu opracowuje się mieszaniny czynników HFO i R32 ze stosunkowo dużym udziałem R125. Wskaźnik GWP przekracza nieco 2000, ale mieści się w granicy 2500 ustanowionej przez Rozporządzenie o F-gazach dla czynników wprowadzanych na rynek po 2020 roku. Zasadniczą zaletą tych mieszanin jest niewysoka temperatura tłoczenia, umożliwiającą pracę w typowym zakresie stosowania czynnika R404A.

Na rysunku 25/1 zestawiono możliwe składniki mieszanin, które mogą pełnić rolę opisanych powyżej zamienników. W niektórych przypadkach mieszaniny alternatywne wobec R22/R407C i R404A/R507A mają te same składniki, ale różnią się ich udziałami.

W międzyczasie firmy DuPont, Honeywell, Arkema i Mexichem opracowały warianty mieszanin, które aktualnie są testowane w laboratoriach, a niektóre już nawet w rzeczywistych układach chłodniczych. Istnieją ponadto czynniki znajdujące się w fazie rozwojowej, z różnych względów jeszcze niedostępne na rynku. Nowe mieszaniny HFO/HFC występują najczęściej pod nazwami handlowymi, chociaż niektóre z nich objęto już klasyfikacją ASHRAE.

Tabela na ilustracji 25/2 podaje spis czynników chłodniczych już obecnie dostępnych oraz znajdujących się w fazie rozwoju. Wymieniono składniki niektórych mieszanin. Z uwagi na dużą liczbę różnych konfiguracji i możliwe zmiany składu rozwijanych mieszanin, firma BITZER przebadła dotąd tylko kilka nowych czynników chłodniczych. Dlatego w tabelach na stronach 38 i 39 (rys. 33 i 34) znalazły się obecnie własności tylko tych niepalnych zamienników R134a i R404A/R507A (GWP poniżej 1500), które otrzymały już standardowe oznaczenie ASHRAE.

W celu oceny czynników o niskim potencjale GWP amerykańska organizacja AHRI uruchomiła Program Badań Alternatywnych Czynniki Chłodniczych AREP. W jego ramach ma zostać przetestowany szereg

substancji, w tym bezfluorowych. Niektóre z nich również zamieszczono w tabeli na ilustracji 25/2. Ukończono już pierwszą fazę programu i rozpoczęto dalsze badania, uwzględniające między innymi specjalne zastosowania czynników chłodniczych.

Z punktu widzenia producenta sprężarek chłodniczych, celem badań powinno być też zawężenie różnorodności pojawiających się aktualnie substancji do zestawu kilku „standardowych” czynników chłodniczych. Producentom urządzeń chłodniczych i ich podzespołów oraz serwisantom i monterom trudno by było poradzić sobie ze zbyt szeroką gamą zamienników.

Firma BITZER mocno angażuje się w projekty badań mieszanin HFO/HFC i zdobyła już ogromną wiedzę w zakresie stosowania tych czynników. Do testów w laboratoriach i w rzeczywistych układach nadają się półhermetyczne sprężarki tłokowe typoszeregu ECOLINE oraz sprężarki śrubowe CS i HS. Do laboratoryjnych badań czynnika R32 i mieszanin R32/HFO przeznaczono sprężarki spiralne serii GSD6/GSD8.

Na życzenie możliwy jest dobór sprężarki do danego zastosowania.

Więcej informacji można znaleźć w 6 rozdziale broszury A-510 oraz w broszurze Nr 378 20 386.

NH₃ (amoniak) jako alternatywny czynnik chłodniczy

Od ponad stu lat amoniak znajduje zastosowanie jako czynnik chłodniczy w przemysłowych i innych większych instalacjach chłodniczych. Ma zerowy potencjał niszczenia warstwy ozonowej i zerowy bezpośredni wpływ na powiększanie efektu cieplarnianego. W porównaniu z czynnikiem R22 pozwala uzyskać podobną, a niekiedy nawet wyższą efektywność pracy układu, dzięki czemu pośredni wpływ na wzrost efektu cieplarnianego również jest niewielki. W dodatku, jest bez porównania tańszy. Czy jest to zatem idealny czynnik chłodniczy i optymalny zamiennik R22, konkurencyjny wobec substancji z grupy HFC? NH₃ rzeczywiście ma wiele bardzo korzystnych właściwości, które jednak można wykorzystać przede wszystkim w dużych instalacjach chłodniczych.

Amoniak ma niestety także wady, ograniczające jego szersze wykorzystanie w urządzeniach handlowych, bądź wymuszające stosowanie kosztownych i niekiedy nowatorskich rozwiązań technicznych.

Niekorzystną cechą NH₃ jest duży wykładnik izentropii (1,31 w porównaniu z 1,19 dla R22 i 1,1 dla R12), przez co temperatura tłoczenia w układach amoniakalnych znacznie przewyższa wartości osiągane z R22. Dlatego wykorzystanie amoniaku w obiegach jednostopniowych o temperaturze parowania poniżej -10°C napotyka na pewne ograniczenia.

Nie rozwiązano jeszcze w zadowalający sposób kwestii odpowiedniego oleju smarnego dla niektórych małych urządzeń amoniakalnych. Używane tradycyjnie do pracy z amoniakiem oleje mineralne nie są w nim rozpuszczalne i wymagają skomplikowanych aparatów do oddzielania ich od czynnika. W wyniku zalegania oleju w parownikach zasilanych ciśnieniowo może dochodzić do znacznego pogorszenia warunków wymiany ciepła. Wysoka temperatura tłoczenia nakłada dodatkowe wymagania co do stabilności termicznej olejów. Ma to szczególne znaczenie w układach pracujących automatycznie, w których olej powinien pozostawać w obiegu przez wiele lat, nie tracąc swych właściwości.

Amoniak wyróżnia się niezwykle wysokim ciepłem parowania, a co za tym idzie małym masowym natężeniem przepływu (ok. 13% do 15% wartości dla R22). Cecha ta, bardzo korzystna w dużych instalacjach chłodniczych, przysparza trudności w regulacji przepływu amoniaku w urządzeniach o małej wydajności.

Innym problemem jest agresywność amoniaku wobec miedzi i jej stopów. Rurociągi muszą być w tym przypadku wykonane ze stali. W sprężarkach hermetycznych i półhermetycznych problemem jest odporność uzwojeń silnika na działanie amoniaku oraz stosunkowo wysoka przewodność elektryczna zawilgoczonego czynnika.

Dodatkowo zagrożeniem jest toksyczność i palność amoniaku. Właściwości te wymagają stosowania specjalnych środków bezpieczeństwa w konstrukcji urządzenia i podczas jego eksploatacji.

Wymogi projektowe i konstrukcyjne

Przemysłowe amoniakalne instalacje chłodnicze wymagają zupełnie innych rozwiązań technicznych, niż stosowane zazwyczaj w urządzeniach handlowych.

Z powodu szczególnych właściwości NH₃ i jego nierozpuszczalności z olejem mineralnym, układy amoniakalne wyposaża się w wysokosprawne odolejące oraz w parowniki zalane, zasilane pompowo lub grawitacyjnie. Ze względu na bezpieczeństwo ludzi i towaru, parownika często nie można zainstalować w bezpośrednim kontakcie ze środowiskiem chłodzonym. Stosuje się wtedy pośredni obieg nośnika ciepła.

Wobec groźby nadmiernej temperatury tłoczenia, już przy średnim sprężu należy stosować dwustopniowe sprężanie amoniaku lub instalować sprężarki śrubowe z wydajnymi chłodnicami oleju.

Przewody czynnika chłodniczego, wymienniki ciepła i elementy armatury muszą być wykonane ze stali. Rurociągi o większych średnicach podlegają dozorowi technicznemu.

W zależności od wydajności urządzenia i ilości amoniaku w instalacji wymaga się odpowiednich środków zabezpieczających, a także wydzielonej maszynowni chłodniczej.

Do pracy z NH₃ wykorzystuje się zwykle sprężarki otwarte, z silnikiem w postaci oddzielnego elementu.

Przytoczone wymagania znacznie podwyższają koszt urządzeń amoniakalnych, szczególnie w zakresie średnich i małych wydajności chłodniczych.

W wielu krajach podejmuje się zatem wysiłki zmierzające do opracowania prostszych układów amoniakalnych, nadających się do wykorzystania między innymi w chłodnictwie handlowym.

W ramach tych prac poszukuje się olejów przynajmniej częściowo rozpuszczalnych

w amoniakiem, aby polepszyć warunki powrotu środka smarnego z instalacji. Niezależnie od tego, szuka się prostszych rozwiązań technicznych, które zapewniłyby samoczynny powrót do sprężarki nierozpuszczalnego w amoniaku oleju.

Firma BITZER mocno angażuje się w te projekty i wiele naszych sprężarek pracuje z amoniakiem. Dotychczasowe doświadczenie uczy, że układy z częściowo rozpuszczalnym olejem są trudne w eksploatacji. Obecność wilgoci w układzie ma silny wpływ na stabilność chemiczną wykorzystanych materiałów i na żywotność sprężarki. Ponadto duża ilość czynnika rozpuszczonego w oleju (mokra praca, niedostateczna temperatura oleju) prowadzi do szybkiego zużycia łożysk i innych części ruchomych. Dzieje się tak na skutek dużej zmiany objętości podczas odparowywania NH₃ ze smarowanych miejsc. Wnioski te wyciągnięto z szeroko zakrojonego programu badawczego. Dużą uwagę poświęca się także rozwiązaniom alternatywnym, dotyczącym nierozpuszczalnych środków smarnych.

Oprócz tego, różni producenci wymienników ciepła opracowali specjalne konstrukcje parowników, wymagające znacznie mniejszej ilości czynnika chłodniczego.

W budowie układów amoniakalnych widoczna jest też tendencja do ich zamykania, „hermetyzowania”. W ten sposób konstruuje się agregaty do chłodzenia cieczy (o napełnieniu poniżej 50 kg NH₃), umieszczone w zamkniętej obudowie, często wyposażonej w zbiornik wody mającej pochłoniąć amoniak w razie wycieku.

Tego rodzaju zwarte urządzenia, ze względów bezpieczeństwa, mogą znaleźć zastosowanie w obszarach dotychczas zarezerwowanych dla układów z czynnikiem fluorowanym.

Możliwość wykorzystania zwartych układów chłodniczych z NH_3 – zamiast czynników HFC w urządzeniach zbudowanych według konwencjonalnych reguł – zależy od indywidualnego przypadku. Mając na uwadze względy techniczne można przypuszczać, że liczba takich urządzeń będzie rosła, o ile koszty będą akceptowalne.

Firma BITZER produkuje obecnie wiele sprężarek zoptymalizowanych do pracy z NH_3 i różnymi rodzajami olejów smarnych:

- Jednostopniowe otwarte sprężarki tłokowe (o wydajności skokowej od 19 do 152 m^3/h przy 1450 obr/min) do instalacji klimatyzacyjnych i średniotemperaturowych układów chłodniczych oraz do pracy w układzie Booster.
- Otwarte sprężarki śrubowe (o wydajności skokowej od 84 do 1015 m^3/h , a w przypadku pracy równoległej do 4060 m^3/h – przy 2900 obr/min) do zastosowania w nisko- i średniotemperaturowych układach chłodniczych oraz w instalacjach klimatyzacyjnych. Do zastosowań niskotemperaturowych dostępne są sprężarki;
 - jednostopniowe,
 - z ekonomizerem,
 - pracujące w układzie Booster.

Przezbieranie istniejących układów

Amoniak nie nadaje się do zastępowania czynników typu CFC i HCFC w istniejących instalacjach. Układ chłodniczy trzeba zbudować całkowicie od nowa, z innych elementów.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania NH_3

(patrz też <http://www.bitzer.de>)

- Informacja techniczna KT-640 „Wykorzystanie amoniaku (NH_3) w roli alternatywnego czynnika chłodniczego”

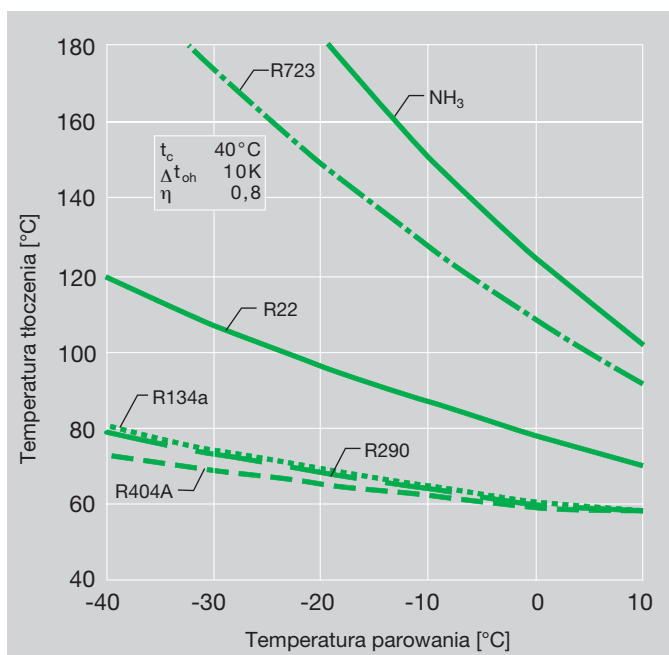
R723 (NH_3/DME) jako alternatywa wobec amoniaku

Opisane powyżej doświadczenia z wykorzystaniem amoniaku w handlowych urządzeniach chłodniczych z parownikami zasilanymi ciśnieniowo dały impuls do dalszych poszukiwań możliwości pracy NH_3 w tego rodzaju układach, dzięki dodaniu do czynnika domieszki polepszającej rozpuszczalność oleju. Za główny cel postawiono poprawę warunków transportu tradycyjnych środków smarnych w instalacji i zintensyfikowanie w ten sposób wymiany ciepła oraz obniżenie temperatury tłoczenia, dla poszerzenia zakresu zastosowania układów jednostopniowych.

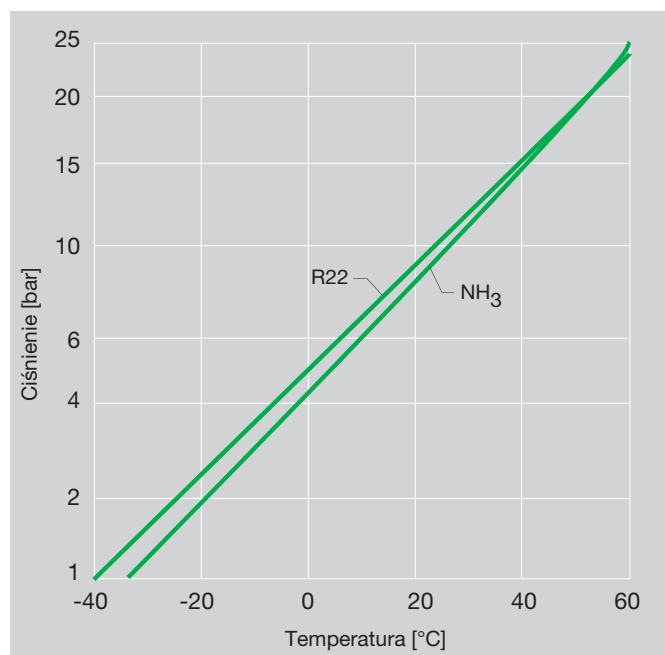
W efekcie tych prac „Institut für Luft- und Kältetechnik” (ILK - Instytut Techniki Wentylacyjnej i Chłodniczej w Dreźnie) opracował mieszaninę amoniaku (60%) i eteru dimetylowego (40%). Czynnik ten testowano już w rzeczywistych układach chłodniczych. Zgodnie z regułami przypisywania oznaczeń czynnikom chłodniczym, ta nieorganiczna mieszanina o masie cząsteczkowej 23 kg/kmol uzyskała symbol R723.

Eter dimetylowy (DME) wybrano ze względu na dobrą rozpuszczalność oleju oraz dużą stabilność. Charakteryzuje się temperaturą parowania na poziomie -26°C , stosunkowo niskim wykładnikiem adiabaty, nietoksycznością oraz dużą czystością dostępną do zastosowań technicznych gazu. W podanych proporcjach NH_3 i DME tworzą mieszaninę azeotropową, o minimalnie wyższym ciśnieniu nasycenia niż dla czystego amoniaku. Normalna temperatura wrzenia R723 wynosi $-36,5^\circ\text{C}$ (wobec $-33,4^\circ\text{C}$ dla NH_3), a temperatura skraplania pod ciśnieniem absolutnym 26 bar równa się $58,2^\circ\text{C}$ (wobec $59,7^\circ\text{C}$ dla NH_3).

W średniotemperaturowych układach chłodniczych i w urządzeniach klimatyzacyjnych temperatura tłoczenia mieszaniny R723 jest o 10 do 25 K niższa niż dla czystego amoniaku (rys. 26/1), co pozwala na rozszerzenie zakresu stosowania tego czynnika w kierunku wyższych sprężów. Obliczenia termodynamiczne pokazują, że w porównaniu z amoniakiem wydajność chłodnicza mieszaniny jest wyższa o kilka procent. Współczynnik wydajności chłodniczej przyjmuje wartości podobne, a w przypadku dużego sprężu nieco wyższe, co potwierdzono eksperymentalnie. Niższa temperatura tłoczenia pozwala oczekiwać wyższych wartości stopnia dostarczenia i sprawności izentropowej, przynajmniej w odniesieniu do sprężarek tłokowych pracujących w warunkach wysokich sprężów.



Rys. 26/1. Porównanie temperatury tłoczenia wybranych czynników chłodniczych w zależności od temperatury parowania



Rys. 26/2. Porównanie parametrów nasycenia amoniaku i czynnika R22

Większa masa cząsteczkowa DME powoduje, że w porównaniu do NH_3 masowe natężenie przepływu i gęstość pary mieszaniny R723 są wyższe o około 50%. Fakt ten ma znikome znaczenie w urządzeniach handlowych, szczególnie w układach posiadających krótkie przewody. Natomiast w przypadku typowych przemysłowych instalacji chłodniczych skutkuje większymi spadkami ciśnienia w przepływie czynnika. Jest to kolejny powód, dla którego najdogodniejszy obszar wykorzystania mieszaniny R723 ogranicza się do urządzeń handlowych, a w szczególności do agregatów do chłodzenia cieczy („chillerów”).

Tolerancja materiałowa mieszaniny R723 jest podobna jak NH_3 . Wprawdzie istnieje potencjalna możliwość wykorzystania metali nieżelaznych (np. stopów miedzi i niklu, brązów, lutów twarzych), o ile zawartość wilgoci w układzie nie przekroczy 1000 ppm, to jednak zaleca się stosowanie rozwiązań typowych dla instalacji amoniakalnych.

Jako środka smarnego można używać olei mineralnych lub – co jest preferowane – polialfaolefinowych (POE). Jak wspomniano wcześniej, domieszka DME zapewnia częściową rozpuszczalność oleju. Ponadto stosunkowo niska gęstość cieczy i obecność eteru dimetylowego rozpuszczonego w krążącym oleju, korzystnie wpływa na warunki powrotu środka smarnego do sprężarki. W typowych zastosowaniach, oleje typu PAG wykazują całkowitą lub częściową rozpuszczalność z mieszaniną R723, jednak nie zaleca się ich używania, ze względu na problemy ze stabilnością chemiczną i z powodu dużej rozpuszczalności z czynnikiem chłodniczym w skrzyni korbowej (która grozi intensywnym odparowywaniem czynnika w łożyskach).

Wyniki badań eksperymentalnych świadczą, że współczynnik przejmowania ciepła i strumień ciepła w parowniku są wyższe w układach napełnionych mieszaniną R723 i olejem mineralnym, niż w przypadku amoniaku z tym samym olejem.

Inne cechy R723 to toksyczność i palność. Dodatek DME obniża dolną granicę palności z 15% do 6%. Mimo to mieszaninę zalicza się pod względem bezpieczeństwa do grupy B2, ale może zostać inaczej zaklasyfikowana w przypadku aktualizacji oceny.

Wymagania techniczne

W budowie układów z czynnikiem R723 można wykorzystać opisane wyżej doświadczenia z eksploatacji amoniaku w zwartych urządzeniach chłodniczych. Większe masowe natężenie przepływu czynnika wymaga jednak pewnego

dostosowania układu. Oprócz właściwego doboru parownika i zaworu rozprężnego, należy zapewnić dokładną regulację przegrzania. Z uwagi na większą rozpuszczalność oleju, zbyt małe przegrzanie może mieć bardziej dotkliwe konsekwencje, niż w instalacji z NH_3 i nierozpuszczalnym olejem.

Względy bezpieczeństwa w zakresie budowy układu chłodniczego i eksploatacji czynnika R723 są takie same, jak dla amoniaku.

Do pracy z mieszaniną R723 można zaadaptować sprężarki amoniakalne, dostosowując je do zwiększonego masowego natężenia przepływu czynnika i do większej jego rozpuszczalności z olejem. W przypadku sprężarek tłokowych zwykle nie zachodzi potrzeba instalowania odolejaczy.

Amoniakalne sprężarki firmy BITZER nadają się w zasadzie do pracy z czynnikiem R723. Na życzenie możliwy jest dobór prototypowej sprężarki do konkretnego przypadku.

R290 (propan) jako zamiennik R502 i R22

Zastosowanie jako alternatywny czynnik chłodniczy znajduje też propan (R290). Ponieważ jest substancją organiczną (węglowodorem), nie wpływa niszcząco na warstwę ozonową i ma znikomy potencjał tworzenia efektu cieplarnianego. Propan ma wszakże pewien udział w powstawaniu letniego smogu.

Poziom ciśnienia roboczego i wydajność chłodnicza jest porównywalna z własnościami czynnika R22, a temperatura tłoczenia kształtuje się na podobnie korzystnym poziomie, jak dla R134a.

Propan nie sprawia szczególnych trudności w zakresie tolerancji materiałowej. W przeciwieństwie do amoniaku, nie jest agresywny wobec materiałów zawierających miedź, więc bez przeszkód może pracować w układach chłodniczych wyposażonych w hermetyczne i półhermetyczne agregaty sprężarkowe. W szerokim zakresie zastosowań propan może współpracować z olejami mineralnymi, wykorzystywanymi tradycyjnie w instalacjach napełnionych czynnikami z grupy CFC.

Urządzenia chłodnicze z propanem, głównie instalacje przemysłowe, od wielu lat pracują w różnych krajach. R290 jest „sprawdzonym” czynnikiem chłodniczym.

Propan jest też obecny w małych, zwartych układach o niewielkim napełnieniu czynnikiem chłodniczym, jak domowe urządzenia klimatyzacyjne i pompy ciepła. Ponadto można zaobserwować trend coraz szerszego jego wykorzystywania w instalacjach handlowych i w agregatach do chłodzenia cieczy.

Na rynku są dostępne też mieszaniny propanu z izobutanem (R600a) lub etanem (R170), których niektóre własności są zbliżone do fluorowanych czynników chłodniczych. Z kolei czysty izobutan stanowi przede wszystkim zamiennik czynnika R12 w urządzeniach o małej wydajności (głównie w chłodziarkach domowych).

Wadą węglowodorów jest ich palność, która lokuje te substancje w grupie bezpieczeństwa A3. Oznacza to, że handlowe urządzenia chłodnicze z typową ilością czynnika w układzie muszą być wykonane zgodnie z odpowiednimi przepisami przeciwwybuchowymi.

Urządzenia wyposażone w sprężarki półhermetyczne podlegają w tym zakresie regulacjom obowiązującym dla miejsc zagrożonych wybuchem sporadycznie i krótkotrwałe (strefa 2 wg. Dyrektywy 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 16 grudnia 1999r. dopisek tłum.). Przepisy bezpieczeństwa nakazują instalowanie odpowiednich urządzeń przeciwdziałających nadmiernemu wzrostowi ciśnienia oraz stosowanie specjalnych rozwiązań instalacji elektrycznej. Wymagana też jest niezawodna wentylacja pomieszczeń, w których w przypadku wycieku mogłoby dojść do powstania palnej mieszaniny czynnika chłodniczego z powietrzem.

Wymagania konstrukcyjne zawarto w odpowiednich normach (np. EN378, DIN7003) i mogą się one różnić w poszczególnych krajach. Urządzeń eksploatowanych na terenie Unii Europejskiej dotyczy też Dyrektywa 94/9/EC.

W przypadku instalacji ze sprężarkami dławicowymi wymaga się instalowania wyposażenia elektrycznego w specjalnym wykonaniu przeciwwybuchowym.

Wymagania techniczne

Poza wymienionymi zabezpieczeniami, instalacje chłodnicze napełnione propanem nie wymagają praktycznie żadnych specjalnych rozwiązań, nie spotykanych w typowych układach z czynnikami typu CFC, HCFC i HFC. Dobierając elementy urządzenia należy jedynie pamiętać o stosunkowo małym masowym natężeniu przepływu propanu (ok. 55 do 60% strumienia masy R22). Daje to możliwość znacznego zmniejszenia ilości czynnika chłodniczego w układzie.

Własności termodynamiczne propanu sprawiają, że zainstalowanie w układzie chłodniczym regeneracyjnego wymiennika ciepła przynosi korzyści w postaci polepszenia wydajności chłodniczej i współczynnika wydajności chłodniczej.

R290 (jak również R1270) wykazuje dobrą rozpuszczalność z typowymi olejami chłodniczymi. Sprężarki firmy BITZER przeznaczone do pracy z tymi węglowodorami napełnione są specjalnym olejem o wysokim indeksie lepkości i wyjątkowo dobrych właściwościach smarnych.

W tym względzie obecność regeneracyjnego wymiennika ciepła ma dodatkową zaletę, gdyż podwyższając temperaturę zasysanej pary, obniża graniczną rozpuszczalność czynnika i oleju, dzięki czemu środek smarny zachowuje w sprężarce wymaganą lepkość.

Dzięki niskiej temperaturze tłoczenia propanu (rys. 26/1), nawet przy temperaturze parowania rzędu -40°C można stosować jednostopniowe układy chłodnicze. R290 można zatem brać pod uwagę jako alternatywę dla niektórych mieszanin z grupy HFC.

Do pracy z R290 dostępny jest szereg półhermetycznych sprężarek tłokowych oraz kompaktowe sprężarki śrubowe serii CS. Stosownie do wymagań, agregaty te wyposaża się w odpowiedni osprzęt. Zarówno w zapytaniu ofertowym, jak i w zamówieniu należy wyraźnie zaznaczyć, że chodzi o czynnik R290. Obsługa zamówienia obejmuje sporządzenie odrębnej umowy z kontrahentem. Dla propanu dostępne są też tłokowe sprężarki otwarte, wraz z całym osprzętem przeciwybuchowym, wymaganym do zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacji.

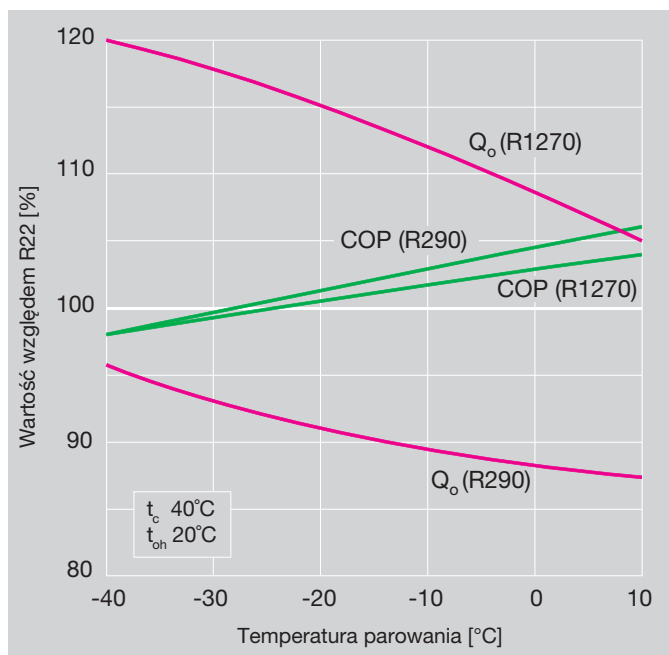
Przeobrażanie istniejących układów z R22 lub HFC

Z uwagi na konieczność stosowania odpowiednich zabezpieczeń przeciwybuchowych, wymiana czynnika na propan jest możliwa tylko w wyjątkowych przypadkach.

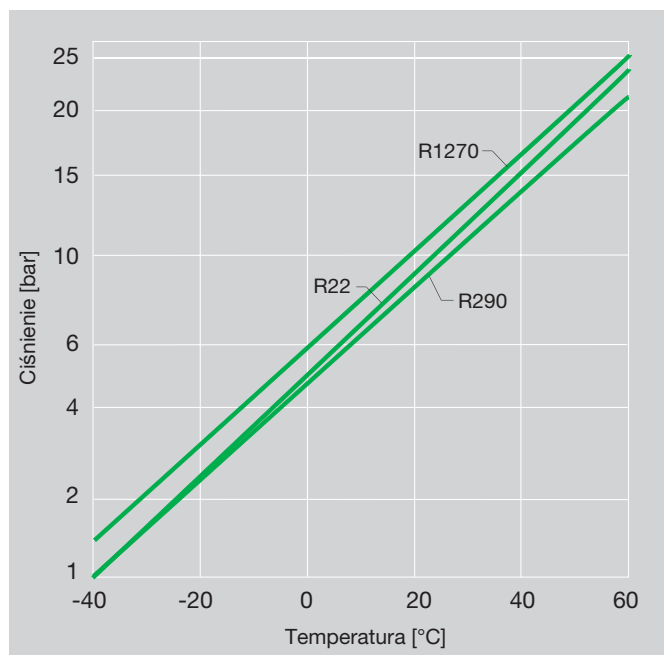
Ograniczają się one do układów, które można niewielkim nakładem zmodyfikować tak, aby odpowiadały wymogom bezpieczeństwa.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania R290

- Informacja techniczna KT-660 „Wykorzystanie propanu i propylenu w sprężarkach półhermetycznych”



Rys. 27. Porównanie wydajności chłodniczej (Q_o) i współczynnika wydajności chłodniczej (COP) czynników R290, R1270 i R22 w instalacji ze sprężarką półhermetyczną, w zależności od temperatury parowania



Rys. 28. Porównanie parametrów nasycenia czynników R290, R1270 i R22

Propylen (R1270) jako czynnik alternatywny wobec propanu

Od pewnego czasu rośnie zainteresowanie propylenem (propenem) jako potencjalnym zamiennikiem R22 i HFC. Chodzi tu szczególnie o instalacje średnio- i niskotemperaturowe (np. agregaty do chłodzenia cieczy w supermarketach), gdyż w porównaniu z propanem, czynnik R1270 charakteryzuje się wyższą jednostkową wydajnością chłodniczą objętościową i niższą temperaturą parowania. Z drugiej strony, zakres możliwych parametrów roboczych jest zawężony przez wyższe ciśnienie robocze (o ok. 20%) i wyższą temperaturę tłoczenia.

Tolerancja materiałowa i możliwości współpracy z olejami są takie same, jak w przypadku propanu.

Propylen również jest substancją palną i należy do grupy bezpieczeństwa czynników chłodniczych A3. Dotyczą go zatem te same regulacje prawne, co propanu (str. 30).

Z powodu podwójnego wiązania w cząsteczce, propylen stosunkowo łatwo wchodzi w różnego rodzaju reakcje chemiczne, co zwiększa niebezpieczeństwo polimeryzacji w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury. Wszakże doświadczenia przeprowadzone przez produ-

centów węglowodorów, jak i testy stabilności w rzeczywistych instalacjach wykazały, że groźba zachodzenia reakcji chemicznych w układzie chłodniczym praktycznie nie istnieje.

W niektórych publikacjach można napotkać podejrzenia rakotwórczych właściwości propylenu. Odpowiednie badania wykluczyły jednak takie oddziaływanie.

Wymagania techniczne

W zakresie budowy układu chłodniczego można wykorzystać reguły dotyczące instalacji pracujących z propanem. Różne są jednak wymiary elementów składowych urządzenia, z powodu wyższej jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej propylenu (rys. 27). Wymagana jest zatem mniejsza wydajność skokowa sprężarki oraz objętościowe natężenie przepływu po stronie ssawnej i tłocznej. Z uwagi na większą gęstość pary, masowe natężenie przepływu pozostaje jednak na poziomie typowym dla R290. Z kolei gęstość ciekłego propylenu jest niemal identyczna jak propanu, zatem objętościowe natężenie przepływu cieczy jest również takie samo.

Podobnie jak w przypadku propanu, w układzie pracującym z R1270 korzystne jest zainstalowanie regeneracyjnego wymiennika ciepła. Należy jednak pamiętać o wyższej temperaturze tłoczenia propylenu, która limituje przegrzanie zasysanej pary.

Do pracy z R1270 dostępny jest szereg półhermetycznych sprężarek tłokowych oraz kompaktowe sprężarki śrubowe serii CS. Stosownie do wymagań, agregaty te wyposaża się w odpowiedni osprzęt. Zarówno w zapytaniu ofertowym, jak i w zamówieniu należy wyraźnie zaznaczyć, że chodzi o czynnik R1270. Obsługa zamówienia obejmuje sporządzenie odrębnej umowy z kontrahentem. Dla R1270 dostępne są też tłokowe sprężarki otwarte, wraz z całym osprzętem przeciwybuchowym, wymaganym do zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacji.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat stosowania R1270

- Informacja techniczna KT-660 „Wykorzystanie propanu i propylenu w sprężarkach półhermetycznych”

Dwutlenek węgla R744 (CO₂) jako alternatywny czynnik chłodniczy i nośnik ciepła

Wykorzystanie dwutlenku węgla w technice chłodniczej ma długą tradycję, sięgającą XIX wieku. Czynnik ten charakteryzuje się zerowym potencjałem niszczenia warstwy ozonowej i znikomym potencjałem tworzenia efektu cieplarnianego (GWP = 1). Jest chemicznie obojętny, niepalny i nietoksyczny w zwykłym rozumieniu tego słowa. Z tych powodów CO₂ nie podlega tak surowym ograniczeniom stosowania, jak czynniki z grupy HFC, czy palne lub toksyczne czynniki chłodnicze. Należy jednak pamiętać, że w porównaniu do substancji typu HFC, dopuszczalna zawartość dwutlenku węgla w powietrzu jest niższa i w pomieszczeniach zamkniętych może być konieczne instalowanie specjalnych zabezpieczeń i układów wykrywania CO₂.

Dwutlenek węgla jest tani i nie ma potrzeby jego odzyskiwania i utylizacji. W dodatku CO₂ ma bardzo dużą jednostkową wydajność chłodniczą objętościową, która w zależności od parametrów pracy jest od 5 do 8 razy większa niż dla R22 czy NH₃.

Bezpieczeństwo użytkowania CO₂ stało się głównym powodem jego początkowego rozpowszechnienia w technice chłodniczej, szczególnie na statkach. Wraz z pojawieniem

się „bezpiecznych czynników chłodniczych”, dwutlenek węgla zaczął tracić na popularności i w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku prawie zniknął z instalacji chłodniczych.

Głównym tego powodem są pewne własności termodynamiczne, stosunkowo niekorzystne w typowym zakresie parametrów pracy układów chłodniczych i klimatyzacyjnych. Mianowicie poziom ciśnienia tłoczenia CO₂ jest niezwykle wysoki, a temperatura krytyczna bardzo niska (31°C, przy ciśnieniu krytycznym 74 bar). Zależnie od temperatury górnego źródła ciepła, dwutlenek węgla może więc krążyć w obiegu nadkrytycznym, przy ciśnieniu tłoczenia przekraczającym nawet 100 bar. W tych warunkach efektywność energetyczna jest zwykle niższa, niż dla klasycznych (podkrytycznych) parowych sprężarkowych obiegów chłodniczych, co skutkuje większym pośrednim wpływem na tworzenie efektu cieplarnianego.

Niemniej jednak, można wskazać zastosowania, w których dwutlenek węgla będzie pracować z wysoką efektywnością energetyczną i ekologiczną. Należą do nich np. podkrytyczne obiegi dolnych stopni kaskadowych urządzeń chłodniczych, ale również obiegi nadkrytyczne, o ile można osiągnąć korzyści ze zmieniającej się „ślizgowo” temperatury CO₂ w wysokociśnieniowym wymienniku ciepła, albo zmienne parametry pracy układu pozwalają często na realizację obiegu podkrytycznego. Trzeba tu zaznaczyć, że współczynnik przejmowania

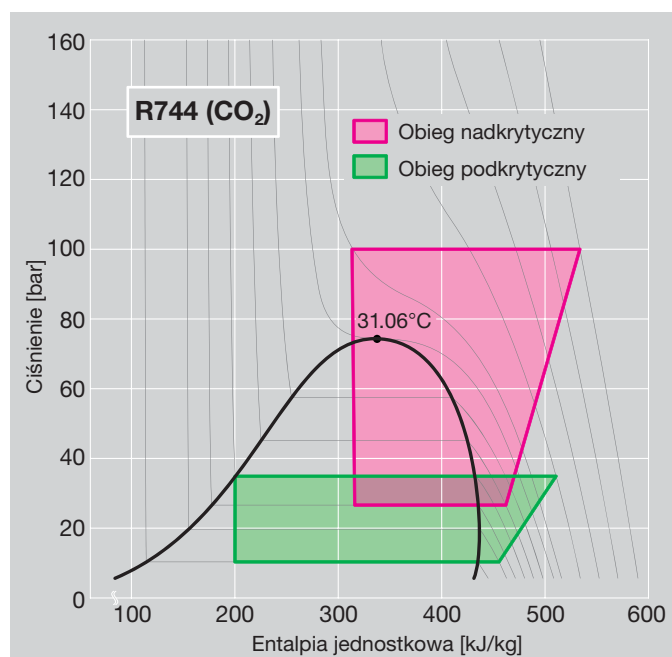
ciepła w parowniku, w skraplaczu i w chłodnicy gazu jest dla CO₂ wyraźnie wyższy niż dla innych czynników chłodniczych, dzięki czemu wymiana ciepła w tych aparatach może się odbywać przy mniejszej różnicy temperatury mediów. Co więcej, wymagana średnica przewodów jest bardzo mała, a spadki ciśnienia w przepływie stosunkowo niskie. Pompy dwutlenku węgla, gdy pełni on rolę cieczy pośredniczącej, mają bardzo małe zapotrzebowanie na moc napędową.

W dalszej części scharakteryzowano pracę dwutlenku węgla w obiegach podkrytycznych i nadkrytycznych.

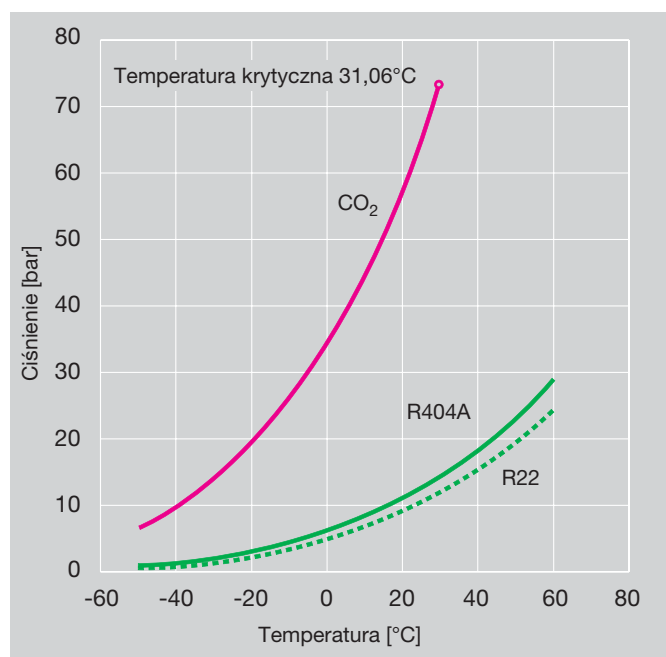
Obiegi podkrytyczne

Biorąc pod uwagę zużycie energii i robocze poziomy ciśnienia, wykorzystanie podkrytycznych obiegów CO₂ w instalacjach przemysłowych i w większych handlowych urządzeniach chłodniczych przynosi wiele korzyści. W zależności od potrzeb, dwutlenek węgla może tam pełnić rolę zarówno płynu pośredniczącego, jak i czynnika chłodniczego w dolnym stopniu układu kaskadowego z niską temperaturą parowania (rys. 30/1).

Parametry robocze leżą zawsze poniżej punktu krytycznego, co gwarantuje dobrą efektywność pracy. Przy poziomach temperatury spotykanych w tego rodzaju instalacjach (-50°C do -10°C), ciśnienie w układzie nie przekracza



Rys. 29/1. Interpretacja nadkrytycznego i podkrytycznego obiegu CO₂ (R744) na wykresie ciśnienie – entalpia jednostkowa



Rys. 29/2. Porównanie parametrów nasycenia czynników R744 (CO₂), R404A i R22

wartości akceptowalnych jeszcze w dostępnych na rynku podzespołach, bądź w elementach aktualnie opracowywanych (np. dla czynnika R410A).

Wymagania techniczne

W charakterze górnego stopnia takiego układu kaskadowego można wykorzystać agregat chłodniczy, którego parownik będzie pełnił rolę skraplacza dwutlenku węgla w stopniu dolnym. Płynem roboczym w tym urządzeniu może być któryś z bezchlorowych czynników chłodniczych (amoniak, węglowódór, substancja z grupy HFC).

Wykorzystując amoniak w górnym stopniu kaskady należy tak zaprojektować międzystopniowy wymiennik ciepła, aby w przypadku ewentualnego przecieku zapobiec tworzeniu się węglanu amonu. Odpowiednia technologia od długiego czasu znajduje zastosowanie w przemyśle piwowarskim.

Obieg CO₂ jako nośnika ciepła powinien być zaprojektowany zasadniczo według reguł typowych dla niskociśnieniowych części pompowych układów amoniakalnych. Zasadniczą różnicą jest tu fakt, że skraplanie CO₂ następuje w międzystopniowym wymienniku ciepła, a zbiornik (MT na rys. 30/1) pełni tylko rolę zasobnika ciekłego dwutlenku węgla, a nie oddzielnika cieczy.

Wysokie ciepło parowania CO₂ sprawia, że wymagane masowe natężenie przepływu jest niskie, przewody mają małą średnicę, a pompy zużywają mało energii.

Dwutlenek węgla może krążyć nie tylko w obiegu pompowym, ale również w dolnym, sprężarkowym stopniu układu kaskadowego. Pełni w nim rolę czynnika chłodniczego. Instalacja taka pozwala uzyskać niską temperaturę parowania.

Na rys. 30/1 widoczny jest wariant z dodatkowym zbiornikiem, będącym pompowym oddzielnikiem cieczy (LT), w którym odpowiednio niskie ciśnienie parowania utrzymuje się dzięki pracy jednej lub wielu sprężarek Booster. Tłoczy ona parę dwutlenku węgla do międzystopniowego wymiennika ciepła, gdzie czynnik ulega skropleniu i sływa do zbiornika (MT). Zasilanie oddzielnika cieczy odbywa się poprzez zawór rozprężny, utrzymujący w nim zadany poziom ciekłego CO₂. Parowniki niskotemperaturowe mogą być zasilane pompowo lub grawitacyjnie. W tym drugim przypadku liczba parowników jest ograniczona możliwością ich równomiernego zasilania czynnikiem chłodniczym.

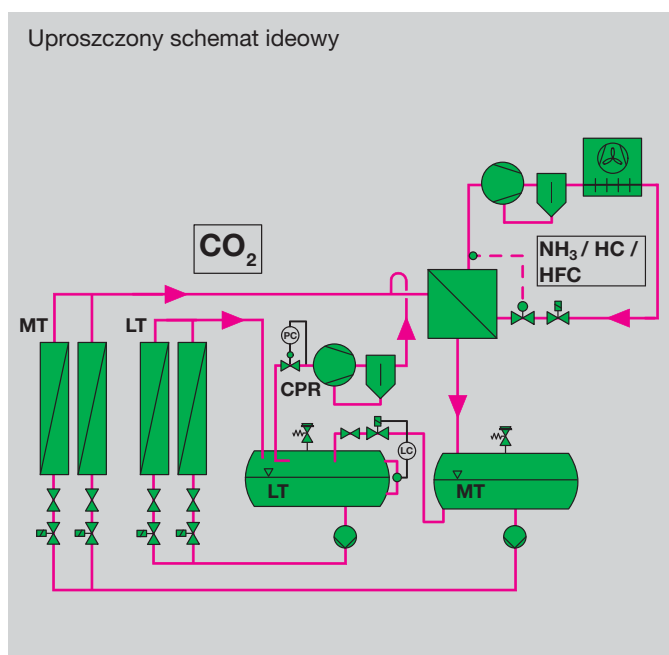
W sytuacji awaryjnej może dojść do nadmiernego wzrostu ciśnienia dwutlenku węgla. Odpowiednio zainstalowane zawory bezpieczeństwa powinny wtedy wypuścić jego nadmiar do atmosfery.

W okresach dłuższego postoju instalacji można też zapobiec nadmiernemu wzrostowi ciśnienia w układzie wykorzystując urządzenia absorbujące nadmiar CO₂.

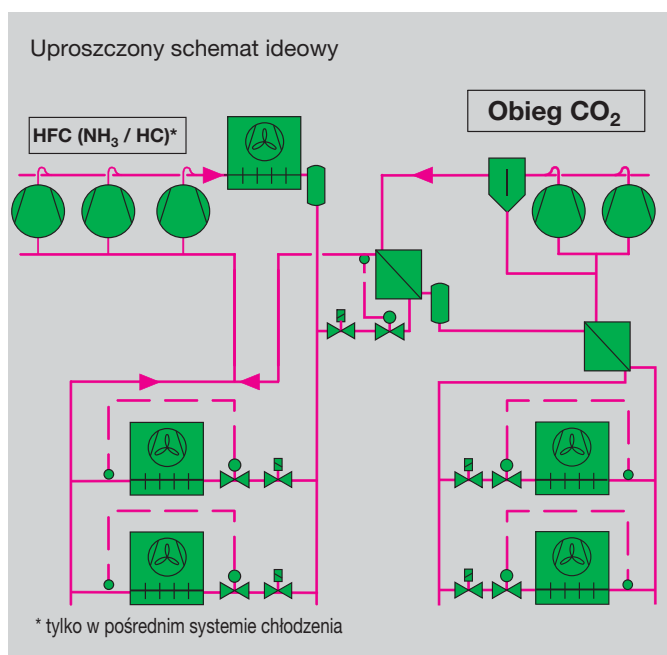
Parowniki handlowych urządzeń chłodniczych mogą też być zasilane dwutlenkiem węgla ciśnieniowo. Instalacje chłodnicze supermarketów, które zwykle charakteryzują się rozgałęzionymi sieciami przewodów czynnika, stwarzają ku temu dobre warunki. Średnotemperaturowa część układu jest wtedy zaprojektowana w tradycyjny sposób, albo ma postać obiegu cieczy pośredniczącej, natomiast parowniki niskotemperaturowe są zasilane CO₂ krążącym w podkrytycznym obiegu sprężarkowym, stanowiącym dolny stopień kaskady. Przykład takiego układu zamieszczono na rys. 30/2.

Obecnie nie ma jeszcze warunków do wykorzystania CO₂ w całym zakresie potencjalnych zastosowań. Trzeba pamiętać, że technologia budowy urządzeń chłodniczych zmienia się pod wieloma względami i sprostanie wielu wymogom będzie możliwe dopiero po dostosowaniu konstrukcji różnych podzespołów.

Przykładowo konstrukcja sprężarek musi uwzględniać dużą gęstość pary i wysokie ciśnienie dwutlenku węgla (szczególnie po stronie ssawnej). Istnieją też szczególne wymagania w zakresie materiałów konstrukcyjnych. Co więcej, używać można wyłącznie dokładnie odwodniony CO₂.



Rys. 30/1. Schemat ideowy przemysłowego układu chłodniczego z CO₂ w dolnym stopniu kaskady: LT – strefa niskiej temperatury parowania, MT – strefa wyższej temperatury parowania



Rys. 30/2. Schemat ideowy typowego układu chłodniczego, połączonego z niskotemperaturowym obiegiem CO₂ (dolny stopień kaskady)

Wysokie wymagania stawia się także przed środkiem smarnym. Typowe oleje chłodnicze w większości nie są rozpuszczalne z dwutlenkiem węgla i wymagają kosztownych rozwiązań ułatwiających powrót z układu do sprężarki. Natomiast rozpuszczalne oleje typu POE mogą w instalacji z CO₂ znacznie tracić na lepkości.

Firma BITZER oferuje dwa typoszeregi sprężarek specjalnie przeznaczonych do podkrytycznych obiegów CO₂.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat doboru sprężarek do podkrytycznych obiegów CO₂

- Broszura KP-120
Półtermetyczne sprężarki tłokowe do podkrytycznych obiegów CO₂ (ciśnienia postojowe do 30 bar dla strony niskociśnieniowej oraz do 53 bar dla wysokociśnieniowej)
- Broszura KP-122
Półtermetyczne sprężarki tłokowe do podkrytycznych obiegów CO₂ (ciśnienia postojowe do 100 bar)
- Dodatkowe materiały dostępne na życzenie

Obiegi nadkrytyczne

Charakterystyczną cechą obiegu nadkrytycznego jest to, że oddawanie ciepła w wymienniku wysokociśnieniowym przebiega izobarycznie, ale nie izotermicznie. W odróżnieniu od skraplania w obiegu podkrytycznym, w wymienniku tym zachodzi chłodzenie gazu, co oznacza, że jego temperatura systematycznie spada. Dlatego aparat ten nazywa się chłodnicą gazu. Jeśli proces przebiega pod ciśnieniem wyższym od krytycznego (74 bar), to przez chłodnicę płynie tylko gaz o dużej gęstości. Skraplanie czynnika możliwe staje się dopiero na skutek obniżenia ciśnienia – np. do poziomu pośredniego, panującego w zbiorniku. W zależności od zmian temperatury górnego źródła ciepła, układ zaprojektowany jako nadkrytyczny może też realizować obieg podkrytyczny, którego efektywność jest większa. Chłodnica gazu staje się wtedy skraplaczem.

Inną cechą układu realizującego obieg nadkrytyczny jest konieczność utrzymywania na odpowiednim poziomie ciśnienia w chłodnicy gazu. To „ciśnienie optymalne” ustala się tak, aby na wylocie wymiennika uzyskać konkretną temperaturę czynnika, przy której przyrost entalpii jednostkowej w parowniku jest jak największy, a jednostkowa praca sprężania przyjmuje wartość minimalną. Ciśnienie to zależy od aktualnych warunków pracy i musi być utrzymywane przez inteligentny układ regulacji (przykład na rys. 31).

Z powyższych uwag wynika, że ze ściśle termodynamicznego punktu widzenia obieg nadkrytyczny jest mniej korzystny pod względem efektywności energetycznej. W praktyce prawidłowość ta potwierdza się w układach o stosunkowo wysokiej temperaturze górnego źródła ciepła. Można jednak wykorzystać pewne rozwiązania polepszające efektywność działania urządzenia, jak praca w układzie z ekonomizerem, bądź zastosowanie strumienicy lub rozprężarki w celu wyeliminowania strat dławienia. Poza tym istnieją przypadki, w których obieg nadkrytyczny wykazuje korzyści energetyczne. Należą do nich pompy ciepła przeznaczone do ogrzewania wody użytkowej lub wykorzystywane w suszarnictwie. Wysoka zazwyczaj różnica pomiędzy temperaturą tłoczenia czynnika i temperaturą medium ogrzewanego na wlocie do chłodnicy gazu pozwala w nich uzyskać bardzo niską temperaturę dwutlenku węgla na wylocie wymiennika. Pozytywny wpływ ma tutaj przebieg zmienności temperatury CO₂ w chłodnicy oraz stosunkowo duża średnia różnica temperatury pary i nośnika ciepła. Osiągnięcie niskiej temperatury czynnika na wylocie z chłodnicy pozwala uzyskać

duży przyrost entalpii jednostkowej w parowniku, a co za tym idzie, wysoki współczynnik wydajności chłodniczej układu.

Pompy ciepła o małej wydajności, przeznaczone do ogrzewania wody użytkowej są już produkowane i eksploatowane w dużej liczbie. Większe urządzenia (np. dla hoteli, hal basenowych) są nadal we wczesnej fazie rozwoju.

Oprócz tych dosyć specyficznych zastosowań, prowadzi się szereg prac nad wykorzystaniem dwutlenku węgla w typowym obszarze zainteresowania techniki chłodniczej i klimatyzacyjnej. Dotyczy to chociażby instalacji chłodniczych supermarketów. Na coraz większą skalę wykorzystuje się układy z ekonomizerem. Sprężarki pracują tam najczęściej w układzie booster, łączącym część średnio- i niskotemperaturową instalacji bez pośrednictwa wymiennika ciepła. Doświadczenia z ich eksploatacji i pomiary zużycia energii napędowej dają obiecujące rezultaty. Jednak koszty inwestycyjne są wciąż zdecydowanie wyższe, niż w przypadku typowych układów z ciśnieniowym zasilaniem parowników czynnikiem z grupy HFC.

Niskie koszty zużycia energii przez instalacje z CO₂ są po części wynikiem daleko posuniętej optymalizacji podzespołów układu i elementów automatyki chłodniczej, jak również wspomnianych korzystnych warunków wymiany ciepła i małych spadków ciśnienia. Z drugiej strony, instalacje te są przeważnie eksploatowane w takich warunkach klimatycznych (zmiany temperatury otoczenia w ciągu roku), które pozwalają na częstą realizację obiegu podkrytycznego.

W celu polepszenia efektywności działania instalacji z CO₂ w supermarketach oraz dostosowania ich do pracy w rejonach o wyższych temperaturach otoczenia, coraz częściej wykorzystuje się wspomniane układy z ekonomizerem lub strumienicę.

Z uwagi na duże wymagania techniczne oraz konieczne wysokie kwalifikacje projektantów i pracowników obsługi, nie można obecnie uważać dwutlenku węgla za uniwersalny zamiennik czynników chłodniczych z grupy HFC.

Wymagania techniczne

Dokładne omówienie tematu wykracza poza zakres niniejszego opracowania. Należy jednak zaznaczyć, że konfiguracja obiegu i automatyka układu z CO₂ różnią się znacznie od rozwiązań spotykanych w typowych urządzeniach chłodniczych. Ze względu na różnice w poziomach ciśnienia oraz w masowym i objętościowym natężeniu przepływu, należy korzystać ze specjalnie zaprojektowanych podzespołów

instalacji, elementów automatyki chłodniczej i urządzeń zabezpieczających, a także trzeba odpowiednio zwymiarować przewody dwutlenku węgla.

Szczególne wyzwania stoją przed konstruktorami sprężarek i wymagają od nich niekonwencjonalnego podejścia podczas doboru i wymiarowania układu kinematycznego i zaworów roboczych, doboru materiałów (odpornych na pęknięcie), a także projektowania układu smarowania oraz chłodzenia sprężarki i silnika. Duże obciążenie termiczne zawęża zakres dopuszczalnych parametrów roboczych urządzeń ze sprężaniem jednostopniowym. Instalacje niskotemperaturowe wymagają dwustopniowego sprężania, a zastosowanie osobnych sprężarek niskiego i wysokiego stopnia jest korzystniejsze, niż instalowanie sprężarek dwustopniowych.

Z przytoczonych wyżej względów ostrzejsze wymagania stoją również przed olejami smarowymi.

Potrzebne są dalsze prace rozwojowe w zakresie wykorzystania dwutlenku węgla w różnorodnych urządzeniach chłodniczych, a technologii nadkrytycznych układów CO₂ nie można jeszcze uznać za dojrzałą.

Firma BITZER oferuje szeroki zakres sprężarek do nadkrytycznych obiegów CO₂. Jednak każdy przypadek wymaga indywidualnego doboru sprężarki.

Uzupełniający materiał informacyjny firmy BITZER na temat doboru sprężarek do nadkrytycznych obiegów CO₂

- ❑ Broszura KP-130
Półhermetyczne sprężarki tłokowe do nadkrytycznych obiegów CO₂
- ❑ Dodatkowe materiały dostępne na życzenie

CO₂ w układach klimatyzacji samochodowej

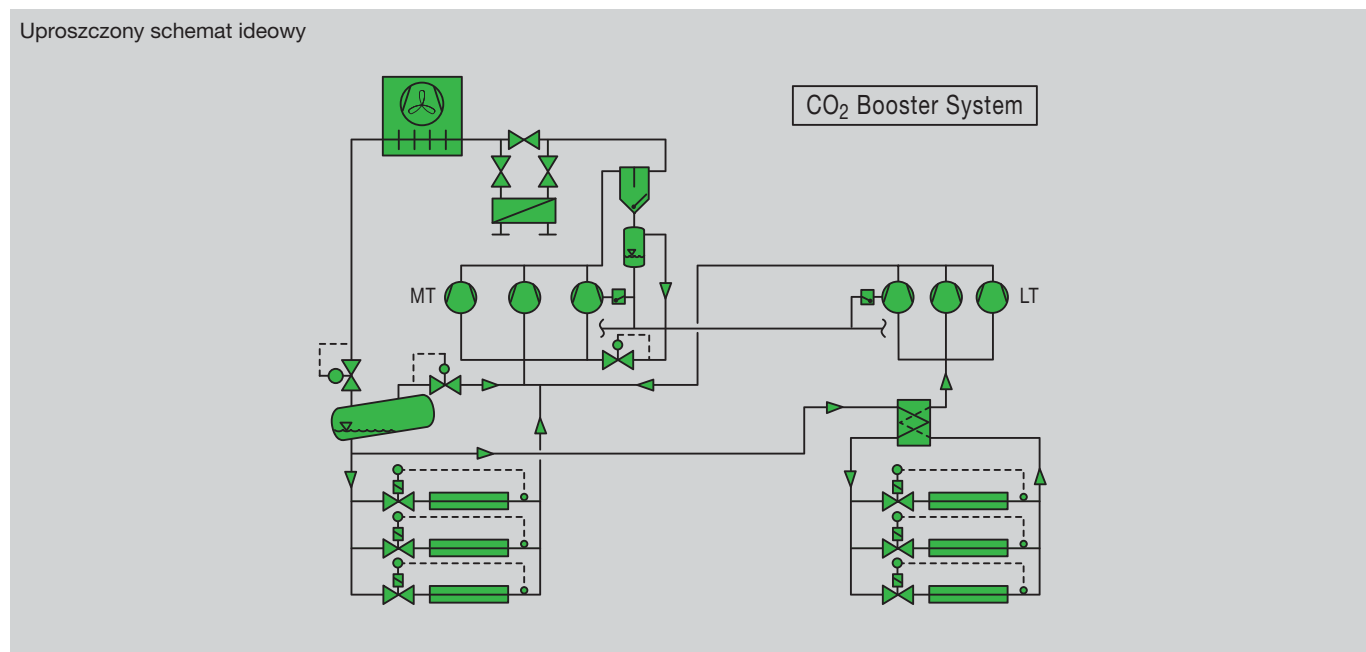
W dążeniu do ograniczenia bezpośredniej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery oraz wobec wycofywania czynnika R134a z użycia w układach klimatyzacji samochodowej w UE*, intensywność badań nad rozwojem układów z CO₂ znacznie wzrosła w ostatnich latach.

Na pierwszy rzut oka, efektywność układów z CO₂ w typowych warunkach otoczenia i w ślad za nią ich pośredni wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego, wydają się być stosunkowo niekorzystne. Należy jednak wziąć pod uwagę, że z powodu specyficznych warunków pracy oraz dosyć dużych spadków ciśnienia w przewodach i w wymiennikach ciepła, współczesne instalacje samochodowe z R134a są mniej efektywne od urządzeń stacjonarnych o tej samej wydajności chłodniczej. Natomiast w przypadku CO₂ spadki ciśnienia mają o wiele mniejsze znaczenie, a wysokiej efektywności pracy układu sprzyjają też dobre współczynniki przejmowania ciepła w wymiennikach.

Z tych powodów zoptymalizowane układy klimatyzacji samochodowej z dwutlenkiem węgla są w stanie dorównać efektywnością działania instalacjom napełnionym R134a. Uwzględniając wysoki zwykle poziom wycieków czynnika z tego rodzaju urządzeń, układy z CO₂ mogą mieć korzystniejszy, niższy wskaźnik TEWI.

Obecnie nie jest jeszcze możliwe do przewidywania, czy technologia CO₂ może w dłuższej perspektywie zyskać znaczenie do tego typu zastosowań. Oczywiście, to również zależy od doświadczeń uzyskanych z pracy z czynnikami chłodniczymi „o niskim wskaźniku GWP” (str. 11), które w międzyczasie są częściowo wprowadzane przez przemysł motoryzacyjny. Ważną rolę odegrają też takie aspekty, jak bezpieczeństwo pracy, koszty i kwestie logistyczne.

* Więcej informacji można znaleźć na str. 11.



Rys. 31. Schemat ideowy przykładowego nadkrytycznego układu chłodniczego z CO₂

R124 i R142b jako zamienniki R114 i R12B1

Czynniki R114 i R12B1 można było w przeszłości spotkać przede wszystkim w wysokotemperaturowych instalacjach pomp ciepła i w układach klimatyzacji kabin dźwigów. Ich zamiennikami w nowych urządzeniach (tam, gdzie nie zabrania tego prawo) mogą być czynniki z grupy HCFC: R124 i R142b. Możliwa jest ich współpraca z tradycyjnymi olejami mineralnymi i alkilobenzenowymi o wysokiej lepkości.

Wobec większego od zera potencjału niszczenia warstwy ozonowej, wykorzystanie tych substancji może jedynie mieć charakter przejściowy. W krajach Unii Europejskiej wykorzystanie czynników z grupy HCFC jest już zabronione. Płyny R124 i R142b objęte są tymi samymi restrykcjami, co R22 (strona 8). Palność R142b wymaga stosowania odpowiednich zabezpieczeń (substancja z grupy bezpieczeństwa A2).

Wymagania techniczne i przeobrażanie istniejących układów

W porównaniu do R114 normalna temperatura wrzenia tych zamienników jest niższa (około 10°C), co przekłada się na większe różnice ciśnienia roboczego i jednostkowej wydajności chłodniczej objętościowej. Ogranicza to zakres zastosowania zamienników.

Przeobrażenie istniejących instalacji z R114 najczęściej pociąga za sobą konieczność wymiany sprężarki i elementów automatyki chłodniczej. Wobec mniejszego objętościowego natężenia przepływu (większa jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa), konieczne mogą być modyfikacje parownika i przewodu ssawnego.

Na przestrzeni lat sprężarki marki BITZER okazały się być dobrze dostosowane do pracy z czynnikami R124 i R142b. W zależności od wydajności przeobrażanego układu i rodzaju sprężarki, mogą być potrzebne pewne modyfikacje. Charakterystyki sprężarek, wraz z odpowiednimi zaleceniami są dostępne na życzenie.

Bezchlorowe zamienniki do specjalnych zastosowań

Rynek urządzeń chłodniczych o bardzo niskiej, bądź bardzo wysokiej temperaturze parowania jest dosyć ograniczony, stąd zapotrzebowanie na alternatywne czynniki i dostosowane do nich elementy instalacji było nieduże.

Dopiero kilka lat temu zaczęto oferować długoterminowe zamienniki wysokotemperaturowych czynników R114 (CFC) i R12B1 (halon) oraz niskotemperaturowych R13B1, R13 i R503. Własności termodynamiczne tych zamienników jednak bardzo się różnią od wykorzystywanych dotychczas substancji. Fakt ten wymusza wykonywanie kosztownych przeróbek, szczególnie w przeobrażanych instalacjach.

Zamienniki R114 i R12B1

Za odpowiednie zamienniki uważane są substancje R227ea i R236fa, chociaż z uwagi na dosyć wysoki potencjał GWP od 2020 roku nie będą mogły być wykorzystywane w nowych urządzeniach wprowadzanych na rynek Unii Europejskiej.

Czynnik R227ea nie stanowi uniwersalnego zamiennika w całym zakresie dotychczasowych zastosowań. Wyniki badań i testów w rzeczywistych instalacjach są zachęcające, jednak temperatura krytyczna równa 102°C ogranicza akceptowalny poziom temperatury skraplania w typowym układzie do około 85-90°C.

Czynnik R236fa wykazuje lepsze własności, przynajmniej pod tym względem – jego temperatura krytyczna przekracza 120°C. Natomiast jego wadą jest niższa jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa. Jest podobna R114 i o 40% niższa niż dla R124, czynnika obecnie szeroko wykorzystywanego w układach o bardzo wysokiej temperaturze.

Interesującą alternatywę może stanowić R600a (izobutan), o ile względy bezpieczeństwa dopuszczają w danym przypadku wykorzystanie węglowodorów (grupa bezpieczeństwa A3).

Temperatura krytyczna równa 135°C pozwala osiągnąć temperaturę skraplania rzędu 100°C i więcej.

Jednostkowa wydajność chłodnicza objętościowa jest niemal identyczna, jak czynnika R124.

Czynnik chłodniczy HFO-1234ze (E) o niskim GWP można również brać pod uwagę do dodatkowych zastosowań w układach o wysokiej temperaturze parowania. W porównaniu do R124, jego wydajność chłodnicza jest wyższa o 10 do 20%, a ciśnienie robocze o około 25%. Przy takiej samej wydajności chłodniczej przepływ masowy różni się tylko nieznacznie. Jego temperatura krytyczna wynosi 107°C, co umożliwi ekonomiczną pracę przy temperaturach skraplania dochodzących do 90°C. Podobnie jak HFO-1234yf, HFO-1234ze (E) charakteryzuje się umiarkowanym stopniem palności i dlatego prawdopodobnie zostanie zaliczony do nowej grupy bezpieczeństwa A2L. Przy jego stosowaniu muszą być przestrzegane odpowiednie przepisy bezpieczeństwa.

Jednak do tej pory, nie są dostępne wystarczające wyniki z eksploatacji układów z tym czynnikiem, dlatego jak na razie nie jest możliwa ocena przydatności tego czynnika do długotrwałej eksploatacji.

Do wysokotemperaturowych pomp ciepła i specjalnych zastosowań w zakresie wysokich temperatur DuPont przedstawił czynnik DR-2 oparty na HFO.

Temperatura krytyczna DR-2 wynosi 171°C, temperatura wrzenia 33,4°C. Takie parametry pozwalają na pracę przy temperaturze skraplania znacznie powyżej 100°C, do czego konieczne jest użycie tylko specjalnie skonstruowanych w tym celu sprężarek i komponentów.

DR-2 ma GWP<10, ale według dotychczasowych badań nie jest palny. Zatem można oczekiwać, że zostanie sklasyfikowany w grupie bezpieczeństwa A1.

Nie jest jeszcze możliwa bardziej szczegółowa ocena stabilności chemicznej czynnika i olejów w wysokich temperaturach, w perspektywie długiego czasu eksploatacji. Zastosowania specjalne obejmują także układy ORC (Organic Rankine Cycle) do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. W zależności od temperatury dolnego i górnego źródła ciepła, w grę wchodzi tu nie tylko czynnik DR-2, lecz także szereg innych substancji roboczych.

Należy do nich związek R245ca ($GWP_{100} = 1030$) charakteryzujący się temperaturą krytyczną 154°C . Podobnie jak DR-2, nadaje się on też do agregatów do chłodzenia wody z dużymi sprężarkami odśrodkowymi.

Ponadto do obiegów ORC firma Solvay oferuje mieszaniny na bazie związku R365mfc. Zaprezentowany już kilka lat temu czynnik nosi nazwę handlową Solkatherm SES36 i zawiera perfluoropolieter. Temperatura krytyczna tej azeotropowej mieszaniny wynosi 178°C . Opracowano ponadto dwie zeotropowe mieszaniny związków R365mfc i R227ea, które na skutek różnic w udziałach procentowych posiadają temperaturę krytyczną 177°C i 182°C . Ich nazwy handlowe to odpowiednio Solkatherm SES24 i SES30.

Zeotropowy charakter mieszaniny może być korzystny dla obiegów ORC. Jeśli w górnym lub dolnym źródle ciepła występuje substancja jednofazowa, to zmieniająca się śluzowo temperatura parowania, bądź skraplania może się przyczynić do złagodzenia nierównomierności rozkładu różnicy temperatur w wymienniku ciepła. Dzięki zwiększonej średniej różnicy temperatur polepszają się wtedy warunki wymiany ciepła.

Do roli rozprężarki w układzie ORC można zaadaptować sprężarki śrubowe i spiralne. Od kilku lat firma BITZER jest zaangażowana w różnorodne projekty badawcze i posiada już istotną wiedzę oraz doświadczenie w konstruowaniu i eksploatacji tych urządzeń.

Kompletny opis układów ORC wykracza poza ramy niniejszego Raportu o czynnikach chłodniczych. Więcej informacji można uzyskać na życzenie.

Zamienniki R13B1

Obok mieszaniny R410A za potencjalny zamiennik R13B1 można uważać ISCEON MO89 (oferowany przez firmę DuPont). W porównaniu do R13B1, czynnik R410A charakteryzuje się znacznie wyższą temperaturą tłoczenia (rys. 32), co bardzo zawęża zakres jego zastosowania, nawet w układach z dwustopniowym sprężaniem.

Czynnik chłodniczy ISCEON MO89 stanowi mieszaninę R125 i R218, z niewielkim dodatkiem R290. Z uwagi na własności dwóch głównych składników, cechuje się stosunkowo dużą gęstością i dużym masowym natężeniem przepływu oraz bardzo niską temperaturą tłoczenia. Szczególne korzyści w obiegu tego czynnika daje dochłodzenie cieczy.

Oba zamienniki pracują pod stosunkowo wysokim ciśnieniem i dlatego temperatura skraplania nie powinna przekraczać w ich przypadku $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ w najczęściej stosowanych sprężarkach dwustopniowych. Przy temperaturze parowania poniżej -60°C wykazują niższą wydajność chłodniczą niż R13B1.

W dodatku, szybko obniżające się z temperaturą ciśnienie nasycenia ogranicza zakres ich stosowania od strony niskiej temperatury parowania. Konieczne może okazać się nawet zaprojektowanie układu kaskadowego, np. z czynnikiem R23 w dolnym stopniu.

Tolerancja materiałowa i możliwości współpracy z olejem są takie same, jak w przypadku innych mieszanin z grupy HFC.

Zamienniki R13 i R503

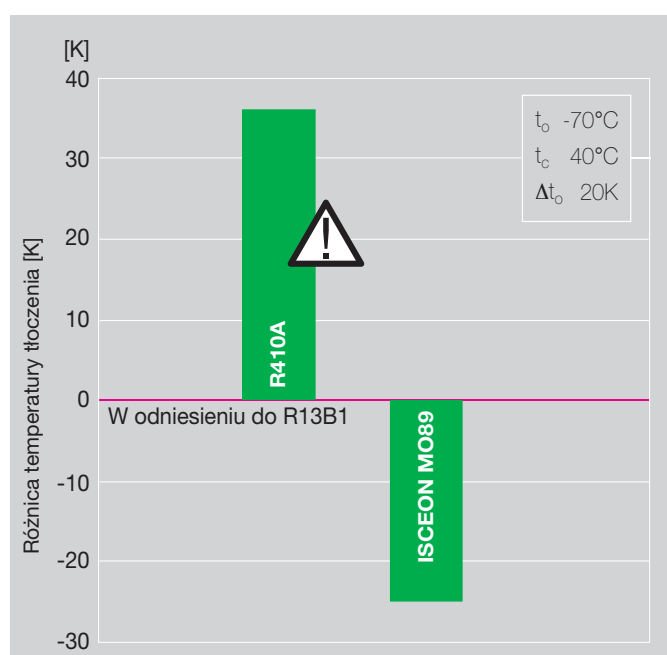
W odniesieniu do tych płynów roboczych sytuacja jest korzystniejsza, gdyż ich zamiennikami mogą być czynniki R23, R508A i R508B. Jeśli względy bezpieczeństwa zezwalają na wykorzystanie węglowodorów, to do tego grona można też zaliczyć R170 (etan – czynnik grupy bezpieczeństwa A3).

Zamienniki te mają nieco bardziej stromą niż R13 zależność ciśnienia nasycenia od temperatury. Czynnik R23 charakteryzuje się dodatkowo wyższą temperaturą tłoczenia. Należy więc brać pod uwagę różnice w charakterystykach pracy instalacji oraz ograniczenia obszaru ich zastosowania. Trzeba też zmodyfikować konstrukcję wymienników ciepła i elementów automatyki chłodniczej.

Do współpracy z R23, R508A i R508B nadają się oleje poliestrowe. Muszą jedynie spełniać wymagania stawiane przez bardzo niską temperaturę parowania.

Czynnik R170 wykazuje dobrą rozpuszczalność z tradycyjnymi olejami smarnymi, które jednak muszą być dostosowane do pracy w warunkach niskiej temperatury.

Firma BITZER przeprowadziła już szereg badań i zebrała doświadczenia z wykorzystania kilku wspomnianych zamienników. Na życzenie udostępni stosowne charakterystyki i zalecenia. Z uwagi na nietypowy charakter takich specjalnych instalacji, za każdym razem należy skonsultować się z firmą BITZER co do doboru sprężarki.



Rys. 32. Różnica temperatury tłoczenia sprężarki dwustopniowej dla czynników R410A i ISCEON MO89 względem R13B1

Rodzaj czynnika	Skład (wzór chemiczny)	Czynnik zastępowany	Zakres stosowania	ODP (1,0 dla R11)	GWP ₁₀₀ ^{⑤⑥} (1,0 dla CO ₂)	Grupa bezpieczeństwa ^④	Praktyczna granica stężenia [kg/m ³] ^⑤
Czynniki z grupy HCFC							
R22	CHClF ₂	R502 (R12 ^①)	strona 40	0.055	1810	A1	0.3
R124	CHClFCF ₃	R114 ^① , R12B1		0.022	609	A1	0.11
R142b	CClF ₂ CH ₃			0.065	2310	A2	0.066
Czynniki jednorodne z grupy HFC							
R134a	CF ₃ CH ₂ F	R12 (R22 ^①)	strona 40	0	1430	A1	0.25
R152a	CHF ₂ CH ₃	głównie stosowane jako składniki mieszanin			124	A2	0.027
R125	CF ₃ CHF ₂				3500	A1	0.39
R143a	CF ₃ CH ₃				4470	A2	0.056
R32	CH ₂ F ₂				675	A2L	0.061
R227ea	CF ₃ -CHF-CF ₃				R12B1, R114 ^①	3220	A1
R236fa	CF ₃ -CH ₂ -CF ₃		R114	9810	A1	0.59	
R23	CHF ₃	R13 (R503)			14800	A1	0.68
Mieszanki HFC							
R404A	R143a/125/134a	R22 (R502)	strona 40	0	3922	A1	0.52
R507A	R143a/125				3985	A1	0.53
R407A	R32/125/134a				2107	A1	0.33
R407F	R32/125/134a				1825	A1	0.29
R422A	R125/134a/600a				3143	A1	0.29
R437A	R125/134a/600/601	R12 (R500)			1805	A1	0.08
R407C	R32/125/134a	R22			1774	A1	0.31
R417A	R125/134a/600				2346	A1	0.15
R417B	R125/134a/600				2920	A1	0.07
R422D	R125/134a/600a				2729	A1	0.26
R427A	R32/125/143a/134a		2138	A1	0.28		
R438A	R32/125/134a/600/601a		2264	A1	0.08		
R410A	R32/125		R22 ^① (R13B1 ^②)	2088	A1	0.44	
ISCEON MO89	R125/218/290	R13B1 ^②	3805	N/A	N/A		
R508A	R23/116	R503	13214	A1	0.23		
R508B	R23/116		13396	A1	0.2		
Mieszanki HFO i HFO / HFC							
R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	R134a	strona 40	0	4	A2L	0.058
R1234ze(E)	CF ₃ CH=CHF				7	A2L	N/A
R513A (XP10)	R1234yf/134a				631	A1	0.35
R450A (N-13)	R1234ze(E)/134a				601	A1	N/A
R448A (N-40)	R32/125/1234yf/1234ze(E)/134a	R404A,			1386	A1	N/A
R449A (XP40)	R32/125/1234yf/134a	R507A			1397	A1	N/A
Czynniki bezfluorowe							
R717	NH ₃	R404A (R22)	strona 41	0	0	B2	0.00035
R723	NH ₃ /R-E170	R404A (R22)			8	B2	N/A
R600a	C ₄ H ₁₀	R134a ^①			3	A3	0.011
R290	C ₃ H ₈	R404A (R22)			3	A3	0.008
R1270	C ₃ H ₆	R404A (R22)			3	A3	0.008
R170 ^③	C ₂ H ₆	R23			3	A3	0.008
R744	CO ₂	różne			1	A1	0.07

Rys. 33. Charakterystyka zamienników czynników chłodniczych z grupy CFC (ciąg dalszy na rys. 34)

Powyższe zestawienie obarczone jest pewnymi zastrzeżeniami – sformułowane je w oparciu o informacje opublikowane przez producentów czynników chłodniczych:

- | | | |
|--|--|---|
| ① Zamienniki znacznie się różnią pod względem wydajności chłodniczej i ciśnienia | ③ Proponowany także jako składnik mieszanin sporządzonych w oparciu o R290 i R600a (bezpośredni zamiennik R12) | ⑥ Horyzont czasowy 100 lat – zgodnie z IPCC IV (2007) Wartości w nawiasach pochodzą z IPCC III (2001) → ujęte w normie EN378-1:2012, Załącznik E oraz w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady 842/2006 |
| ② Zamienniki znacznie się różnią niektórymi własnościami przy temperaturze parowania poniżej -60°C | ④ Klasyfikacja zgodna z normami EN378-1 oraz ASHRAE 34 | N/A Dane jeszcze niedostępne |
| | ⑤ Według normy EN378-1, Załącznik E | |

Rodzaj czynnika	Normalna temperatura wrzenia [°C] ^①	Poślizg temperatury [K] ^②	Temperatura krytyczna [°C] ^①	Temperatura skraplania przy 26 bar (abs.) ^①	Względna wydajność chłodnicza [%] ^③	Różnica temperatury tłoczenia [K] ^③	Rodzaj oleju (i sprężarki)	
Czynniki z grupy HCFC								
R22	-41	0	96	63	80 (L) ^④	+35 ^④	strona 41	
R124	-11	0	122	105	⑤	⑤		
R142b	-10	0	137	110	⑤	⑤		
Mieszanki serwisowe HCFC / HFC								
R402A	-49	2.0	75	53	109 (L)	-0		
R402B	-47	2.3	83	56	99 (L)	+16		
R408A	-44	0.6	83	58	98 (L)	+10		
Czynniki jednorodne z grupy HFC								
R134a	-26	0	101	80	97 (M)	-8		
R152a	-24	0	113	85	N/A	N/A		
R125	-48	0	66	51	N/A	N/A		
R143a	-48	0	73	56	N/A	N/A		
R32	-52	0	78	42	N/A	N/A		
R227ea	-16	0	102	96	⑤	⑤		
R236fa	-1	0	>120	117	⑤	⑤		
R23	-82	0	26	1	⑤	⑤		
Mieszanki HFC								
R404A	-47	0.7	73	55	105 (M)	-34		
R507A	-47	0	71	54	107 (M)	-34		
R407A	-46	6.6	83	56	98 (M)	-19		
R407F	-46	6.4	83	57	104 (M)	-11		
R422A	-49	2.5	72	56	100 (M)	-39		
R437A	-33	3.6	95	75	108 (M)	-7		
R407C	-44	7.4	87	58	100 (H)	-8		
R417A	-39	5.6	87	68	97 (H)	-25		
R417B	-45	3.4	75	58	95 (M)	-37		
R422D	-45	4.5	81	62	90 (M)	-36		
R427A	-43	7.1	87	64	90 (M)	-20		
R438A	-42	6.6	80	63	88 (M)	-27		
R410A	-51	<0.2	72	43	140 (H)	-4		
ISCEON M089	-55	4.0	70	50	⑤	⑤		
R508A	-86	0	13	-3	⑤	⑤		
R508B	-88	0	14	-3	⑤	⑤		
Czynniki HFO i mieszanki HFO / HFC								
R1234yf	-30	0	95	82	99 (M)	-14		
R1234ze(E)	-18	0	110	92	⑤	⑤		
R513A (XP10)	-29	0	98	78	102 (M)	-7		
R450A (N-13)	-24	0.4	106	85	88 (M)	-6		
R448A (N-40)	-45	6.1	84	60	94 (M)	+12		
R449A (XP40)	-46	5	82	58	97 (M)	+12		
Czynniki bezfluorowe								
R717	-33	0	133	60	100 (M)	+60		
R723 ^③	-37	0	131	58	105 (M)	+35		
R600a	-12	0	135	114	N/A	N/A		
R290	-42	0	97	70	89 (M)	-25		
R1270	-48	0	92	61	112 (M)	-20		
R170	-89	0	32	3	⑤	⑤		
R744	-57 ^⑥	0	31	-11	⑤	⑤		

Rys. 34. Charakterystyka zamienników czynników chłodniczych z grupy CFC

① Wartości zaokrąglone

② Całkowity poślizg temperatury – od cieczy nasyconej do pary nasyconej suchej – pod ciśnieniem absolutnym 1 bar. Rzeczywisty poślizg temperatury w parowniku jest mniejszy i zależy od parametrów pracy – w przybliżeniu od 60% (L) do 70% (H/M)

③ Czynnik odniesienia każdorazowo dobrano zgodnie z zawartością trzeciej kolumny na rys. 33 („Czynnik zastępowy”). Litera w nawiasie określa parametry robocze:

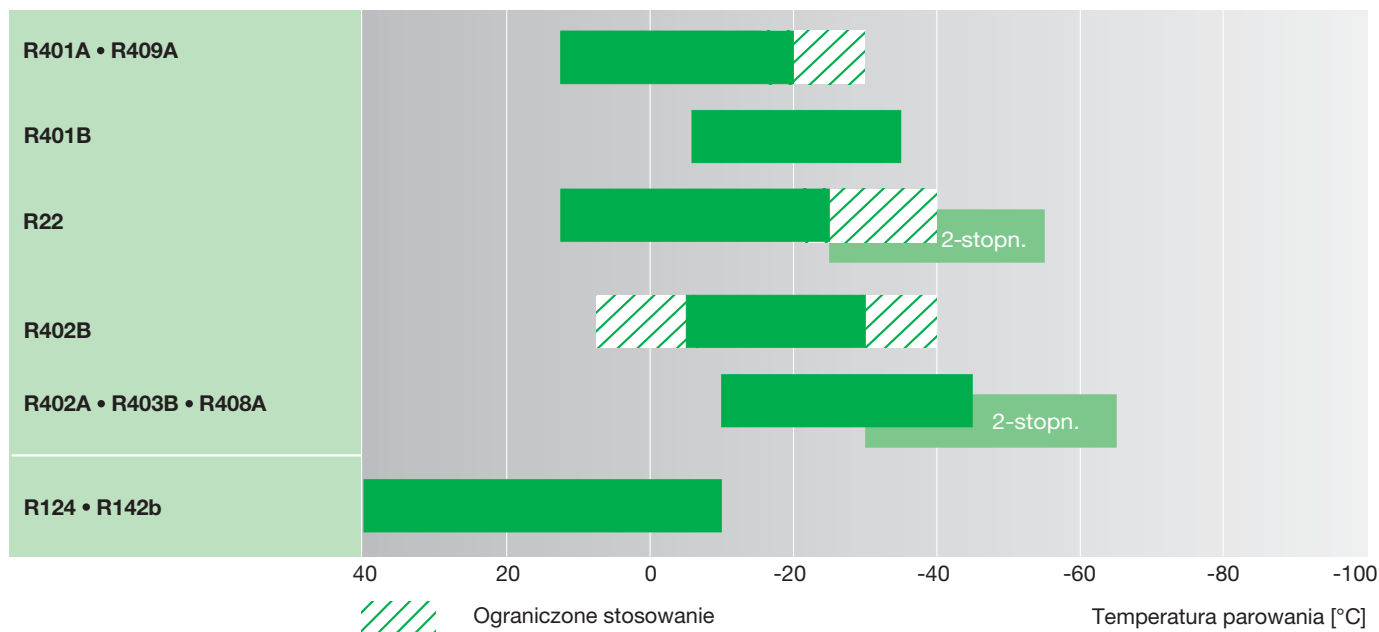
H wysokotemperaturowe (+7/55°C)
M średniotemperaturowe (-10/40°C)
L niskotemperaturowe (-35/40°C)

④ Ważne dla sprężarek jednostopniowych

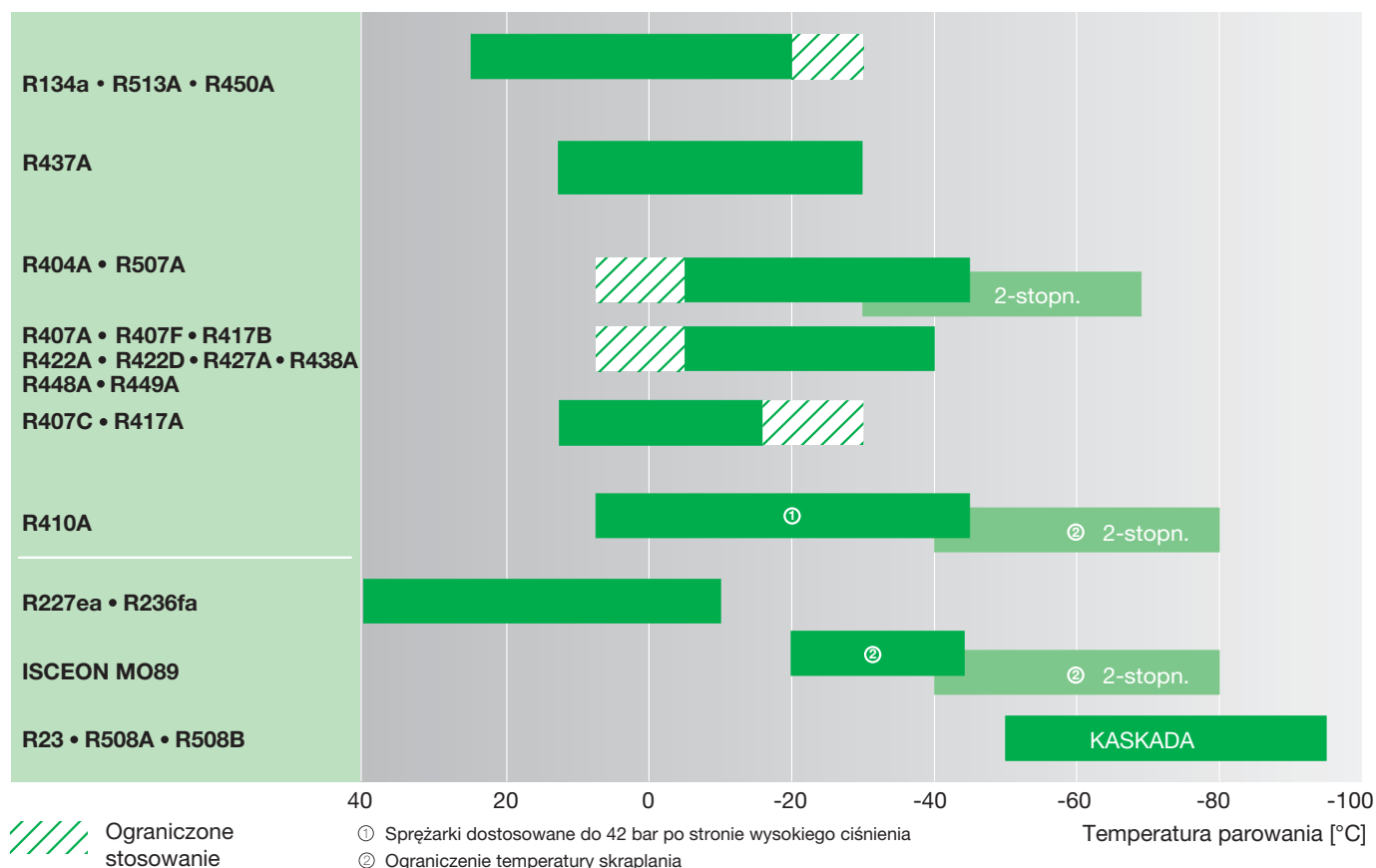
⑤ Dane dostępne na życzenie (należy podać parametry pracy)

⑥ Punkt potrójny przy 5,27 bar

Wielkości charakterystyczne obiegu podano w zaokrągleniu, w oparciu o wyniki pomiarów kalorymetrycznych.

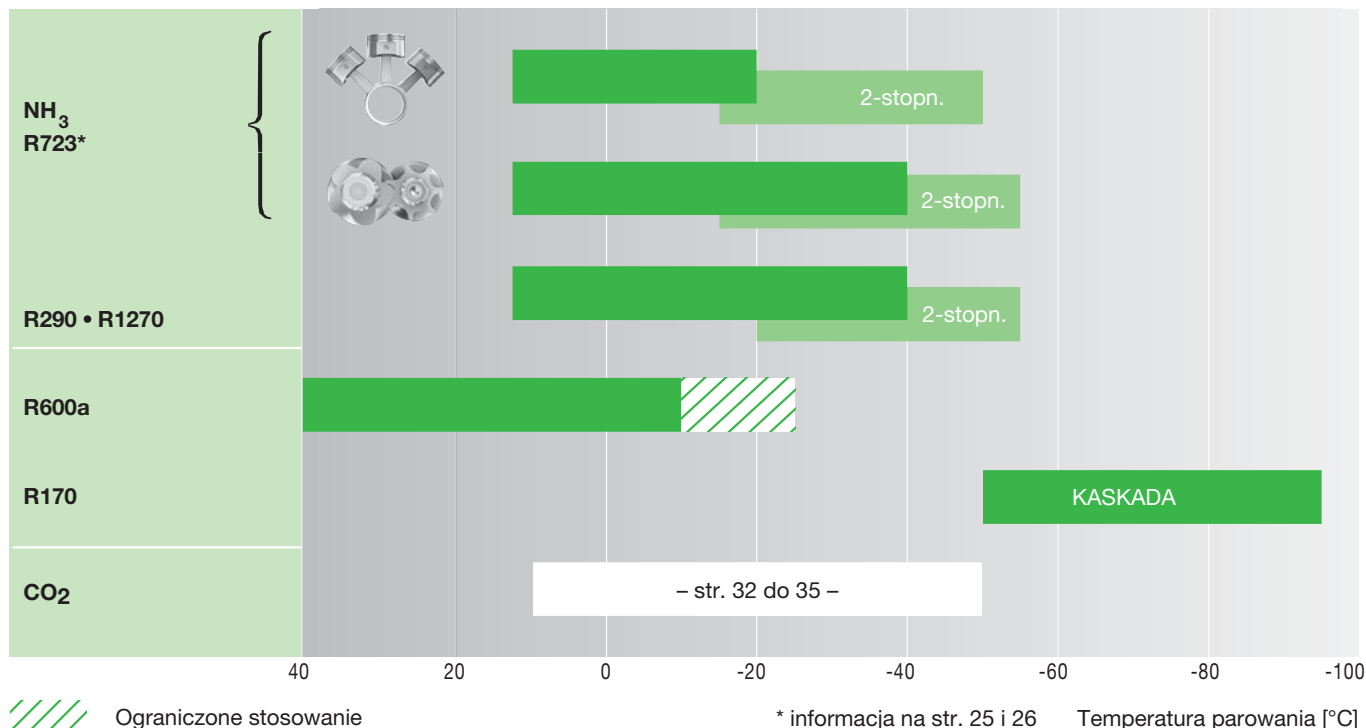
Przejęciowe / serwisowe czynniki chłodnicze


Rys. 35. Zakresy zastosowania czynników jednorodnych i mieszanin serwisowych z grupy HCFC

Czynniki chłodnicze HFC i HFO


Rys. 36. Zakresy zastosowania czynników jednorodnych i mieszanin z grupy HFC (ODP = 0)

Bezfluorowe czynniki chłodnicze



Rys. 37. Zakresy zastosowania bezfluorowych czynników chłodniczych

Oleje smarne

Rodzaj czynnika	Oleje tradycyjne				Nowe oleje			
	Mineralne (MO)	Alkilo-benzenowe (AB)	Mineralne + alkilo-benzenowe	Polialfaolefinowe (PAO)	Poliestrowe (POE)	Poliwinyleterowe (PVE)	Poliglikolowe (PAG)	Hydrokrowane oleje mineralne
(H)CFC	■	■	■	▨	⚠+VG	□	□	□
Mieszanki serwisowe z R22	▨	■	■	□	⚠+VG	□	□	□
HFC + mieszanki	□	▨	□	□	■	■	▨⚠	□
Mieszanki HFC / HC	▨	▨	▨	□	■	■	□	□
Mieszanki HFO + HFO / HFC	□	□	□	□	AD	□	□	□
Węglowodory (HC)	VG	VG	VG	VG	VG	□	▨⚠	□
NH ₃ • R723	■	▨	▨	■	□	□	▨⚠	■

- Dobra zgodność
- ▨ Ograniczone zastosowanie
- ▨ Zgodność zależna od rozwiązania układu
- Niezgodne
- ⚠ Szczególnie niebezpieczny wpływ obecności wilgoci
- VG Możliwa wyższa lepkość
- AD Możliwa specjalna formuła

Więcej informacji zawarto na str. 10 i 11 oraz w rozdziałach poświęconych poszczególnym czynnikom chłodniczym.

Rys. 38. Oleje do sprężarek chłodniczych



Notatki

A large grid of small green dots, intended for taking notes. The grid consists of approximately 30 columns and 30 rows of dots.

Notatki

Grid of dots for notes.





THE HEART OF FRESHNESS

Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH
Eschenbrännlestraße 15 // 71065 Sindelfingen // Germany
Tel +49(0)7031932-0 // Fax +49(0)7031932-147
bitzer@bitzer.de // www.bitzer.de

 **SCHIESSL**

SCHIESSL POLSKA Sp. z o.o.
ul. Raszyńska 13 // 05-500 Piaseczno
tel 22 750 42 94-95 // fax 22 750 42 96
schiessl@schiessl.pl // www.schiessl.pl