

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241911**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **434999**

(22) Data zgłoszenia: **18.08.2020**

(51) Int.Cl.

F28D 15/02 (2006.01)

F28F 23/00 (2006.01)

C09K 5/02 (2006.01)

F25B 23/00 (2006.01)

F25B 7/00 (2006.01)

(54) **Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny pracujący z dwutlenkiem węgla,
układ chłodniczy zawierający taki dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny
oraz sposób przenoszenia ciepła z jego zastosowaniem**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

21.02.2022 BUP 08/22

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

27.12.2022 WUP 52/22

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

MICHAŁ SOBIERAJ, Sandomierz, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Piotr Godlewski

PL 241911 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny pracujący z dwutlenkiem węgla, układ chłodniczy zawierający taki dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny oraz sposób przenoszenia ciepła z jego zastosowaniem.

W stanie techniki znane są urządzenia chłodnicze zwane rurką cieplną wykorzystujące efekt kapilarny do transferu ciepła w zamkniętej objętości. W części rozwiązań stosowane są cyrkulacyjne rurki cieplne, zwane termosyfonowymi wymiennikami ciepła.

W opisie patentowym PL 223720 B1 przedstawiono termosyfonowy rurowy wymiennik ciepła, wykorzystujący wodne roztwory alkoholi i nanopłynów jako czynnik roboczy, przeznaczony do odzysku ciepła w układach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Z racji zastosowanego czynnika roboczego, rozwiązanie to jest przeznaczone zwłaszcza do układów pracujących w zakresie dodatnich wartości temperatury. Ponadto, ze względu na niedostateczną lotność zastosowanego czynnika roboczego, układ wymaga wykorzystania zewnętrznego urządzenia w postaci pompy próżniowej do obniżania ciśnienia w przestrzeni wymiennika ciepła, co powoduje zwiększenie stopnia złożoności konstrukcji i obniża niezawodność urządzenia.

Z patentu PL 230688 B1 znane jest rozwiązanie wykorzystujące pęczek rurek napełnionych czynnikiem roboczym do przenoszenia ciepła w urządzeniach klimatyzacyjnych, zwłaszcza w zakresie dodatniej temperatury. W rozwiązaniu zastosowano czynniki robocze z grupy fluorowanych węglowodorów HFC i HFO, a zatem substancje charakteryzujące się negatywnym wpływem na środowisko.

W patencie PL 192757 B1 przedstawiono termosyfonowy wymiennik ciepła w postaci pęczka rur we wspólnej obudowie zanurzonych w wodzie destylowanej. Rozwiązanie przeznaczone jest do pracy w zakresie wysokiej temperatury czynnika zasilającego układ w ciepło.

W opisie patentowym US20160231063A1 przedstawiono złożony sprężarkowy układ chłodniczy pracujący z dwutlenkiem węgla w obiegu podkrytycznym. Urządzenie wykorzystuje grawitacyjny termosyfonowy obieg cieplny do zasilania części parowników. Ze względu na temperaturę punktu potrójnego CO₂, niemożliwe jest uzyskanie temperatury parowania poniżej -56,5°C.

Z opisu EP1493983A1 znany jest termosyfonowy obieg cieplny współpracujący z silnikiem Stirlinga z zastosowaniem naturalnych czynników roboczych, w zakresie wysokiej temperatury przemian fazowych.

W publikacji [Z. Tong i in.: An experimental investigation of an R744 two-phase thermosyphon loop used to cool a data center, Applied Thermal Engineering. 90 (2015) 362–365] opisano dwufazowy obieg termosyfonowy z CO₂ przeznaczony do chłodzenia serwerów danych, pracujący przy temperaturze rzędu 20°C.

W publikacji [T. Ding, i in.: Boiling heat transfer characteristics of the R744 coolant in the evaporator of the separated heat pipe system, International Journal of Heat and Mass Transfer. 113 (2017) 1254–1264] przedstawiono charakterystykę cieplną obiegu termosyfonowego pracującego z CO₂ przy temperaturze w zakresie 20°C do 30°C, a więc w warunkach zbliżonych do temperatury krytycznej.

W technice chłodniczej dla uzyskania niskiej temperatury przestrzeni chłodzonej stosuje się niskowrzące substancje fluorowane takie jak trifluorometan (R23), charakteryzujący się niezwykle wysoką wartością współczynnika tworzenia efektu cieplarnianego na poziomie 14800. Obecnie nie istnieją bezpieczne dla środowiska i użytkowników bezpośrednio zamienniki czynnika R23. Możliwe byłoby stosowanie urządzeń chłodniczych wykorzystujących naturalne, nieszkodliwe dla środowiska substancje takie jak: etan R170 lub etylen R1150. Rozwiązanie takie okupione jest jednak ryzykiem związanym z palnością tych substancji i nie może być powszechnie stosowane z względu na zakaz prowadzenia instalacji chłodniczych o znacznym napełnieniu czynnikami palnymi wewnątrz pomieszczeń o przeznaczeniu ogólnym.

W związku z powyższym celem wynalazku było stworzenie układu chłodniczego możliwego do zastosowania również wewnątrz pomieszczeń a także bezpiecznego w kontekście ochrony środowiska, czyli eliminującego użycie fluorowanych węglowodorów jako czynników chłodniczych.

Przedmiotem wynalazku jest dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny pracujący z dwutlenkiem węgla zawierający skraplacz, którego króciec wylotowy jest połączony przewodem rurowym cieczowym z króćcem wlotowym położonego niżej parownika, którego króciec wylotowy jest połączony przewodem rurowym parowym z króćcem wlotowym skraplacza, charakteryzujący się tym, że czynnikiem chłodniczym jest roztwór stałego dwutlenku węgla w ciekłym rozpuszczalniku.

Korzystnie ciekły rozpuszczalnik jest wybrany z grupy obejmującej węglowodory nasycone i węglowodory nienasycone oraz ich fluorowane i jodowane pochodne oraz ich mieszaniny.

Korzystniej ciekły rozpuszczalnik jest wybrany z grupy obejmującej butan R600, izobutan R600a, propan R290, difluoroetan R152a, tetrafluoroetan R134a, tetrafluoropropen R1234, difluorometan R32 oraz trifluorjodometan R1311.

Korzystnie stężenie molowe dwutlenku węgla w ciekłym rozpuszczalniku wynosi od 25 do 95%.

Kolejnym przedmiotem wynalazku jest układ chłodniczy zawierający zewnętrzny obieg pierwotny i wewnętrzny obieg wtórny, charakteryzujący się tym, że wewnętrzny obieg wtórny stanowi dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny opisany powyżej.

Korzystnie zewnętrzny obieg pierwotny stanowi chłodniczy układ kaskadowy, składający się ze sprężarki dolnego stopnia, wymiennika kaskadowego, sprężarki górnego stopnia, skraplacza dolnego stopnia, zaworu rozprężnego górnego stopnia oraz zaworu rozprężnego dolnego stopnia.

Ponadto korzystnie stosowany w zewnętrznym obiegu pierwotnym czynnik chłodniczy jest wybrany z grupy palnych czynników chłodniczych obejmujących etan R170 oraz etylen R1150.

Również korzystnie skraplacz termosyfonowego obiegu cieplnego jest jednocześnie parownikiem układu chłodniczego.

Jeszcze kolejnym przedmiotem wynalazku jest sposób przenoszenia ciepła z zastosowaniem dwufazowego obiegu cieplnego według wynalazku charakteryzujący się tym, że obejmuje etapy:

- a) krystalizacji CO₂ na powierzchni wymiennika ciepła;
- b) rozpuszczenia nadmiaru skryzalizowanego CO₂ przez parowy film rozpuszczalnika kondensującego na powierzchni wymiany ciepła;
- c) odpływu roztworu stałego CO₂ ze skraplacza w rozpuszczalniku;
- d) grawitacyjnego spłynięcia roztworu stałego CO₂ do parownika;
- e) parowania roztworu stałego CO₂ w parowniku;
- f) właściwego efektu chłodniczego w parowniku;
- g) obniżenia temperatury w przestrzeni chłodzonej ;
- h) odpłynięcia nasyconej pary roztworu z parownika oraz jej odprowadzenia przewodem parowym do skraplacza;
- i) izotermicznego skroplenia roztworu w skraplaczu.

Korzystnie maksymalne stężenie rozpuszczonego stałego CO₂ w etapie b) jest zależne od temperatury parowego filmu rozpuszczalnika kondensującego na powierzchni wymiany ciepła i wynosi od 25 do 95%.

Dodatkowo korzystnie parowanie roztworu stałego CO₂ w etapie e) zachodzi na skutek doprowadzenia zewnętrznego strumienia ciepła z przestrzeni chłodzonej.

Korzystnie obniżenie temperatury w przestrzeni chłodzonej w etapie g) następuje do temperatury niższej niż -56,5°C.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest to, iż pozwala ono na przenoszenie ciepła z zastosowaniem obiegu termosyfonowego z dwutlenkiem węgla (R744) jako naturalnym czynnikiem chłodniczym. Powszechnym ograniczeniem zakresu stosowalności dwutlenku węgla R744 jako czynnika roboczego jest temperatura punktu potrójnego tj. -56,5°C. Poniżej tej temperatury CO₂ występuje jako suchy lód. Dzięki zastosowaniu rozpuszczalnika o niskiej temperaturze krzepnięcia wybranego z grupy węglowodorów nasyconych i nienasyconych oraz ich fluorowanych lub jodowanych pochodnych, możliwe jest uzyskanie temperatury kriogenicznej z wykorzystaniem substancji o niskim wpływie na środowisko.

Dodatkową zaletę stanowi to, iż proponowany obieg termosyfonowy pozwala na transfer ciepła z przestrzeni chłodzonej do zewnętrznego źródła chłodu, którym może być chłodniczy układ kaskadowy z R170 lub R1150, składający się ze sprężarki dolnego stopnia, wymiennika kaskadowego, sprężarki górnego stopnia, skraplacza dolnego stopnia, zaworu rozprężnego górnego stopnia oraz zaworu rozprężnego dolnego stopnia. W ten sposób następuje rozdzielenie obiegów: pierwotnego z czynnikami palnymi i wtórny z dwutlenkiem węgla. Rozwiązanie takie zapewnia wysokie bezpieczeństwo użytkowania, wysoką sprawność przenoszenia ciepła przy niewielkim wpływie na środowisko. Ponadto rozwiązanie umożliwia przekazywanie ciepła z przestrzeni chłodzonej dzięki sile wyporu, będącej wynikiem różnicy gęstości czynnika roboczego poddawanego przemianom fazowym.

Pod pojęciem czynnik roboczy (czynnik chłodniczy) rozumie się czynnik termodynamiczny o właściwej do zastosowania lotności, podlegający przemianom cieplnym w zamkniętym układzie. Oba sformułowania mogą być używane zamiennie i należy je traktować jako synonimy.

Przedmiot wynalazku został przedstawiany na załączonym rysunku, na którym:

- Fig. 1 przedstawia schemat dwufazowego termo syfonowego obiegu cieplnego, gdzie odnośniki liczbowe oznaczają: 1 – skraplacz, 2 – przewód rurowy cieczowy, 3 – parownik, 4 – przewód rurowy parowy
- Fig. 2 przedstawia wykres dotyczący przemian fazowych, jakim podlega roztwór dwutlenku węgla w dwufazowym termosyfonowym obiegu cieplnym, gdzie jako A oznaczono roztwór w stanie nasycenia, B – roztwór przesycony, C – roztwór nasycony odpływający ze skraplacza, D – roztwór nienasycony.
- Fig. 3 przedstawia sposób wykonania termosyfonu połączonego z obiegiem pierwotnym kaskadowym złożonym ze sprężarki dolnego stopnia 5, wymiennika kaskadowego 6, sprężarki górnego stopnia 7, skraplacza dolnego stopnia 8, zaworu rozprężnego górnego stopnia 9 oraz zaworu rozprężnego dolnego stopnia 10.

Przykłady wykonania

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w poniższych przykładach wykonania, które jakkolwiek nie mają charakteru ograniczającego.

Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny (Fig. 1) pracujący z dwutlenkiem węgla wyposażony jest w skraplacz 1, którego króciec wylotowy połączony jest przewodem rurowym cieczowym 2 z króćcem wlotowym parownika 3, którego króciec wylotowy jest połączony przewodem rurowym parowym 4 z króćcem wlotowym skraplacza 1. Skraplacz 1 termo syfonowego obiegu cieplnego jest jednocześnie parownikiem 11 układu chłodniczego, w którym następuje wrzenie etanu R170 lub etylenu R1150 w temperaturze -80°C , będącego czynnikiem roboczym w układzie dolnego stopnia, składającym się ze sprężarki dolnego stopnia 5 sprężającej parę etanu w celu jej skroplenia w wymienniku kaskadowym 6 w temperaturze -10°C w przypadku etanu lub -30°C w przypadku etylenu, a następnie odparowanie ciekłego czynnika w parowniku 11 układu chłodniczego.

Czynnikiem roboczym w dwufazowym obiegu cieplnym jest roztwór dwutlenku węgla w rozpuszczalniku z grupy węglowodorów lub ich fluorowanych pochodnych. Korzystnie jako rozpuszczalnik stosuje się butan R600, izobutan R600a, propan R290 oraz substancje fluorowane: Difluoroetan 152a, tetrafluoroetan R134a, tetrafluoropropen R1234, difluorometan R32 oraz trifluorojodometan R1311.

Przykładowo, zastosowany został roztwór dwutlenku węgla w difluorometanie R32, gdzie stężenie molowe dwutlenku węgla wynosiło 73%.

Przykładowo zastosowany został roztwór dwutlenku węgla w etanie R170, gdzie stężenie molowe CO_2 wynosiło 49%.

Na Figurze 2 przedstawiono wykres przemian fazowych, jakim podlega roztwór dwutlenku węgla w dwufazowym termo syfonowym obiegu cieplnym. I tak, w skraplaczu 1, którego temperatura ścianki jest niższa od temperatury nasycenia roztworu roboczego dochodzi do krystalizacji CO_2 (A) na powierzchni wymiennika kaskadowego 6, ze względu na niższą rozpuszczalność stałego w warstwie przyściennej filmu kondensacyjnego wynikającą z lokalnego obniżenia temperatury płynu (B). Nadmiar skryształizowanego CO_2 jest rozpuszczany przez parowy film rozpuszczalnika kondensującego na powierzchni wymiany ciepła. Maksymalne stężenie rozpuszczonego stałego CO_2 jest ściśle zależne od temperatury kondensatu odpływającego ze skraplacza. Nadmiar CO_2 w postaci stałej może osadzać się na powierzchni wymiany ciepła (Ax2), powodując wzrost oporu cieplnego. Z tego względu istotny jest właściwy dobór stężenia CO_2 i temperatury powierzchni wymiany ciepła. Nienasycony lub nasycony roztwór stałego CO_2 w rozpuszczalniku (C) odpływa ze skraplacza 1 i grawitacyjnie spływa do położonego niżej parownika 3, w którym zachodzi proces parowania roztworu na skutek doprowadzenia zewnętrznego strumienia ciepła z przestrzeni chłodzonej. W parowniku 3 zachodzi właściwy efekt chłodniczy pozwalający na obniżenie temperatury w przestrzeni chłodzonej poniżej temperatury punktu potrójnego czystego CO_2 , tj. poniżej $-56,5^{\circ}\text{C}$. Z parownika 3 odpływa para nasycona roztworu, która kierowana jest przewodem parowym 4 do skraplacza 1, gdzie następuje nie izotermiczny proces skraplania roztworu (D-A-B).

Wykaz oznaczeń:

- 1 – skraplacz obiegu termosyfonowego
- 2 – przewód rurowy cieczowy
- 3 – parownik
- 4 – przewód rurowy parowy

- 5 – sprężarka dolnego stopnia
- 6 – wymiennik kaskadowy
- 7 – sprężarka górnego stopnia
- 8 – skraplacz dolnego stopnia
- 9 – zawór rozprężny górnego stopnia
- 10 – zawór rozprężny dolnego stopnia
- 11 – parownik układu chłodniczego

Zastrzeżenia patentowe

1. Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny pracujący z dwutlenkiem węgla zawierający skraplacz (1), którego króciec wylotowy jest połączony przewodem rurowym cieczowym (2) z króćcem wlotowym położonego niżej parownika (3), którego króciec wylotowy jest połączony przewodem rurowym parowym (4) z króćcem wlotowym skraplacza (1), **znamienny tym**, że czynnikiem roboczym jest roztwór stałego dwutlenku węgla w ciekłym rozpuszczalniku.
2. Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciekły rozpuszczalnik jest wybrany z grupy obejmującej węglowodory nasycone i węglowodory nienasycone oraz ich fluorowane i jodowane pochodne oraz ich mieszaniny.
3. Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny według zastrz. 2, **znamienny tym**, że ciekły rozpuszczalnik jest wybrany z grupy obejmującej butan R600, izobutan R600a, propan R290, difluoroetan R152a, tetrafluoroetan R134a, tetrafluoropropen R1234, difluorometan R32 oraz trifluorojodometan R13I1.
4. Dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny według zastrz. 1 albo 2 albo 3, **znamienny tym**, że stężenie molowe dwutlenku węgla w ciekłym rozpuszczalniku wynosi od 25 do 95%.
5. Układ chłodniczy zawierający zewnętrzny obieg pierwotny i wewnętrzny obieg wtórny, **znamienny tym**, że wewnętrzny obieg wtórny stanowi dwufazowy termosyfonowy obieg cieplny jak określono w którymkolwiek z zastrzeżeń od 1 do 4.
6. Układ chłodniczy według zastrz. 5, **znamienny tym**, że zewnętrzny obieg pierwotny stanowi chłodniczy układ kaskadowy, składający się ze sprężarki dolnego stopnia (5), wymiennika kaskadowego (6), sprężarki górnego stopnia (7), skraplacza górnego stopnia (8), zaworu rozprężnego górnego stopnia (9) oraz zaworu rozprężnego dolnego stopnia (10).
7. Układ chłodniczy według zastrz. 6, **znamienny tym**, że stosowany w zewnętrznym obiegu pierwotnym czynnik chłodniczy jest wybrany z grupy palnych czynników chłodzących obejmujących etan R170 oraz etylen R1150.
8. Układ chłodniczy według zastrz. 5, **znamienny tym**, że skraplacz (1) termosyfonowego obiegu cieplnego jest jednocześnie parownikiem (11) układu chłodniczego.
9. Sposób przenoszenia ciepła z zastosowaniem dwufazowego obiegu cieplnego jak zdefiniowano w zastrzeżeniach 1–4, **znamienny tym**, że w skraplaczu (1) chłodzi się pary roztworu doprowadzając do krystalizacji CO₂ na powierzchni wymiennika kaskadowego (6), a następnie doprowadza się do rozpuszczenia nadmiaru skryzalizowanego CO₂ przez parowy film rozpuszczalnika kondensującego na powierzchni wymiany ciepła, a roztwór stałego CO₂ w rozpuszczalniku odprowadza się ze skraplacza (1), kierując grawitacyjnie roztwór stałego CO₂ do parownika (3), gdzie doprowadza się do parowania roztworu stałego CO₂, uzyskując właściwy efekt chłodniczy doprowadzając do obniżenia temperatury w przestrzeni chłodzonej, a następnie kieruje odpływ nasyconej pary roztworu z parownika (3) i odprowadza się przewodem parowym (4) do skraplacza (1), doprowadzając do izotermicznego skroplenia roztworu w skraplaczu (1).
10. Sposób według zastrzeżenia 9, **znamienny tym**, że reguluje się: maksymalne stężenie rozpuszczonego stałego CO₂ w zależności od temperatury parowego filmu rozpuszczalnika kondensującego na powierzchni wymiany ciepła i wynosi ono od 25 do 95%.
11. Sposób według zastrzeżeń 9–10, **znamienny tym**, że doprowadza się do parowania roztworu stałego CO₂ w parowniku (3) poprzez doprowadzenie zewnętrznego strumienia ciepła z przestrzeni chłodzonej.
12. Sposób według zastrzeżeń 9–11, **znamienny tym**, że obniża się temperaturę w przestrzeni chłodzonej do temperatury niższej niż -56,5°C.

Rysunki

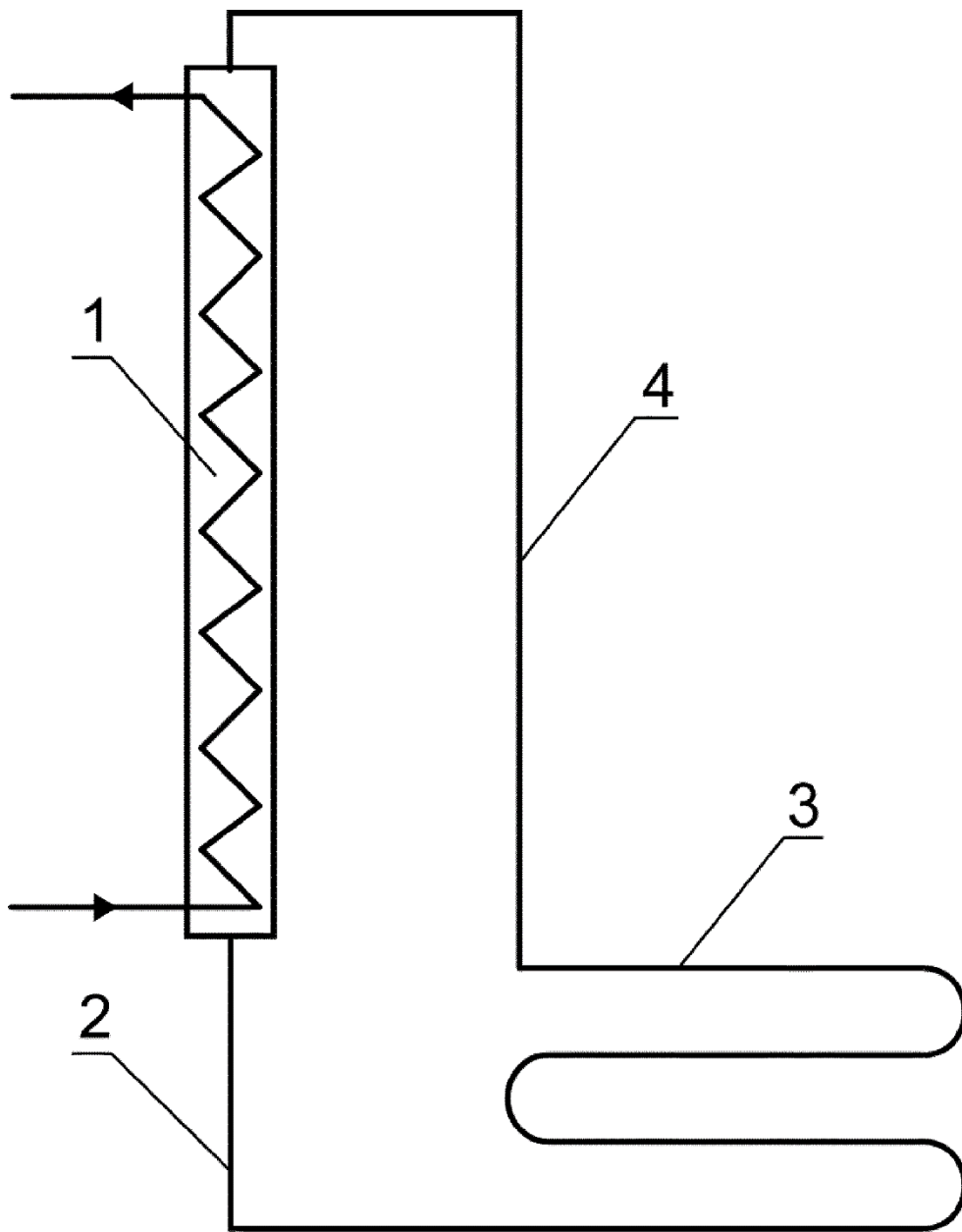


fig. 1

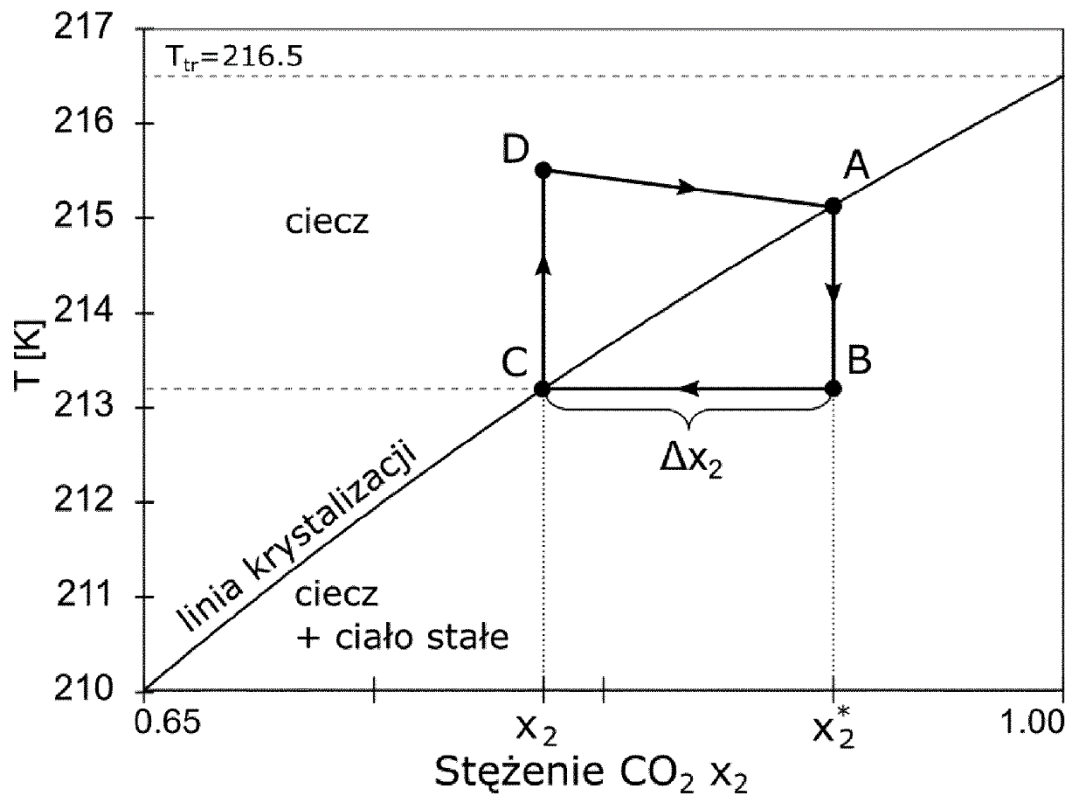


fig. 2

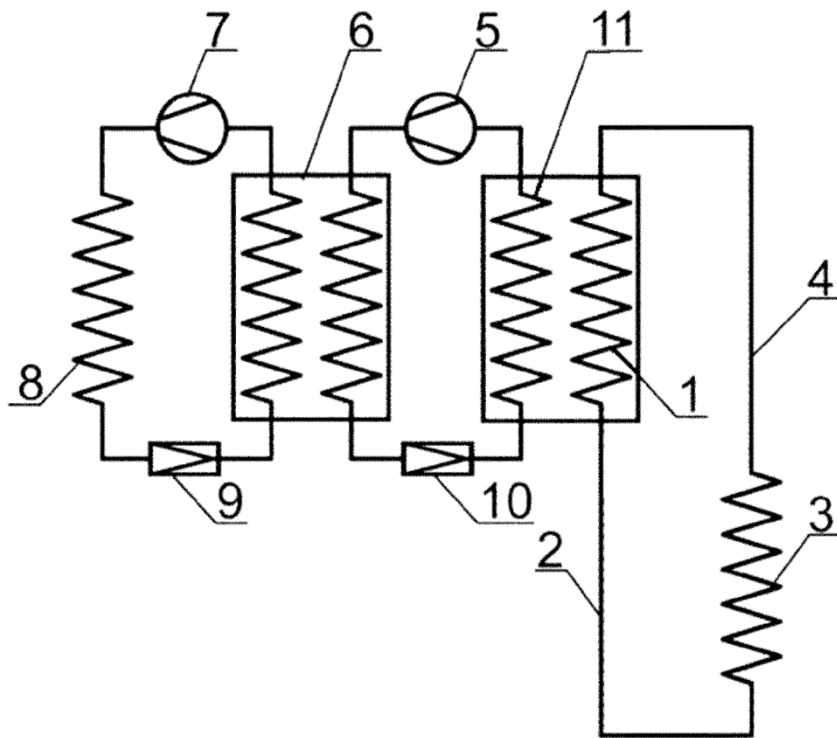


fig. 3