

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **237681**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427633**

(22) Data zgłoszenia: **04.11.2018**

(51) Int.Cl.

F25B 9/00 (2006.01)

F25B 49/02 (2006.01)

(54)

Autokaskadowy układ chłodniczy

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

18.05.2020 BUP 11/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

17.05.2021 WUP 10/21

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

MICHAŁ SOBIERAJ, Sandomierz, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Małgorzata Trejgis

PL 237681 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest autokaskadowy układ chłodniczy, wyposażony w element pomiarowy do pomiaru i regulacji składu czynnika roboczego.

W technice chłodniczej w celu uzyskania niskiej temperatury w przestrzeni chłodzonej stosuje się kaskadowe i autokaskadowe urządzenia chłodnicze. Autokaskadowy układ chłodniczy znany jest z opisu patentowego US3203194. Rozwiązanie takie pozwala na osiągnięcie niskiej temperatury odparowania w oparciu o zastosowanie jako czynnika roboczego zeotropowej mieszaniny lotnych substancji o różnej normalnej temperaturze wrzenia. Mieszanina taka charakteryzuje się poślizgiem temperatury, co oznacza, że izobaryczne przemiany skraplania i wrzenia nie są przemianami izotermicznymi. Wykorzystując zjawisko niecałkowitego skroplenia mieszaniny, możliwe jest odseparowanie składników wysokowrzących od substancji bardziej lotnych. Czynniki chłodnicze o wysokiej normalnej temperaturze wrzenia osiągając stan cieczy nasyconej wykorzystywane są do skroplenia substancji o niskiej temperaturze wrzenia, a te kolejno do osiągnięcia właściwego efektu chłodniczego.

Niezwykle istotna jest kwestia kontroli parametrów pracy układu autokaskadowego. Działanie układu jest ściśle uzależnione od proporcji składników tworzących mieszaninę będącą czynnikiem roboczym. Cechą szczególną i znacznym problemem eksploatacyjnym związanym z występowaniem w składzie mieszaniny czynników o wysokim ciśnieniu nasycenia jest wzrost ciśnienia przy uruchomieniu układu. Problem ten został przedstawiony w opisie patentowym US3698202. Jako rozwiązanie zastosowano układ obejściowy łączący stronę wysokiego ciśnienia układu chłodniczego ze stroną niskiego ciśnienia po stronie ssawnej sprężarki. Podobne rozwiązanie ujęto w opisie zastrzeżenia US7478540.

Autokaskadowe układy opisane wymienionych zastrzeżeniach wykorzystują jako czynniki robocze mieszaniny fluorowanych i chlorowanych pochodnych węglowodorów, czyli czynniki z grupy CFC, HCFC oraz HFC. Stosowanie części z tych substancji zostało zakazane w ramach protokołu Montrealskiego. Do grupy tych substancji zaliczyć można R11, R12 czy R13. Jako zamiennik czynnika R13 wprowadzono trifluorometan R23, którego zastosowanie zostaje stopniowo ograniczone ze względu na niezwykle wysoki współczynnik tworzenia efektu cieplarnianego. Możliwym rozwiązaniem może być wykorzystanie dwutlenku węgla.

Zastosowanie dwutlenku węgla jako czynnika chłodniczego znane jest w technice chłodniczej. W opisie patentowym US3872682 zaproponowano układ chłodniczy z wymiennikiem regeneracyjnym z mieszaniną zawierającą dwutlenek węgla. Układ taki ze względu na wysokie ciśnienie nasycenia mieszaniny zawierającej wysoki udział dwutlenku węgla pracuje w warunkach bliskim punktowi krytycznemu co ujemnie wpływa na efektywność urządzenia. Układy transkrytyczne pracujące z dwutlenkiem węgla zyskują popularność, wymagają jednak specjalnych rozwiązań technicznych w związku z pracą przy ciśnieniu tłoczenia do 12 MPa w warunkach klimatu umiarkowanego. Znane są z literatury [S.G. Kim, M.S. Kim, Experiment and simulation on the performance of an autocascade refrigeration system using carbon dioxide as a refrigerant, International Journal of Refrigeration. 25 (2002) 1093–1101] oraz [L. Zhang, S. Xu, P. Du, H. Liu, Experimental and theoretical investigation on the performance of CO₂/propane auto-cascade refrigerator with a fractionation heat exchanger, Applied Thermal Engineering. 87 (2015) 669–677] pracujące z zeotropową mieszaniną dwutlenku węgla i propanu, gdzie poślizg temperatury wynosi około 35K.

Rozwiązanie polegające na pomiarze i regulacji stężenia danego składnika mieszaniny zeotropowej przedstawione jest w opisie patentowym US5186012, w którym do kontroli składu cyrkulującej mieszaniny czynnika chłodniczego zastosowano przetworniki ciśnienia i temperatury. Sygnały z przetworników umożliwiają odczyt składu czynnika chłodniczego na podstawie krzywych ciśnienia pary, a odczytany skład stanowi sygnał zwrotny do sterowania przepływem. Regulacja składu mieszaniny zeotropowej odbywa się z wykorzystaniem odparowania lotnych czynników ze zbiornika z wykorzystaniem zewnętrznego obiegu dostarczania ciepła o wysokiej temperaturze. Rozwiązanie takie wymaga występowania zewnętrznego źródła ciepła i nie znajduje zastosowania w układach autokaskadowych.

Celem wynalazku jest opracowanie autokaskadowego urządzenia chłodniczego pracującego z mieszaniną zawierającą dwutlenek węgla, z wykorzystaniem elementu pomiarowego do kontroli składu czynnika roboczego oraz regulacji procesu chłodzenia.

Autokaskadowy układ chłodniczy według wynalazku wyposażony jest w sprężarkę, która jest połączona po stronie tłocznej kolejno z odolejaczem, skraplaczem, stroną skraplacza wymiennika regeneracyjnego i separatorem fazy, którego króciec parowy połączony jest poprzez stronę skraplacza wymiennika kaskadowego i pierwszy zawór rozprężny z wlotem parownika, a króciec cieczowy połączony

jest poprzez drugi zawór rozprężny z wylotem parownika. Wylot parownika włączony jest kolejno w obiegu powrotnym z wlotem strony parownika wymiennika kaskadowego, którego wylot strony parownika jest połączony z wlotem strony parownika wymiennika regeneracyjnego, którego to wylot połączony jest z króćcem ssawnym sprężarki. W układzie czynnikiem roboczym jest mieszanina zawierająca dwutlenek węgla oraz substancję o wyższej normalnej temperaturze wrzenia, a do układu jest przyłączony element pomiarowy do cyklicznego pomiaru składu czynnika roboczego, zaopatrzony w przetwornik temperatury i przetwornik ciśnienia. Autokaskadowy układ chłodniczy charakteryzuje się tym, że element pomiarowy składa się ze zbiornika z króćcem wlotowym, króćcem górnym i króćcem impulsowym usytuowanym powyżej króćca górnego, oraz tulei wewnętrznej stanowiącej gniazdo dla przetwornika temperatury, przy czym przetwornik ciśnienia jest przyłączony do króćca impulsowego, króciec górny elementu pomiarowego jest połączony poprzez optyczny wskaźnik poziomu cieczy z króćcem wylotowym, króciec wylotowy jest połączony poprzez zawór parowy z wlotem strony parownika wymiennika kaskadowego, zaś króciec wlotowy jest połączony poprzez zawór cieczowy z wylotem strony skraplacza wymiennika kaskadowego. Czynnik roboczy stanowi dwuskładnikowa mieszanina zawierająca dwutlenek węgla w udziale masowym od 20 do 80%.

Korzystnym jest, jeżeli zbiornik ma króciec górny usytuowany, tak że ponad jego poziomem występuje przestrzeń na poduszkę gazową o objętości od 10 do 40% objętości wewnętrznej zbiornika.

Korzystnym jest także, jeżeli w skład czynnika roboczego wchodzi izobutan albo trifluorodometan albo tetrafluoropropen albo difluoroetan w udziale masowym od 20% do 80%.

Dzięki zastosowaniu układu autokaskadowego, możliwe jest wykorzystanie dwutlenku węgla w podkrytycznym obiegu chłodniczym. Niezwykle istotna jest możliwość zastosowania czynników naturalnych lub czynników syntetycznych o niewielkim wpływie na środowisko. Ponadto układ taki charakteryzuje się niską wartością ciśnienia tłoczenia, na poziomie zbliżonym do konwencjonalnych czynników chłodniczych co umożliwia zastosowanie standardowych materiałów konstrukcyjnych. Niska wartość stosunku sprężania pozwala na osiągnięcie wysokiej efektywności energetycznej. Zastosowanie jako składników mieszaniny czynników o niższej od dwutlenku węgla temperaturze krzepnięcia pozwala na rozszerzenie zakresu stosowalności CO₂ w zakresie temperatury poniżej punktu potrójnego, tj. - 56,5°C. Wynalazek uzupełnia istniejącą technologię układów autokaskadowych o układ kontroli i regulacji parametrów pracy w oparciu o bieżący pomiar składu mieszaniny i elektroniczne elementy wykonawcze. Układ pomiaru składu opiera się na pomiarze wartości ciśnienia i temperatury cieczy w zamkniętym cylindrycznym naczyniu. Pomiar aktualnego składu mieszaniny oparty jest na algorytmie obliczeniowym, dla którego danymi wejściowymi wielkościami są wartość ciśnienia i temperatury mierzone w elemencie pomiarowym. Wartości te odpowiadają parametrom cieczy nasyconej. Dla znanych przebiegów krzywych nasycenia substancji tworzących mieszaninę możliwe jest określenie składu metodą iteracyjną na podstawie prawa Raulta dla cieczy nasyconej i Daltona dla pary suchej nasyconej.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat ideowy autokaskadowego układu chłodniczego, fig. 2 – schemat ideowy elementu pomiarowego, fig. 3 – element pomiarowy w widoku z boku, fig. 4 – element pomiarowy w widoku z góry, fig. 5 – element pomiarowy w przekroju A-A.

Jak przedstawiono na fig. 1, autokaskadowy układ chłodniczy jest wyposażony w sprężarkę 1, która jest połączona po stronie tłocznej kolejno z odolejaczem 2, skraplaczem 3, wymiennikiem regeneracyjnym 4 i separatorem fazy 5. Separator fazy 5 ma króciec parowy połączony poprzez wymiennik kaskadowy 6 i pierwszy zawór rozprężny 7 z wejściem parownika 8, a jego króciec cieczowy jest połączony poprzez drugi zawór rozprężny 9 z wyjściem parownika 8. Króciec parowy, którym to z separatora fazy wypływa para sucha, jest połączony z wlotem wymiennika kaskadowego 6, w którym to wymienniku zachodzi skraplanie czynnika, który odpływa następnie przez króciec wylotowy, następnie jest dławiony w pierwszym zaworze rozprężnym 7 i po rozprężeniu wpływa do wejścia parownika 8.

Wymiennik kaskadowy 6 ma stronę spełniającą funkcję skraplacza, do której wpływa para czynnika i wypływa po skropleniu jako ciecz; oraz stronę będącą parownikiem w której zachodzi parowanie czynnika powracającego z parownika 8 zmieszanego z czynnikiem odpływającym z króćca cieczowego separatora fazy 5, który uprzednio zostaje zdławiony w drugim zaworze rozprężnym 9. Wymiennik kaskadowy 6 jest wymiennikiem przeponowym rozdzielającym czynnik „ciepły” – czyli skraplający się od czynnika „zimnego” ulegającego parowaniu na rzecz skraplania czynnika „ciepłego”. Zatem jedna strona to skraplacz czyli strona ciepła, zaś druga strona to parownik inaczej strona zimna.

W autokaskadowym układzie chłodniczym czynnikiem roboczym jest mieszanina zawierająca dwutlenek węgla oraz substancję o wyższej normalnej temperaturze wrzenia, a do układu jest przyłączony element pomiarowy 10 do cyklicznego pomiaru składu czynnika roboczego, zaopatrzony w przetwornik temperatury 18 i przetwornik ciśnienia 19. Element pomiarowy 10, przedstawiony na fig. 2–5, składa się ze zbiornika 13 z króćcem wlotowym 14, króćcem górnym 15 i króćcem impulsowym 22 usytuowanym powyżej króćca górnego 15, oraz tulei wewnętrznej 21 stanowiącej gniazdo dla przetwornika temperatury 18. Przetwornik ciśnienia 19 jest przyłączony do króćca impulsowego 22, króciec górny 15 elementu pomiarowego 10 jest połączony poprzez optyczny wskaźnik poziomu cieczy 16 z króćcem wylotowym 17, króciec wylotowy 17 jest połączony poprzez zawór parowy 11 z wlotem obiegu powrotnego wymiennika kaskadowego 6, zaś króciec wlotowy 14 jest połączony poprzez zawór cieczowy 12 z wylotowym króćcem cieczowym wymiennika kaskadowego 6. Obieg powrotny to inaczej strona wymiennika kaskadowego 6 będąca parownikiem. Wylot z elementu pomiarowego 10 włączony jest poprzez zawór parowy 11 do wylotu strony parownika wymiennika kaskadowego 6.

Wlot elementu pomiarowego 10 poprzez króciec 14 i zawór cieczowy 12 jest włączony do wylotu strony skraplacza wymiennika kaskadowego 6.

Czynnik roboczy stanowi dwuskładnikowa mieszanina zawierająca dwutlenek węgla w udziale masowym od 20 do 80%. Drugim czynnikiem chłodniczym wchodzącym w skład czynnika roboczego jest izobutan albo trifluorjodometan albo tetrafluoropropen albo difluoroetan w udziale masowym od 20% do 80%.

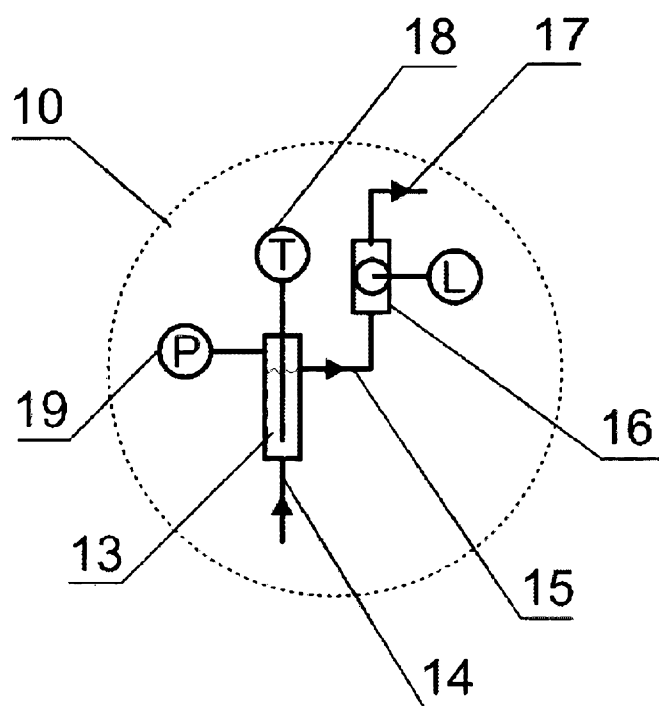
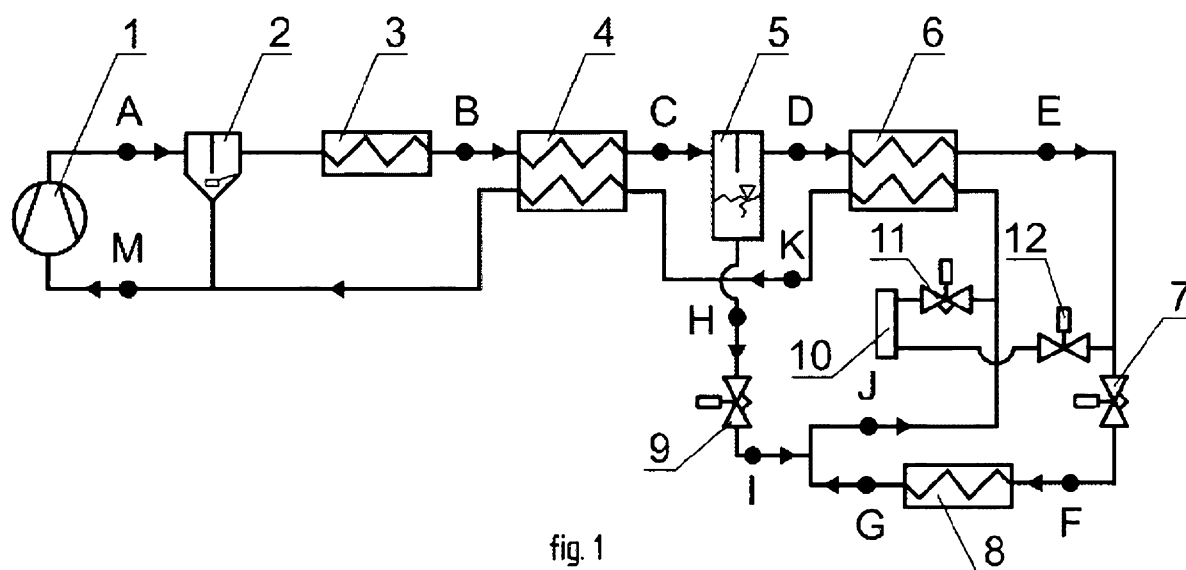
Zeotropowa mieszanina czynników chłodniczych, stanowiąca czynnik roboczy, znajdująca się w stanie M na wlocie sprężarki 1, zostaje sprężona w sprężarce 1 do warunków odpowiadających punktowi A na wlocie odolejacza 2. Przepływając przez odolejacz 2 zostaje w znacznym stopniu pozbawiona oleju. W skraplaczu wodnym 3 część mieszaniny ulega skropleniu osiągając stan B na wlocie wymiennika regeneracyjnego 4. Dla zapewnienia właściwego podziału strumienia masy czynnika roboczego, w wymienniku regeneracyjnym 4 kontynuowany jest proces częściowego skraplania mieszaniny aż do osiągnięcia stanu C na wlocie separatora fazy 5. W separatorze fazy 5 następuje rozdzielenie frakcji gazowej od frakcji ciekłej. Faza gazowa znajdująca się w stanie D na wlotowym króćcu parowym, bogata w czynnik wysokociśnieniowy tj. dwutlenek węgla, jest skraplana w kaskadowym wymienniku ciepła 6 osiągając stan E na wylotowym króćcu cieczowym. Następnie jest rozprężana za pomocą sterowanego elektronicznie zaworu rozprężnego 7 do stanu F na wlocie parownika 8. W parowniku 8 osiągany jest właściwy efekt chłodniczy czynnika roboczego. Czynniki roboczy po częściowym odparowaniu, będący w stanie G na wylocie z parownika 8, mieszany jest z rozprężoną w drugim zaworze rozprężnym 9 frakcją ciekłą znajdującą się w stanie I, osiągając po zmieszaniu stan J na wlocie do kaskadowego wymiennika ciepła 6. Czynniki roboczy jest kolejno kierowany do wymiennika kaskadowego 6 gdzie odparowując osiąga stan K na jego wylocie. Odparowanie zachodzi na rzecz skroplenia czynnika gazowego ze stanu D do E. Po przejściu przez wymiennik kaskadowy 6 wilgotna, nasycona lub przegrzana para czynnika roboczego w stanie K kierowana jest do wymiennika regeneracyjnego 4. Para czynnika roboczego, znajdująca się w stanie M na wylocie wymiennika regeneracyjnego 4, zasysana jest przez sprężarkę 1. Pomiędzy kaskadowym wymiennikiem ciepła 6 a zaworem cieczowym 12 jest cyklicznie pobierana do elementu pomiarowego 10 porcja ciekłej mieszaniny o stanie E, za pomocą sterowanych elektronicznie zaworów 11 i 12, parowego i cieczowego. W danym cyklu pomiarowym następuje napełnienie zbiornika 13 elementu pomiarowego 10. Otwarty zostaje zawór cieczowy 12, a następnie stopniowo otwierany jest zawór parowy 11. Zawory 11, 12, parowy i cieczowy, zamykają się w momencie, kiedy optyczny wskaźnik poziomu cieczy 16 działający na zasadzie rozpraszania promieniowania podczerwonego zasygnalizuje pojawienie się pełnego przepływu cieczy w oknie inspekcyjnym L poprzez wygenerowanie stanu wysokiego na wyjściu cyfrowym. Oznacza to odpowiednie wypełnienie zbiornika 13 ciekłym czynnikiem roboczym, przy jednoczesnym pozostawieniu wolnej przestrzeni w postaci poduszki gazowej w górnej części zbiornika 13, co zostaje osiągnięte przez odpowiednią konstrukcję i usytuowanie króćców. Wolna przestrzeń pozwala na zapewnienie miejsca dla rozszerzającej się cieczy. Zbiornik jest zaizolowany warstwą izolacji 23, zapobiegającej intensywnemu procesowi odparowania cieczy nasyconej. Na podstawie zmierzonych wartości ciśnienia i temperatury nasycenia określany jest skład mieszaniny binarnej. Po dokonaniu pomiaru, zbiornik 13 zostaje częściowo opróżniony do zadanej wartości ciśnienia poprzez otwarcie zaworu parowego 11. Cykl zostaje powtórzony w ramach założonego harmonogramu czasowego. Ze względu na znikomą pojemność wewnętrzną zbiornika 13, działanie układu pomiarowego nie powoduje negatywnego wpływu na działanie układu chłodniczego. Korekta

składu i osiągnięcie optymalnych proporcji oraz zapewnienia właściwej temperatury procesu w parowniku 8 jest zapewnione poprzez działanie elektronicznych zaworów rozprężnych 7, 9, pierwszego i drugiego. Przebieg procesu skraplania regulowany jest poprzez zmianę parametrów czynnika odbierającego ciepło od mieszaniny w skraplaczu 3. Zmiana ta dokonywana jest poprzez zmieszanie cieczy chłodzącej skraplacz w przypadku skraplacza 3 chłodzonego cieczą lub poprzez zmianę obrotów wentylatora w przypadku skraplacza 3 chłodzonego powietrzem. Zastosowanie elementu pomiarowego 10 z oknem inspekcyjnym L optycznego wskaźnika poziomu cieczy 16 pozwala na określenie właściwego poziomu napełnienia czynnikiem roboczym kaskadowego układu chłodniczego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Autokaskadowy układ chłodniczy wyposażony w sprężarkę (1), która jest połączona po stronie tłocznej kolejno z odolejaczem (2), skraplaczem (3), stroną skraplacza wymiennika regeneracyjnego (4) i separatorem fazy (5), którego króciec parowy połączony jest poprzez stronę skraplacza wymiennika kaskadowego (6) i pierwszy zawór rozprężny (7) z wlotem parownika (8), a króciec cieczowy połączony jest poprzez drugi zawór rozprężny (9) z wylotem parownika (8), przy czym ten wylot parownika (8) włączony jest kolejno w obiegu powrotnym z wlotem strony parownika wymiennika kaskadowego (6), którego wylot strony parownika jest połączony z wlotem strony parownika wymiennika regeneracyjnego (4), którego to wylot połączony jest z króćcem ssawnym sprężarki (1), przy czym w układzie czynnikiem roboczym jest mieszanina zawierająca dwutlenek węgla oraz substancję o wyższej normalnej temperaturze wrzenia, a do układu jest przyłączony element pomiarowy (10) do cyklicznego pomiaru składu czynnika roboczego, zaopatrzony w przetwornik temperatury (18) i przetwornik ciśnienia (19), **znamienny tym**, że element pomiarowy (10) składa się ze zbiornika (13) z króćcem wlotowym (14), króćcem górnym (15) i króćcem impulsowym (22) usytuowanym powyżej króćca górnego (15), oraz tulei wewnętrznej (21) stanowiącej gniazdo dla przetwornika temperatury (18), przy czym przetwornik ciśnienia (19) jest przyłączony do króćca impulsowego (22), króciec górny (15) elementu pomiarowego (10) jest połączony poprzez optyczny wskaźnik poziomu cieczy (16) z króćcem wylotowym (17), króciec wylotowy (17) jest połączony poprzez zawór parowy (11) z wlotem obiegu powrotnego wymiennika kaskadowego (6), zaś króciec wlotowy (14) jest połączony poprzez zawór cieczowy (12) z wylotowym króćcem cieczowym wymiennika kaskadowego (6), przy czym czynnik roboczy stanowi dwuskładnikowa mieszanina zawierająca dwutlenek węgla w udziale masowym od 20 do 80%.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zbiornik (13) ma króciec górny (15) usytuowany tak, że ponad jego poziomem występuje przestrzeń na poduszkę gazową o objętości od 10 do 40% objętości wewnętrznej zbiornika (13).
3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w skład czynnika roboczego wchodzi izobutan albo trifluorojodometan albo tetrafluoropropen albo difluoroetan w udziale masowym od 20% do 80%.

Rysunki



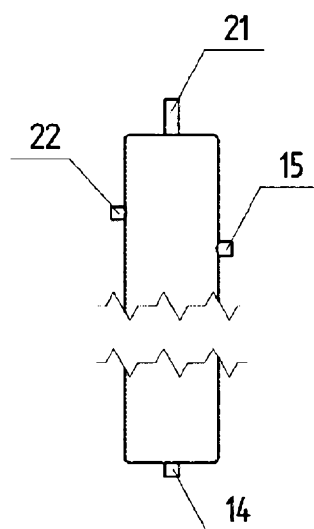


fig. 3

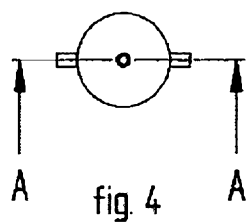


fig. 4

PRZESKÓJ A-A

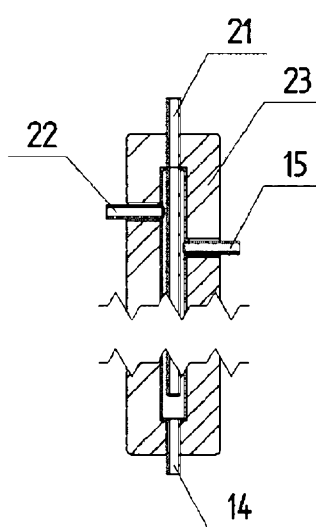


fig. 5