

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246640 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **442372**

(22) Data zgłoszenia: **2022.09.27**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.04.02 BUP 14/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.02.17 WUP 07/2025**

(51) MKP:

F22D 11/06 (2006.01)

F01K 9/02 (2006.01)

F01K 25/10 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

GRUDNIAK TOMASZ, Nowa Iwiczna, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

TOMASZ GRUDNIAK, Nowa Iwiczna, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Teresa Kuczyńska, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób i urządzenie do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, oraz układ zawierający to urządzenie

PL 246640 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, urządzenie ten sposób realizujące oraz układ zawierający to urządzenie.

Wynalazek dotyczy w szczególności przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu w obiegach termodynamicznych i należy do dziedziny obiegów termodynamicznych.

Jedną z przemian mogących występować w obiegach termodynamicznych jest sprężanie czynnika roboczego w fazie ciekłej, które standardowo realizowane jest przez pompę.

W przypadku najpopularniejszego obiegu ze zmianą fazy, czyli obiegu Rankine'a, parametrem opisującym znaczenie pracy pompy dla obiegu jest stosunek mocy napędu pompy do mocy urządzenia wykonawczego (turbina), określany skrótem BWR (z angielskiego: Back Work Ratio).

W przypadku wodnego podkrytycznego obiegu Rankine'a parametr ten jest niski, a moc pompy bywa pomijana w bilansie obiegu. W rozwijających się intensywnie w ostatnich latach obiegach ORC (Organic Rankine Cycle) jest on znacznie wyższy (nawet rzędu 20%).

Z drugiej strony, sprawność urządzeń sprężających ciecz w obiegach ORC małej skali jest niska.

Według publikacji autorstwa Zbynek Zeleny, Vaclav Vodicka, Vaclav Novotny, Jakub Mascuch, zatytułowanej „Pompa zębata dla obiegów ORC o małej mocy – analiza efektywności” („Gear pump for low power output ORC – an efficiency analysis”), IV Międzynarodowe seminarium na temat systemów zasilania ORC (International Seminar on ORC Power Systems), ORC2017, 13–15 września 2017, Mediolan, Włochy), sprawności pomp dla małych układów ORC mieszczą się typowo w granicach 7–35%, a po uwzględnieniu sprawności napędu pompy są jeszcze niższe.

Realizacja takiego obiegu bez pompy mogłoby pozwolić na osiągnięcie znacznie korzystniejszego (niższego) BWR.

W literaturze naukowej opisano przykład realizacji obiegu Rankine'a bez pompy. Jest to rozwiązanie zaprezentowane przez Naboru Yamada i Mohameda Md Nor Anuar w pracy „Podstawowe badanie obiegu Rankine'a bez pompy dla niskotemperaturowego odzysku ciepła” („Fundamental experiment of pumpless Rankine-type cycle for low temperature heat recovery”), tom 36 dotyczący Energii, Wydanie 2, luty 2011, strony 1010–1017. Rozwiązanie to opiera się na pracy dwóch wymienników, z których każdy naprzemiennie pracuje jako skraplacz i parownik.

Ponadto, w dokumencie US5865086A ujawniony jest układ cyrkulacji cieczy w obiegu termodynamicznym, w którym czynnik roboczy w fazie ciekłej jest zastępowany w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie gazowej. Układ ten działa w cyklu dwufazowym. W pierwszej fazie pionowy zbiornik cylindryczny jest napełniany cieczą grawitacyjnie (zasada naczyń połączonych) ze zbiornika cieczy przez zawór zwrotny i wlot cieczy. Gdy ciecz napełnia zbiornik cylindryczny, dolny regulator pływakowy powoduje otwarcie zaworu wylotowego pary i powietrza, który umożliwia ucieczkę pary i powietrza podczas napełniania zbiornika cylindra, przy czym jest to sterowane za pomocą modułu sterującego. Gdy ciecz wypełnia cylinder, górny regulator płwaka, z wyłącznikiem krańcowym, wysyła sygnał do modułu sterującego, elektrycznie zamykając zawór wylotowy pary i powietrza i otwierając zawór wtrysku pary. Rozpoczyna to drugą fazę. W drugiej fazie para wtryskiwana z kotła naciska w dół powierzchnię cieczy, która wypełniła cylinder. Ciecz jest w ten sposób wypychana w dół i na zewnątrz przez otwór rury wylotowej i zawór zwrotny. W tym samym czasie ciśnienie cieczy w dół zamyka zawór zwrotny, zapobiegając przedostawaniu się dodatkowej cieczy. Gdy określona ilość cieczy zostanie wyparta z cylindra, aktywowany jest dolny regulator płwaka, rozpoczynając ponownie proces napełniania cylindra cieczą.

W dokumencie WO2011092705A2 ujawniony jest układ cyrkulacji w obiegu termodynamicznym, w którym ciecz jest przenoszona do parownika bez użycia pompy. W układzie znajduje się dodatkowy zbiornik, do którego dostarczana jest para z parownika, która następnie jest dogrzewana w celu uzyskania ciśnienia wyższego niż w parowniku. Para ta następnie wypycha ciecz z drugiego zbiornika dodatkowego rozprężając się aż do uzyskania ciśnienia równego ciśnieniu w parowniku. Następnie para ta jest rozprężana do ciśnienia za skraplaczem, a drugi zbiornik dodatkowy napełnia się cieczą i cykl jest powtarzany. Główny obieg termodynamiczny z turbiną działa, według opisu, w sposób ciągły, natomiast obieg dodatkowy z dwoma dodatkowymi zbiornikami działa cyklicznie.

W dokumencie WO2016144233A1 ujawniony jest układ z dwoma zbiornikami ciśnieniowymi pracującymi naprzemiennie. W fazie pierwszej zbiornik jest napełniany znajdującym się pod niskim ciśnieniem czynnikiem roboczym w fazie ciekłej pochodzącym ze skraplacza. W fazie drugiej czynnik roboczy w fazie ciekłej jest wypierany do wlotu parownika przez znajdujący się pod wysokim ciśnieniem czynnik roboczy w fazie gazowej znajdujący się za wylotem z parownika. Pracą układu zawiaduje system sterujący oraz rozbudowany zestaw czujników i elektrozaworów. Przedstawione powyżej rozwiązania ze stanu techniki są skomplikowane konstrukcyjne, a zatem drogie.

W dokumencie KR20150098305A ujawnione zostało wykorzystanie wirującego cylindra wyposażonego w przestrzenie robocze do przenoszenia czynnika roboczego w obiegu Rankine'a. W tym dokumencie przestrzenie robocze są usytuowane promieniowo w stosunku do osi obrotu cylindra i przenoszenie czynnika roboczego odbywa się przy użyciu siły odśrodkowej.

W dokumencie CN109723510A ujawniony jest układ cyrkulacji w obiegu termodynamicznym bez użycia pompy. W układzie zastosowano dwa działające naprzemiennie parowniki, które cyklicznie są napełniane i dostarczają sprężoną parę do turbiny.

Problemem, którego rozwiązanie jest celem niniejszego wynalazku, jest zaproponowanie sposobu i urządzenia o prostej konstrukcji, które przy niewielkich nakładach umożliwią zapewnienie niskiego parametru BWR obiegu termodynamicznego, oraz zawierającego to urządzenie układu, w którym realizowany jest ten sposób.

Problem ten został rozwiązany za pomocą przedstawionego poniżej sposobu i urządzenia według wynalazku do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, oraz zawierającego to urządzenie układu, w którym realizowany jest ten sposób.

Sposób przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, w którym to obszarze czynnik roboczy znajduje się w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym, według wynalazku charakteryzuje się tym, że przemieszcza się przynajmniej jedną przestrzeń roboczą i w wyniku przemieszczania otwiera się ją na etapie CG w obszarze wysokiego ciśnienia i powoduje się opadanie z tej przynajmniej jednej przestrzeni roboczej czynnika roboczego w fazie ciekłej, mającego znacznie większą gęstość niż otaczający go czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym, przy czym w przestrzeni roboczej zastępuje się czynnik roboczy w fazie ciekłej przez czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym.

Korzystnie, przynajmniej jedną przestrzeń roboczą wypełnioną po etapie CG gazem o wysokim ciśnieniu przemieszcza się i w wyniku przemieszczania otwiera się na etapie GC w obszarze niskiego ciśnienia, w którym to obszarze czynnik roboczy znajduje się w fazie ciekłej i powoduje się unoszenie z przestrzeni roboczej czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym, mającego znacznie mniejszą gęstość niż otaczający go czynnik roboczy w fazie ciekłej, oraz wypełnianie przestrzeni roboczej czynnikiem roboczym w fazie ciekłej, przy czym w przestrzeni roboczej zastępuje się czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przez czynnik roboczy w fazie ciekłej.

Korzystnie, sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem na etapie GC w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się w zbiorniku wyrównawczym na etapie RP rozprężania, zaś objętość czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym po rozprężeniu przewyższająca objętość roboczą kieruje się do skraplacza.

Korzystnie, sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem na etapie GC w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się na etapie RP rozprężania, zaś objętość czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym po rozprężeniu przewyższająca objętość roboczą kieruje się do dodatkowego skraplacza oddzielną drogą niż czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym z urządzenia wykonawczego.

Korzystnie, przed rozprężeniem sprężonego czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym na etapie RP, czynnik roboczy rozpręża się częściowo na etapie NP napędzania i za pomocą tego czynnika roboczego napędza się dodatkowe urządzenie wykonawcze.

Korzystnie, przestrzeń roboczą wraz ze znajdującym się w niej czynnikiem roboczym przemieszcza się pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu.

Korzystnie, przestrzeń roboczą wraz ze znajdującym się w niej czynnikiem roboczym przemieszcza się przez obracanie bębna, w którym usytuowana jest ta przynajmniej jedna przestrzeń robocza.

Korzystnie, przemieszcza się przynajmniej jedną przestrzeń roboczą, w postaci otworu łączącego powierzchnie bębna stykające się płytkami pływającymi, przez obracanie bębna za pomocą napędu.

Urządzenie do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera co najmniej:

- napędzany przez napęd, wirujący i usytuowany w obudowie bębnek, w którym znajduje się przynajmniej jedna przestrzeń robocza,
- usytuowane w obudowie, połączone z bębniem wały z łożyskami,
- usytuowane w obudowie dwie płytki pływające z otworami łączącymi przestrzeń roboczą z:
 - obszarem wysokiego ciśnienia przed i za parownikiem, gdzie w przestrzeni roboczej czynnik roboczy w fazie ciekłej jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym,
 - obszarem przed i za skraplaczem, gdzie w przestrzeni roboczej czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie ciekłej.

Korzystnie, bębenek jest osadzony obrotowo między płytkami pływającymi do uszczelniania obracających się przestrzeni roboczych.

Korzystnie, w gniazdach płytek pływających są usytuowane uszczelki do rozdzielania poszczególnych etapów.

Korzystnie, uszczelki w gniazdach płytek pływających mają kształt dobrany do zapewnienia równowagi sił osiowych, które na nie działają.

Korzystnie, otwory dwóch płytek pływających ponadto łączą przestrzeń roboczą z obszarem, w którym jest rozprężany czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej.

Korzystnie, otwory dwóch płytek pływających ponadto łączą przestrzeń roboczą z obszarem, w którym czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej jest rozprężany i wykonuje pracę na dodatkowym urządzeniu wykonawczym.

Korzystnie, przynajmniej jedna przestrzeń robocza jest otworem łączącym powierzchnie bębna stykające się płytkami pływającymi.

Układ, zawierający urządzenie do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, parownik, skraplacz i co najmniej jedno urządzenie wykonawcze, według wynalazku charakteryzuje się tym, że urządzenie do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu zawiera co najmniej:

- napędzany przez napęd, wirujący i usytuowany w obudowie bębnek, w którym znajduje się przynajmniej jedna przestrzeń robocza,
- usytuowane w obudowie, połączone z bębniem wały z łożyskami,
- usytuowane w obudowie dwie płytki pływające z otworami łączącymi przestrzeń roboczą z:
 - obszarem wysokiego ciśnienia przed i za parownikiem, gdzie w przestrzeni roboczej czynnik roboczy w fazie ciekłej jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym,
 - obszarem przed i za skraplaczem, gdzie w przestrzeni roboczej czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie ciekłej.

Korzystnie, otwory dwóch płytek pływających ponadto łączą przestrzeń roboczą z obszarem, w którym jest rozprężany czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej.

Korzystnie, otwory dwóch płytek pływających ponadto łączą przestrzeń roboczą z obszarem, w którym czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej jest rozprężany i wykonuje pracę na dodatkowym urządzeniu wykonawczym.

Korzystnie, przynajmniej jedna przestrzeń robocza jest otworem łączącym powierzchnie bębna stykające się płytkami pływającymi.

Przedmiot wynalazku uwiarygodniono w przykładach wykonania, bez zachowania proporcji geometrycznych, na załączonym rysunku, na którym fig. 1 przedstawia wykres T-s (temperatura-entropia) przykładowego obiegu Rankine'a dla czynnika roboczego R600A (izobutan), fig. 2 przedstawia wykres T-s (temperatura-entropia) przykładowego nadkrytycznego obiegu Rankine'a dla tego samego czynnika roboczego R600A (izobutan), fig. 3 przedstawia w widoku w stanie rozłożonym na części urządzenie według wynalazku z jedną przestrzenią roboczą w bębnie i dwoma etapami cyklu, fig. 4 przedstawia w widoku w stanie rozłożonym na części urządzenie według wynalazku, które również realizuje cykl dwuetapowy, ale ma cztery przestrzenie robocze w bębnie, fig. 5 przedstawia w widoku w stanie rozłożonym na części urządzenie według wynalazku z czterema przestrzeniami roboczymi w bębnie i trzema etapami cyklu, fig. 6 przedstawia w widoku w stanie rozłożonym na części urządzenie według

wynalazku z czterema przestrzeniami roboczymi w bębnie i czterema etapami cyklu, fig. 7 przedstawia urządzenie według wynalazku w układzie siłowni w wersji z dwoma etapami cyklu, fig. 8 przedstawia schemat tego samego układu, fig. 9 przedstawia schemat układu z dodatkowym etapem rozprężania, fig. 10 przedstawia schemat układu, w którym przed etapem rozprężania dodatkowe urządzenie wykonawcze jest napędzane przez rozprężanie czynnika roboczego, fig. 11 przedstawia schemat układu z dodatkowym parownikiem, fig. 12 przedstawia schemat układu z dodatkowym parownikiem i dodatkowym urządzeniem wykonawczym.

Wynalazek może dotyczyć dowolnego czynnika roboczego i każdego obiegu termodynamicznego ze zmianą fazy czynnika roboczego w którym niezbędne jest sprężanie czynnika w fazie ciekłej.

Dla czynnika roboczego R600A (izobutan), który ze względu na kształt krzywej nasycenia klasyfikowany jest jako suchy, a ze względu na niską temperaturę wrzenia jako organiczny, punkty charakterystyczne przykładowego obiegu Rankine'a, przedstawione na fig. 1, są następujące (obliczenia parametrów czynnika roboczego w poszczególnych punktach obiegu termodynamicznego przeprowadzono za pomocą programu REFPROP 10.0 (NIST Reference Fluid Properties))

– w przypadku układu z pompą według stanu techniki:

1A – przed pompą

$$P_{1A} = 0,40472 \text{ MPa}, T_{1A} = 30^\circ\text{C}, s_{1A} = 1,2458 \text{ kJ/kgK}, h_{1A} = 271,24 \text{ kJ/kg}, \rho_{1A} = 544,31 \text{ kg/m}^3$$

2A – przed parownikiem

$$P_{2A} = 2,3827 \text{ MPa}, T_{2A} = 31,05^\circ\text{C}, s_{2A} = 1,2458 \text{ kJ/kgK}, h_{2A} = 274,87 \text{ kJ/kg}, \rho_{2A} = 547,37 \text{ kg/m}^3$$

3A – przed urządzeniem wykonawczym

$$P_{3A} = 2,3827 \text{ MPa}, T_{3A} = 110^\circ\text{C}, s_{3A} = 2,3785 \text{ kJ/kgK}, h_{3A} = 683,74 \text{ kJ/kg}, \rho_{3A} = 72,335 \text{ kg/m}^3$$

4A – przed skraplaczem

$$P_{4A} = 0,40472 \text{ MPa}, T_{4A} = 41,05^\circ\text{C}, s_{4A} = 2,3785 \text{ kJ/kgK}, h_{4A} = 614,99 \text{ kJ/kg}, \rho_{4A} = 9,9586 \text{ kg/m}^3,$$

gdzie: P – ciśnienie, T – temperatura, s – entropia, h – entalpia, ρ – gęstość czynnika roboczego

Praca wykonana przez parę: $W_{TA} = h_{3A} - h_{4A} = 683,74 - 614,99 = 68,75 \text{ kJ/kg}$

Praca pompy: $W_{PA} = h_{2A} - h_{1A} = 274,87 - 271,24 = 3,63 \text{ kJ/kg}$

Ciepło dostarczone: $Q_{DA} = h_{3A} - h_{2A} = 683,74 - 274,87 = 408,87 \text{ kJ/kg}$

BWR dla obiegu wg fig. 1 z pompą: $BWR_{PA} = (W_{PA} \cdot q) / (W_{TA} \cdot q) = W_{PA} / W_{TA} = 3,63 / 68,75 = 5,3\%$

gdzie q – masowe natężenie przepływu [kg/s]

Sprężanie czynnika roboczego w fazie ciekłej za pomocą pompy może zostać zastąpione przez wymianę czynnika w fazie gazowej na czynnik w fazie ciekłej. W zastrzeganym rozwiązaniu, po otwarciu przestrzeni roboczej P w obszarze wysokiego ciśnienia i temperatury, ciśnienie nad i pod cieczą jest takie samo.

Przy parametrach, jak w powyższym przykładzie:

- gęstość cieczy po otwarciu przestrzeni roboczej w obszarze wysokiego ciśnienia wynosi $\rho_{2A} = 547,37 \text{ kg/m}^3$
- gęstość gazu po otwarciu przestrzeni roboczej w obszarze wysokiego ciśnienia wynosi $\rho_{3A} = 72,335 \text{ kg/m}^3$
- na ciecz w przestrzeni roboczej działa siła będąca różnicą jej ciężaru i siły wyporu: $F_{2A} = (\rho_{2A} - \rho_{3A}) \cdot g \cdot V,$

(gdzie g – przyspieszenie ziemskie ($9,81 \text{ m/s}^2$), V – objętość przestrzeni roboczej)

skierowana pionowo w dół.

Ciecz spada do obszaru wysokiego ciśnienia wypełnionego czynnikiem roboczym w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym ze względu na znacznie wyższą gęstość, a przestrzeń robocza P wypełnia się czynnikiem roboczym w fazie gazowej. Ten etap w niniejszym opisie wynalazku jest oznaczony jako CG.

Przebieg robocza P, w której znalazł się czynnik roboczy w fazie gazowej, jest następnie otwierana w obszarze przed skraplaczem i jest on wymieniany na czynnik w fazie ciekłej.

Przy parametrach, jak w powyższym przykładzie:

- gęstość gazu po otwarciu przestrzeni roboczej w obszarze niskiego ciśnienia wynosi $\rho_{4A} = 9,9586 \text{ kg/m}^3$
- gęstość cieczy po otwarciu przestrzeni roboczej w obszarze niskiego ciśnienia (punkt 3A) wynosi $\rho_{1A} = 544,31 \text{ kg/m}^3$
- na gaz w przestrzeni roboczej działa siła będąca różnicą siły wyporu i jego ciężaru: $F_{4A} = (\rho_{1A} - \rho_{4A}) \cdot g \cdot V,$

(gdzie g – przyspieszenie ziemskie ($9,81 \text{ m/s}^2$), V – objętość przestrzeni roboczej)

skierowana pionowo w górę.

Gaz wypływa na powierzchnię cieczy w obszarze niskiego ciśnienia ze względu na znacznie niższą gęstość, a przestrzeń robocza (P) wypełnia się czynnikiem roboczym w fazie ciekłej.

Ten etap w niniejszym opisie wynalazku jest oznaczony jako GC.

Ze względu na kierunki działających sił urządzenie może działać w układzie pionowym lub przy niewielkich odchyleniach od pionu.

Najprostszy cykl składa się z realizowanych naprzemiennie dwóch powyższych etapów (CG i GC). W ramach tego cyklu do obiegu termodynamicznego wprowadzana jest duża ilość czynnika roboczego (objętość robocza w fazie ciekłej) i odbierana mała ilość czynnika (objętość robocza sprężonego czynnika w fazie gazowej). Proporcje tych ilości zmieniają się zależnie od parametrów (ciśnienie, temperatura) w poszczególnych punktach obiegu termodynamicznego.

W przykładzie według fig. 1 czynnik roboczy w punkcie 1A przed pompą (w przypadku stanu techniki) lub urządzeniem według wynalazku ma gęstość $544,31 \text{ kg/m}^3$, a w punkcie 3A jego gęstość to $72,335 \text{ kg/m}^3$.

Zatem wymieniając czynnik z przestrzeni roboczej P (np. 1 m^3) za pomocą urządzenia według wynalazku, wprowadzamy do parownika $544,31 \text{ kg}$ czynnika roboczego w fazie ciekłej, a odbieramy z niego $72,335 \text{ kg}$ czynnika roboczego w fazie gazowej. Oznacza to, że w przykładowym obiegu do parownika efektywnie dostarczane jest $(544,31 - 72,335) / 544,31 * 100 = 86,7\%$ czynnika roboczego w fazie ciekłej z przestrzeni roboczej P i ta część dostarczonego czynnika wykonuje pracę.

Energetycznym kosztem takiego rozwiązania jest bezproduktywne ogrzanie i sprężenie części czynnika roboczego wracającego do przestrzeni roboczej (P) (w powyższym przykładzie $100 - 86,7 = 13,3\%$), choć pozostały w przestrzeni roboczej (P) czynnik w fazie gazowej również może zostać częściowo wykorzystany np. do wykonania pracy.

Dla urządzenia 15 według wynalazku i parametrów według fig. 1:

Praca wykonana przez parę ($86,7\%$, które jest efektywnie dostarczane do obiegu):

$$W_{TA} = h_{3A} - h_{4A} = (683,74 - 614,99) * 86,7\% = 59,6 \text{ kJ/kg}$$

Praca urządzenia 15 wg wynalazku: $W_{UA} = 0$, zatem BWR dla obiegu wg fig. 1 z urządzeniem wg wynalazku: $BWR_{UA} = 0\%$

Oczywiście rzeczywista praca potrzebna do napędu urządzenia 15 według wynalazku będzie, ze względu na konieczność pokonania oporów ruchu, większa od 0, a rzeczywisty wskaźnik BWR powinien uwzględniać sprawności elementów napędu pompy, urządzenia 15 według wynalazku oraz urządzenia wykonawczego. Urządzenie wykonawcze w porównywanych układach (z pompą lub z urządzeniem 15 według wynalazku) jest identyczne, zatem stosunek rzeczywistych wskaźników BWR dla układu z urządzeniem wg wynalazku (BWR_{UAR}) i z pompą (BWR_{PAR}) wyniesie:

$$BWR_{UAR} / BWR_{PAR} = ((W_{UA} * q_{UA} / \eta_{UA} / \eta_{NUA}) / P_{TA}) / ((W_{PA} * q_{PA} / \eta_{PA} / \eta_{NPA}) / P_{TA}) = (W_{UA} * q_{UA} / \eta_{UA} / \eta_{NUA}) / (W_{PA} * q_{PA} / \eta_{PA} / \eta_{NPA})$$

gdzie: BWR_{UAR} – rzeczywisty BWR dla układu z urządzeniem 15 według wynalazku, BWR_{PAR} – rzeczywisty BWR dla układu z pompą, q_{UA} – masowe natężenia przepływu na wyjściu urządzenia 15 według wynalazku, q_{PA} – masowe natężenia przepływu na wyjściu pompy, η_{UA} – sprawność całkowita urządzenia 15 według wynalazku, η_{NUA} – sprawność całkowita napędu urządzenia 15 według wynalazku z regulatorem prędkości (VFD), η_{PA} – sprawność całkowita pompy, η_{NPA} – sprawność całkowita napędu pompy z regulatorem prędkości (VFD), P_{TA} – moc na wale urządzenia wykonawczego

Jak wcześniej wspomniano, sprawności układów składających się z napędu z regulacją prędkości i pompy są, szczególnie dla niewielkich układów ORC, bardzo niskie.

Jeśli w przedstawionym powyżej ORC pracuje pompa zębata dostarczająca 5 kW mocy wyjściowej, jej sprawność mechaniczna wyniesie ok. 90% , a sprawność wolumetryczna ok. 90% , sprawność silnika elektrycznego w tym zakresie mocy to ok. 84% , a sprawność regulatora prędkości (VFD) dla takiej mocy napędu przy pracy w zakresie $50\text{--}100\%$ obrotów wynosi ok. 95% , zatem pobór mocy wyniesie $5 / 0,9 / 0,9 / 0,84 / 0,95 = 7,7 \text{ kW}$.

Jeśli w porównywalnym układzie bez pompy działa urządzenie 15 według wynalazku, do jego napędu potrzebna jest jedynie moc na pokonanie oporów mechanicznych. Ponieważ w porównywanej pompie zębatej sprawność mechaniczna wynosi 90% , można przyjąć, że urządzenie 15 będzie potrzebowało 10% mocy tej pompy, czyli ok. $0,5 \text{ kW}$ na pokonanie oporów ruchu.

Aby jednak efektywnie dostarczyć do parownika taką samą ilość czynnika roboczego, jak w układzie z pompą, masowe natężenie przepływu zastrzeganego urządzenia 15 według wynalazku będzie musiało stanowić $(p_{1A} / (p_{1A} - p_{3A})) = 544,31 / (544,31 - 72,335) * 100\% = 115\%$ masowego natężenia

przepływu pompy. Można zatem przyjąć, że niezbędna moc urządzenia 15 wg wynalazku wyniesie $0,5 \cdot 1,15 = \text{ok. } 0,6 \text{ kW}$.

Porównując urządzenie według wynalazku do pompy zębatej:

- ze względu na brak tarcia szczytu zęba w komorze oraz ze względu na brak sił promienistych sprawność mechaniczna urządzenia 15 według wynalazku będzie wyższa niż pompy,
- sprawność wolumetryczna urządzenia 15 według wynalazku będzie wyższa niż sprawność pompy zębatej o podobnym masowym natężeniu przepływu ze względu na mniejszą ilość dróg przecieków.

Przyjmując niekorzystnie takie same sprawności jak dla pompy zębatej, czyli sprawność mechaniczną ok. 90%, sprawność wolumetryczną ok. 90% oraz sprawność silnika elektrycznego w tym zakresie mocy – ok. 75%, sprawność regulatora prędkości (VFD) dla takiej mocy napędu przy pracy w zakresie 50–100% obrotów – ok. 92%, pobór mocy wyniesie $0,6 / 0,9 / 0,75 / 0,92 = 0,97 \text{ kW}$ (sprawność mechaniczną uwzględniono wyliczając moc potrzebną na pokonanie oporów ruchu).

$BWR_{UA} / BWR_{PA} = 0,97 / 7,7 = 12,6\%$, czyli BWR urządzenia według wynalazku będzie 7,9 razy niższy niż dla obiegu z pompą.

Należy przy tym z jednej strony pamiętać o większej ilości ciepła potrzebnego do uzyskania podobnej mocy wyjściowej urządzenia wykonawczego, a z drugiej, że energia czynnika roboczego w fazie gazowej, który pozostaje po wymianie w przestrzeni roboczej P może być częściowo wykorzystana.

Dla tego samego czynnika roboczego (R600A) punkty charakterystyczne przykładowego nadkrytycznego obiegu Rankine'a, przedstawionego na fig. 2, są następujące (obliczenia parametrów czynnika roboczego w poszczególnych punktach obiegu termodynamicznego przeprowadzono za pomocą eThermo Thermodynamics & Transport Properties Calculation (freestd.us@hotmail.com))

– w przypadku układu z pompą według stanu techniki:

1B – przed pompą

$$P_{1B} = 0,40472 \text{ MPa}, T_{1B} = 30^\circ\text{C}, s_{1B} = 1,2458 \text{ kJ/kgK}, h_{1B} = 271,24 \text{ kJ/kg}, \rho_{1B} = 544,31 \text{ kg/m}^3$$

2B – przed parownikiem

$$P_{2B} = 3,7 \text{ MPa}, T_{2B} = 31,73^\circ\text{C}, s_{2B} = 1,2458 \text{ kJ/kgK}, h_{2B} = 277,28 \text{ kJ/kg}, \rho_{2B} = 542,09 \text{ kg/m}^3$$

3B – przed urządzeniem wykonawczym

$$P_{3B} = 3,7 \text{ MPa}, T_{3B} = 138,68^\circ\text{C}, s_{3B} = 2,3785 \text{ kJ/kgK}, h_{3B} = 696,77 \text{ kJ/kg}, \rho_{3B} = 141,125 \text{ kg/m}^3$$

4B – przed skraplaczem

$$P_{4B} = 0,40472 \text{ MPa}, T_{4B} = 41,05^\circ\text{C}, s_{4B} = 2,3785 \text{ kJ/kgK}, h_{4B} = 614,99 \text{ kJ/kg}, \rho_{4B} = 9,9586 \text{ kg/m}^3,$$

gdzie: P – ciśnienie, T – temperatura, s – entropia, h – entalpia, ρ – gęstość czynnika roboczego

$$\text{Praca wykonana przez parę: } W_{TB} = h_{3B} - h_{4B} = 696,77 - 614,99 = 81,78 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Praca pompy: } W_{PB} = h_{2B} - h_{1B} = 277,28 - 271,24 = 6,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Ciepło dostarczone: } Q_{DB} = h_{3B} - h_{2B} = 696,77 - 277,28 = 419,49 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{BWR dla obiegu wg fig. 2 z pompą: } BWR_{PB} = W_{PB} / W_{TB} = 6,04 / 81,78 = 7,4\%$$

Dla urządzenia 15 według wynalazku i parametrów według fig. 2:

$$\text{Praca pompy: } W_{PB} = 0, \text{ zatem BWR dla obiegu wg fig. 2 z urządzeniem wg wynalazku: } BWR_{UB} = 0\%$$

Po uwzględnieniu sprawności, przy podobnych założeniach jak dla obiegu podkrytycznego pobór mocy układu z pompą wyniesie również 7,7 kW.

Czynnik roboczy w punkcie 1B ma gęstość $544,31 \text{ kg/m}^3$, a w punkcie 3B $141,125 \text{ kg/m}^3$, czyli efektywnie dostarczamy $(544,31 - 141,125) / 544,31 \cdot 100 = 74,1\%$ czynnika roboczego w fazie ciekłej z przestrzeni roboczej P i ta część dostarczonego czynnika wykonuje pracę.

Aby efektywnie dostarczyć do parownika taką samą ilość czynnika roboczego, jak w układzie z pompą, zastrzegane urządzenie 15 według wynalazku będzie musiało mieć większe masowe natężenie przepływu ($1 / 0,741 = 135\%$ masowego natężenia przepływu pompy).

Pobór mocy napędu urządzenia 15 według wynalazku wyniesie $0,5 \text{ kW} \cdot 1,35 / 0,9 / 0,75 / 0,92 = 1,1 \text{ kW}$.

Przy tych samych założeniach, jak w odniesieniu do obiegu podkrytycznego stosunek rzeczywistych wskaźników BWR dla układu z urządzeniem wg wynalazku (BWR_{UBR}) i z pompą (BWR_{PBR}) wyniesie: $BWR_{UBR} / BWR_{PBR} = 1,1 / 7,7 = 14,2\%$, czyli BWR urządzenia według wynalazku będzie 7 razy niższy niż dla obiegu z pompą.

Na fig. 3, fig. 4, fig. 5 oraz fig. 6 przedstawiona została konstrukcja urządzenia 15 według wynalazku, przy czym na tych figurach w widoku rozstrzelonym, bez zachowania proporcji geometrycznych, zostały ukazane elementy składowe urządzenia 15 według wynalazku w różnych wersjach.

Urządzenie 15 według wynalazku zawiera obudowę składającą się z górnej części 11 obudowy i dolnej części 12 obudowy. Obie części 11, 12 obudowy są połączone śrubami 14 i są uszczelnione za pomocą uszczelnienia 8. W obudowie 11, 12 jest umieszczony bębenek 5 z wałami oraz przestrzenią roboczą P lub przestrzeniami roboczymi P. Na fig. 3 przedstawiony jest bębenek 5 z jedną przestrzenią roboczą P, na fig. 4, fig. 5 i fig. 6 z czterema przestrzeniami roboczymi P. Bębenek 5 napędzany jest za pomocą napędu 19. Po obu stronach bębena 5 usytuowane są płytki pływające 6 zabezpieczone przed obrotem względem obudowy 11, 12 na przykład za pomocą kołka 10. W gniazdach 6A płytek pływających 6 usytuowane są uszczelki 7 zapewniające szczelność poszczególnych dróg przepływu (odpowiednio na etapach CG, GC i opcjonalnie RP oraz NP) czynnika roboczego oraz pozwalające na wyrównanie sił działających z obu stron na płytki pływające 6, dzięki odpowiednio dobranemu kształtowi (stąd nazwa „płytki pływające” odpowiadająca angielskiej nazwie „floating plates”), zaś pomiędzy płytkami pływającymi 6 a częściami 11, 12 obudowy znajdują się łożyska 9. Wał jest uszczelniony za pomocą uszczelnienia 13 usytuowanego przy dolnej części 12 obudowy. W dolnej części 12 obudowy przewidziane jest odprowadzenie F przecieków ciekłych, zaś w górnej części 11 obudowy odprowadzenie E przecieków gazowych.

Przedstawione na fig. 3 urządzenie 15 z jedną przestrzenią roboczą P w bębnie 5 jest przewidziane do pracy z dwoma etapami cyklu, jak to zostało ukazane w układzie przedstawionym na fig. 7 i fig. 8. Cykl ten obejmuje etapy:

- CG – wymiana czynnika roboczego w fazie ciekłej na czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej P,
- GC – wymiana czynnika roboczego w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym na czynnik roboczy w fazie ciekłej w przestrzeni roboczej P.

Wadą takiego rozwiązania jest pulsacja ciśnienia przy otwarciu przestrzeni roboczej P wypełnionej sprężonym gazem w etapie GC. Zwiększenie ilości przestrzeni roboczych P w bębnie 5 zmniejsza pulsację, ale ciśnienie przed skraplaczem 17 (i za urządzeniem wykonawczym 18) będzie podniesione.

Na fig. 4 przedstawione jest urządzenie 15, które również realizuje cykl dwuetapowy, ale ma cztery przestrzenie robocze P w bębnie 5. Oczywiście liczba przestrzeni roboczych może być praktycznie dowolna (im większa, tym mniejsze pulsacje ciśnienia w układzie).

Z kolei na fig. 5 przedstawione jest urządzenie 15 z czterema przestrzeniami roboczymi w bębnie 5, które jest przewidziane do pracy z trzema etapami cyklu, jak to zostało uwidocznione w układzie na fig. 9 oraz fig. 11. Cykl ten obejmuje etapy:

- CG – wymiana czynnika roboczego w fazie ciekłej na czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej P,
- RP – rozprężanie czynnika roboczego w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym znajdującego się w przestrzeni roboczej P,
- GC – wymiana czynnika roboczego w fazie gazowej na czynnik roboczy w fazie ciekłej w przestrzeni roboczej P.

Rozprężanie czynnika roboczego w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym w zbiorniku wyrównawczym 22 (fig. 9) lub dodatkowym skraplaczu 17A (fig. 11) pozwala na zmniejszenie pulsacji i obniżenie ciśnienia czynnika roboczego w fazie gazowej przed skraplaczem 17.

Na fig. 6 przedstawione jest natomiast urządzenie 15 z czterema przestrzeniami roboczymi w bębnie 5, które jest przewidziane do pracy z czterema etapami cyklu, jak to zostało ukazane w układzie przedstawionym na fig. 10 oraz fig. 12. Cykl ten obejmuje etapy:

- CG – wymiana czynnika roboczego w fazie ciekłej na czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej P,
- NP – napęd dodatkowego urządzenia wykonawczego 18A sprężonym czynnikiem roboczym w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym znajdującym się w przestrzeni roboczej P,
- RP – rozprężanie czynnika roboczego w fazie gazowej znajdującego się w przestrzeni roboczej P,
- GC – wymiana czynnika roboczego w fazie gazowej na czynnik roboczy w fazie ciekłej w przestrzeni roboczej P.

Fig. 7 przedstawia, bez zachowania proporcji geometrycznych urządzenie 15 według wynalazku w układzie siłowni, który jest przewidziany do pracy z dwoma etapami cyklu (CG i GC), zaś fig. 8 przedstawia schemat tego samego układu, który został pokazany na fig. 7. W układzie tym realizowany jest najprostszy, zgodny z wynalazkiem, sposób przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru

o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu w obiegu termodynamicznym, który jest realizowany w następujący sposób.

Najpierw otwiera się, wypełnioną czynnikiem roboczym w fazie ciekłej, przestrzeń roboczą P w obszarze wysokiego ciśnienia i temperatury (co zostało pokazane jako CG). Wskutek tego, doprowadza się czynnik roboczy w fazie ciekłej z przestrzeni roboczej P do parownika, a z parownika 16 pobiera się do przestrzeni roboczej P taką samą objętość czynnika roboczego w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym o wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Na czynnik roboczy w fazie ciekłej działa z góry i z dołu takie samo ciśnienie – opuszcza on przestrzeń roboczą P do zbiornika wyrównawczego 20, ponieważ ma znacznie wyższą gęstość niż otaczający go czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym o wysokim ciśnieniu i temperaturze. Następnie w przestrzeni roboczej P urządzenia 15 przeprowadza się wymianę czynnika roboczego, to znaczy zastępuje się w przestrzeni roboczej P czynnik roboczy w fazie ciekłej przez czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym. Na czynnik roboczy działa takie samo ciśnienie z góry i z dołu, ponieważ jednak czynnik roboczy ma znacznie niższą gęstość od otaczającego go czynnika roboczego w fazie ciekłej, wypływa na jego powierzchnię w zbiorniku wyrównawczym 21 i płynie dalej do skraplacza 17, zaś czynnik roboczy w fazie ciekłej napełnia przestrzeń P (co zostało pokazane jako GC). Dostarczony do parownika 16 czynnik roboczy w fazie ciekłej (według przedstawionego przykładu obiegu podkrytycznego – 86,7% czynnika roboczego w fazie ciekłej znajdującego się w przestrzeni roboczej P) po odparowaniu zasila urządzenie wykonawcze 18. Następnie, czynnik roboczy w fazie gazowej o niskim ciśnieniu po wyjściu z urządzenia wykonawczego 18 kierowany jest do skraplacza 17.

W urządzeniu 15 według wynalazku czynnik roboczy w fazie ciekłej jest dostarczany do obszaru wysokiego ciśnienia za pomocą minimalnej pracy mechanicznej potrzebnej jedynie do pokonania oporów ruchu obrotowego bębna 5.

Na fig. 9 przedstawiony jest schemat układu, w którym realizowany jest sposób z dodatkowym etapem RP rozprężania w zbiorniku wyrównawczym 22, czyli sposób obejmujący etapy CG, RP, GC. W tym sposobie, sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się w zbiorniku wyrównawczym 22 na etapie RP rozprężania, zaś objętość czynnika roboczego w fazie gazowej po rozprężeniu przewyższająca objętość roboczą P kieruje się do skraplacza 17.

Fig. 10 przedstawia schemat układu, w którym przed etapem RP rozprężania w zbiorniku wyrównawczym 22 realizowany jest sposób z dodatkowym etapem NP napędzania dodatkowego urządzenia wykonawczego 18A (etapy CG, NP, RP, GC). To dodatkowe urządzenie wykonawcze 18A jest napędzane przez rozprężanie czynnika roboczego. Ciśnienie przed dodatkowym urządzeniem wykonawczym 18A jest niższe niż ciśnienie P_{3A} lub P_{3B} przed urządzeniem wykonawczym 18, a ilość czynnika roboczego w fazie gazowej przechodzącego przez urządzenie wykonawcze 18A stanowi różnicę między ilością czynnika roboczego w fazie gazowej w przestrzeni roboczej P przy tych dwóch ciśnieniach. Urządzenie wykonawcze 18A wytwarza znacznie mniejszą moc niż główne urządzenie wykonawcze 18, może mieć zatem zastosowanie raczej w obiegach ORC o większej skali. Możliwość napędu samego urządzenia 15 za pomocą dodatkowego urządzenia wykonawczego 18A wymagałaby, by to urządzenie mogło osiągać odpowiednią prędkość obrotową, a sterowanie uwzględniać niestabilność takiego układu.

Na fig. 11 przedstawiony jest schemat układu, w którym realizowany jest sposób z dodatkowym etapem RP rozprężania w oddzielnym skraplaczu 17A czyli sposób obejmujący etapy CG, RP, GC. W tym sposobie, sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się w dodatkowym skraplaczu 17A na etapie RP rozprężania.

Fig. 12 przedstawia schemat układu, w którym przed etapem RP rozprężania w dodatkowym skraplaczu 17A realizowany jest sposób z dodatkowym etapem NP napędzania dodatkowego urządzenia wykonawczego 18A (etapy CG, NP, RP, GC). To dodatkowe urządzenie wykonawcze 18A jest napędzane przez rozprężanie czynnika roboczego. Ciśnienie przed dodatkowym urządzeniem wykonawczym 18A jest niższe niż ciśnienie P_{3A} lub P_{3B} przed urządzeniem wykonawczym 18, a ilość czynnika roboczego w fazie gazowej przechodzącego przez urządzenie wykonawcze 18A stanowi różnicę między ilością czynnika roboczego w fazie gazowej w przestrzeni roboczej P przy tych dwóch ciśnieniach. Urządzenie wykonawcze 18A wytwarza znacznie mniejszą moc niż główne urządzenie wykonawcze 18, może mieć zatem zastosowanie raczej w obiegach ORC o większej skali.

Jeśli przyjmiemy za urządzenie referencyjne pompę zębatą to:

- sprawność mechaniczna urządzenia 15, jak wcześniej wspomniano, powinna być wyższa niż pompy ze względu na brak tarcia szczytu zęba w przestrzeni roboczej oraz ze względu na brak sił promieniowych,
- sprawność wolumetryczna urządzenia 15 według wynalazku, jak wcześniej wspomniano, powinna być wyższa niż sprawność pompy zębatej o podobnym masowym natężeniu przepływu ze względu na mniejszą liczbę dróg przecieków,
- nie jest potrzebne łożyskowanie konieczne do przenoszenia dużych obciążeń promieniowych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, w którym to obszarze czynnik roboczy znajduje się w fazie gazowej lub stanie nadkrytycznym, **znamienny tym**, że przemieszcza się przynajmniej jedną przestrzeń roboczą (P) i w wyniku przemieszczania otwiera się ją na etapie CG w obszarze wysokiego ciśnienia i powoduje się opadanie z tej przynajmniej jednej przestrzeni roboczej (P) czynnika roboczego w fazie ciekłej, mającego znacznie większą gęstość niż otaczający go czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym, przy czym w przestrzeni roboczej (P) zastępuje się czynnik roboczy w fazie ciekłej przez czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przynajmniej jedną przestrzeń roboczą (P) wypełnioną po etapie CG gazem o wysokim ciśnieniu przemieszcza się i w wyniku przemieszczania otwiera się na etapie GC w obszarze niskiego ciśnienia, w którym to obszarze czynnik roboczy znajduje się w fazie ciekłej i powoduje się unoszenie z przestrzeni roboczej (P) czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym, mającego znacznie mniejszą gęstość niż otaczający go czynnik roboczy w fazie ciekłej, oraz wypełnianie przestrzeni roboczej (P) czynnikiem roboczym w fazie ciekłej, przy czym w przestrzeni roboczej (P) zastępuje się czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przez czynnik roboczy w fazie ciekłej.
3. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem na etapie GC w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się w zbiorniku wyrównawczym (22) na etapie RP rozprężania, zaś objętość czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym po rozprężeniu przewyższająca objętość roboczą (P) kieruje się do skraplacza (17).
4. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że sprężony czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym przed jego zastępowaniem na etapie GC w przestrzeni roboczej przez czynnik roboczy w fazie ciekłej rozpręża się na etapie RP rozprężania, zaś objętość czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym po rozprężeniu przewyższająca objętość roboczą (P) kieruje się do dodatkowego skraplacza (17A) oddzielną drogą niż czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym z urządzenia wykonawczego (18).
5. Sposób według zastrz. 3 albo 4 **znamienny tym**, że przed rozprężeniem sprężonego czynnika roboczego w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym na etapie RP, czynnik roboczy rozpręża się częściowo na etapie NP napędzania i za pomocą tego czynnika roboczego napędza się dodatkowe urządzenie wykonawcze (18A).
6. Sposób według zastrz. 1 albo 2, albo 3, albo 4, albo 5 **znamienny tym**, że przestrzeń roboczą (P) wraz ze znajdującym się w niej czynnikiem roboczym przemieszcza się pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że przestrzeń roboczą (P) wraz ze znajdującym się w niej czynnikiem roboczym przemieszcza się przez obracanie bębena (5), w którym usytuowana jest ta przynajmniej jedna przestrzeń robocza (P).
8. Sposób według zastrz. 7, **znamienny tym**, że przemieszcza się przynajmniej jedną przestrzeń roboczą (P), w postaci otworu łączącego powierzchnie bębena (5) stykające się płytkami pływającymi (6), przez obracanie bębena (5) za pomocą napędu (19).
9. Urządzenie (15) do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu **znamiennie tym**, że zawiera co najmniej:

- napędzany przez napęd (19), wirujący i usytuowany w obudowie (11, 12) bębenek (5), w którym znajduje się przynajmniej jedna przestrzeń robocza (P),
 - usytuowane w obudowie (11, 12), połączone z bębniem (5) wały z łożyskami (9),
 - usytuowane w obudowie (11, 12) dwie płytki pływające (6) z otworami (GC, CG) łączącymi przestrzeń roboczą (P) z:
 - obszarem wysokiego ciśnienia przed i za parownikiem (16), gdzie w przestrzeni roboczej (P) czynnik roboczy w fazie ciekłej jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym,
 - obszarem przed i za skraplaczem (17), gdzie w przestrzeni roboczej (P) czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie ciekłej.
10. Urządzenie według zastrz. 9 **znamiennie tym**, że bębenek jest osadzony obrotowo między płytkami pływającymi (6) do uszczelniania obracających się przestrzeni roboczych (P).
11. Urządzenie według zastrz. 9 **znamiennie tym**, że w gniazdach (6A) płytek pływających (6) są usytuowane uszczelki (7) do rozdzielania poszczególnych etapów.
12. Urządzenie według zastrz. 11 **znamiennie tym**, że uszczelki (7) w gniazdach (6A) płytek pływających (6) mają kształt dobrany do zapewnienia równowagi sił osiowych, które na nie działają.
13. Urządzenie (15) według zastrz. 9 **znamiennie tym**, że otwory (RP) dwóch płytek pływających (6) ponadto łączą przestrzeń roboczą (P) z obszarem, w którym jest rozprężany czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej (P).
14. Urządzenie (15) według zastrz. 10 **znamiennie tym**, że otwory (RP, NP) dwóch płytek pływających (6) ponadto łączą przestrzeń roboczą (P) z obszarem, w którym czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej (P) jest rozprężany i wykonuje pracę na dodatkowym urządzeniu wykonawczym (18A).
15. Urządzenie (15) według zastrz. 9 **znamiennie tym**, że przynajmniej jedna przestrzeń robocza (P) jest otworem łączącym powierzchnie bębna (5) stykające się płytkami pływającymi (6).
16. Układ, zawierający urządzenie do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu, parownik, skraplacz i co najmniej jedno urządzenie wykonawcze, **znamiennie tym**, że urządzenie (15) do przenoszenia czynnika roboczego w fazie ciekłej z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu zawiera co najmniej:
- napędzany przez napęd (19), wirujący i usytuowany w obudowie (11, 12) bębenek (5), w którym znajduje się przynajmniej jedna przestrzeń robocza (P),
 - usytuowane w obudowie (11, 12), połączone z bębniem (5) wały z łożyskami (9),
 - usytuowane w obudowie (11, 12) dwie płytki pływające (6) z otworami (GC, CG) łączącymi przestrzeń roboczą (P) z:
 - obszarem wysokiego ciśnienia przed i za parownikiem (16), gdzie w przestrzeni roboczej (P) czynnik roboczy w fazie ciekłej jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym,
 - obszarem przed i za skraplaczem (17), gdzie w przestrzeni roboczej (P) czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym jest wymieniany na czynnik roboczy w fazie ciekłej.
17. Układ według zastrz. 16 **znamiennie tym**, że otwory (RP) dwóch płytek pływających (6) ponadto łączą przestrzeń roboczą (P) z obszarem, w którym jest rozprężany czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej (P).
18. Układ według zastrz. 16 albo 17 **znamiennie tym**, że otwory (RP, NP) dwóch płytek pływających (6) ponadto łączą przestrzeń roboczą (P) z obszarem, w którym czynnik roboczy w fazie gazowej lub w stanie nadkrytycznym w przestrzeni roboczej (P) jest rozprężany i wykonuje pracę na dodatkowym urządzeniu wykonawczym (18A).
19. Układ według zastrz. 13 **znamiennie tym**, że przynajmniej jedna przestrzeń robocza (P) jest otworem łączącym powierzchnie bębna (5) stykające się płytkami pływającymi (6).

Rysunki

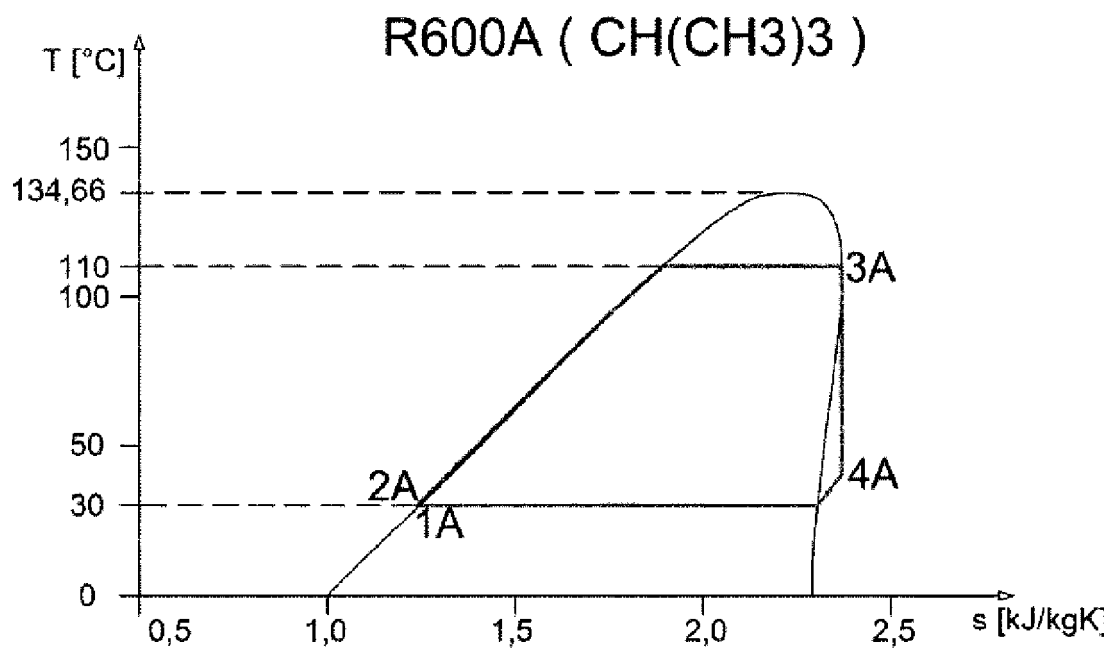


Fig. 1

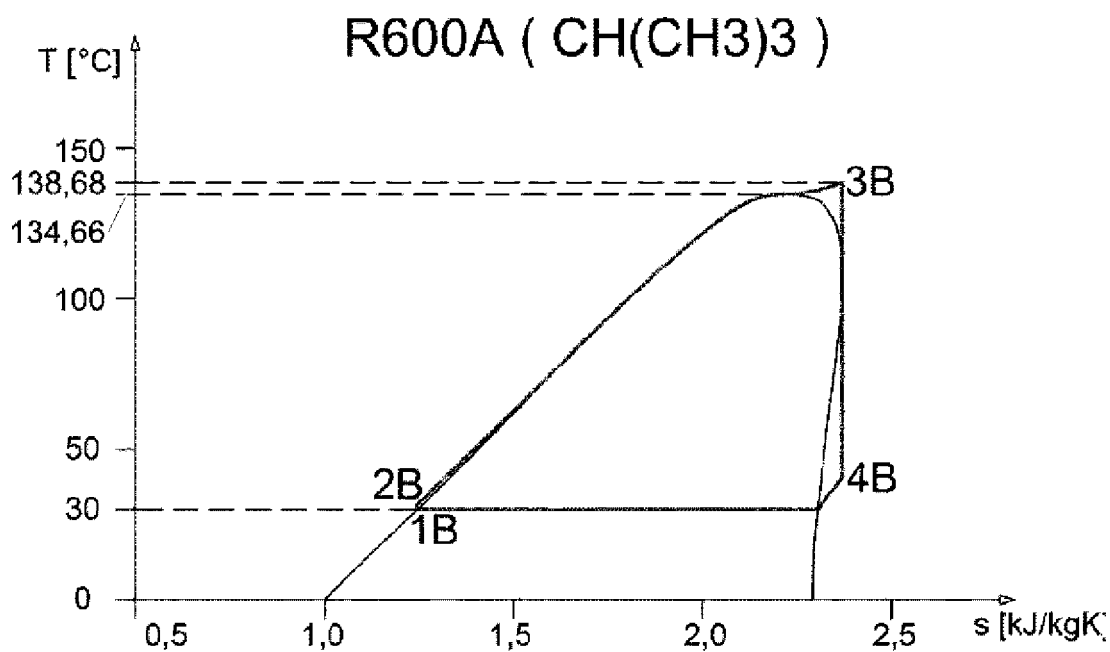


Fig. 2

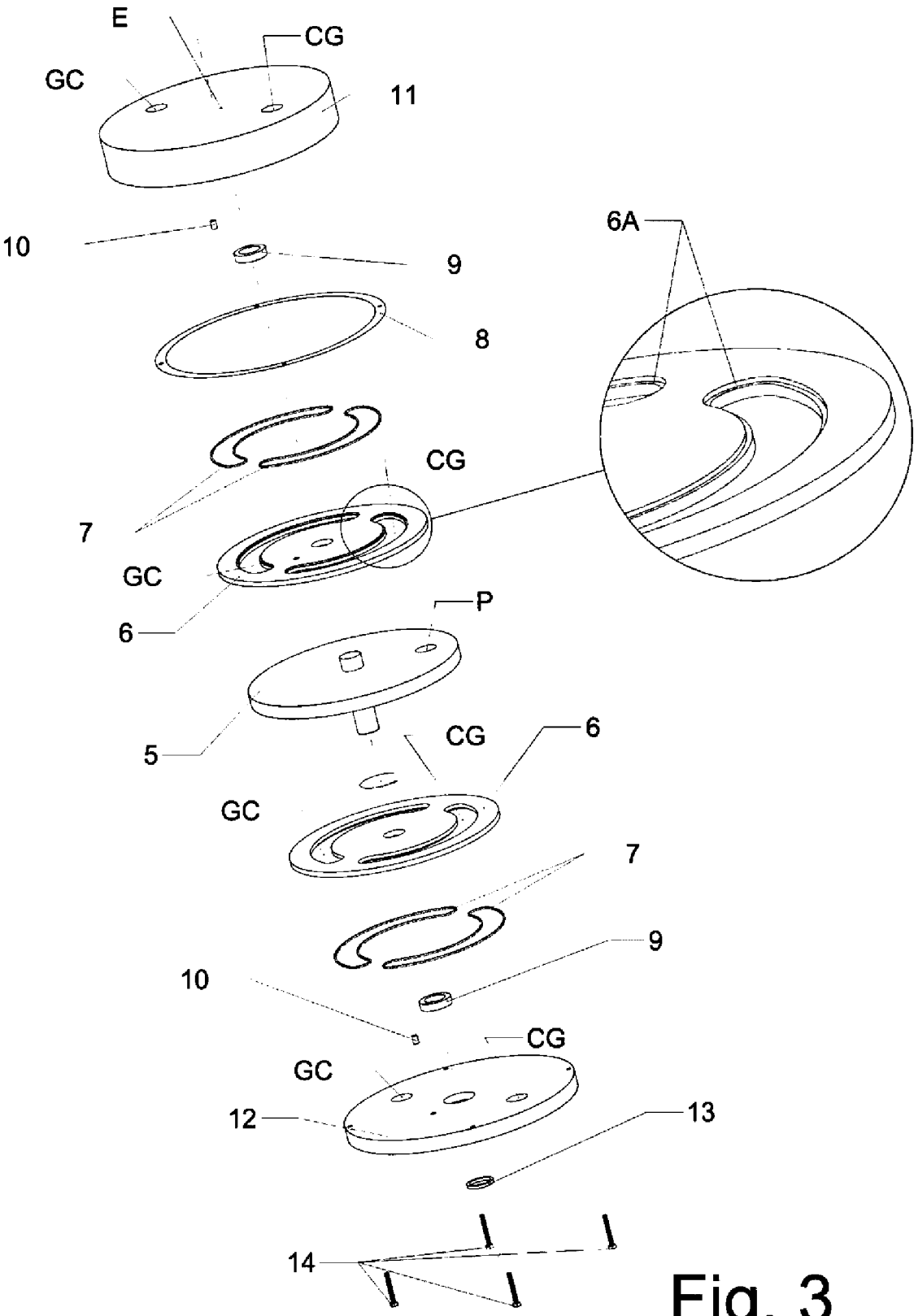


Fig. 3

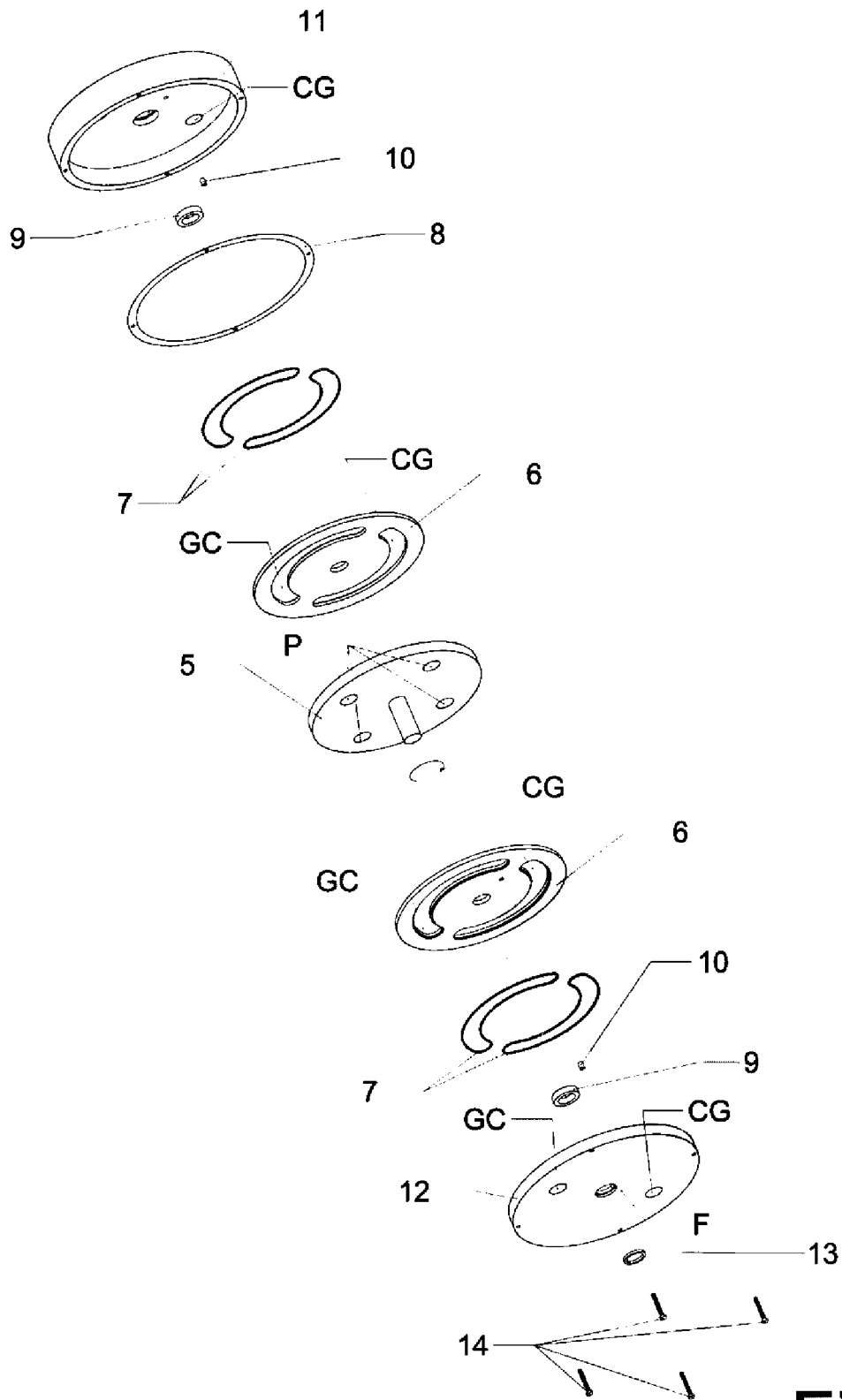


Fig. 4

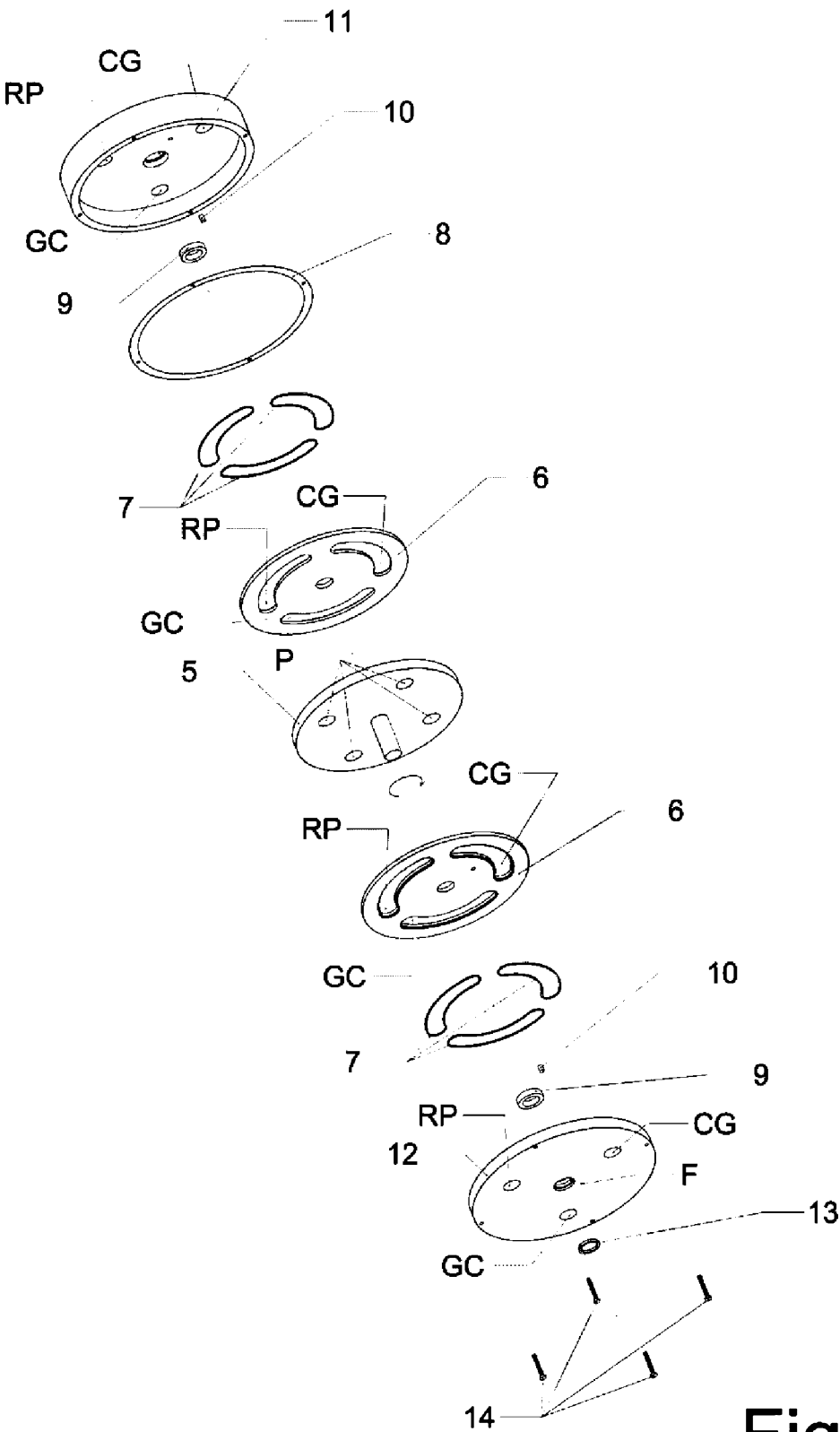
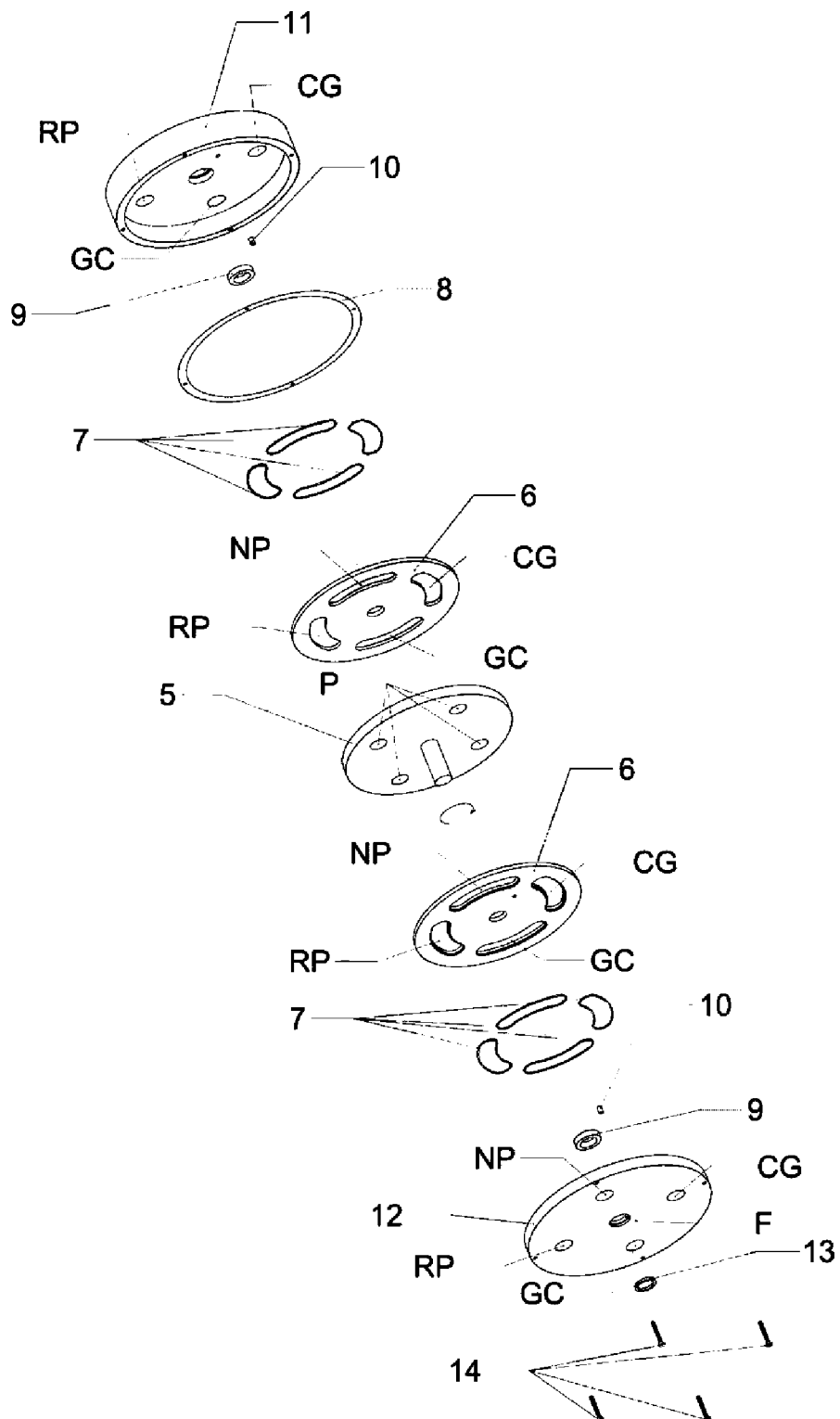
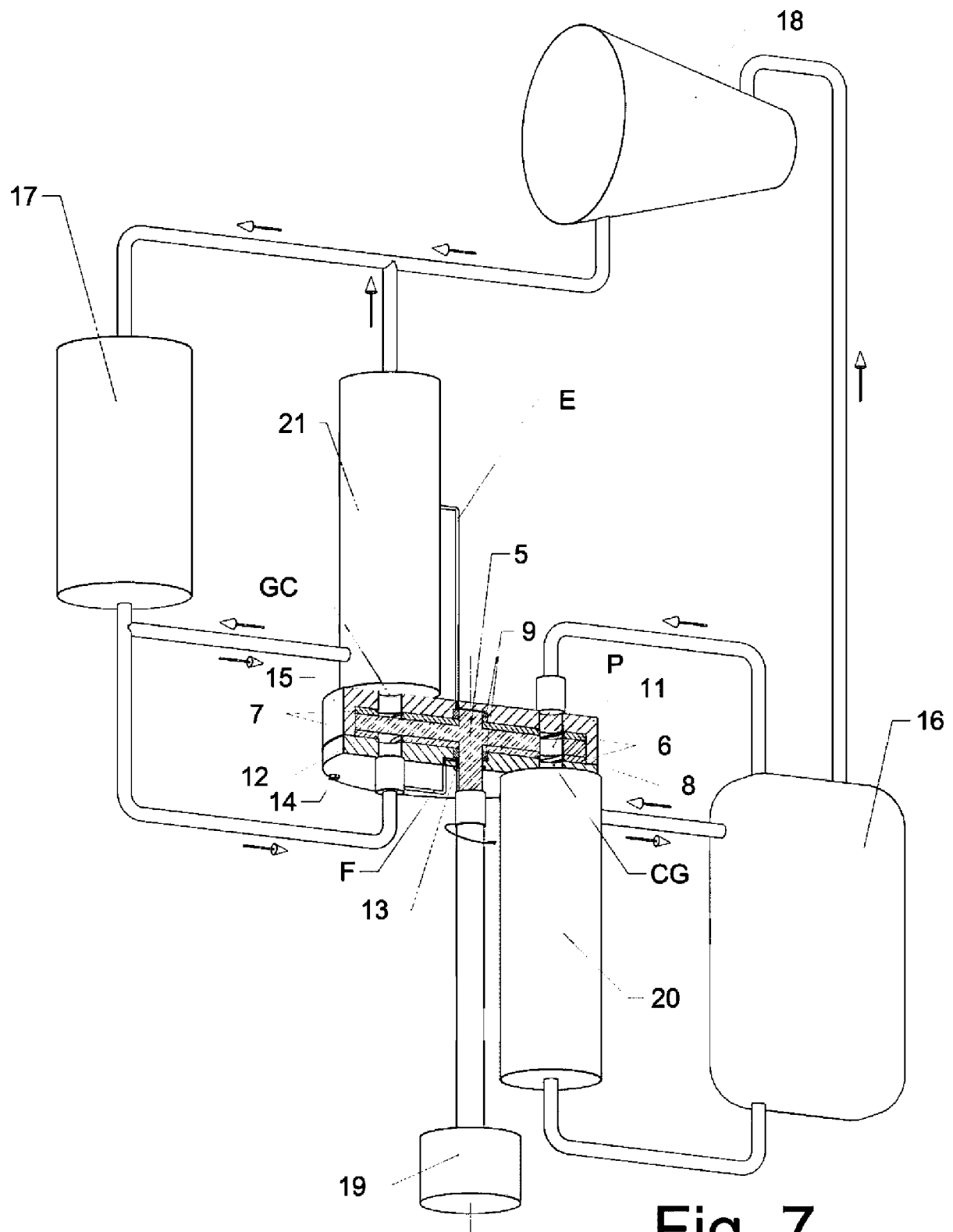


Fig. 5

**Fig. 6**

**Fig. 7**

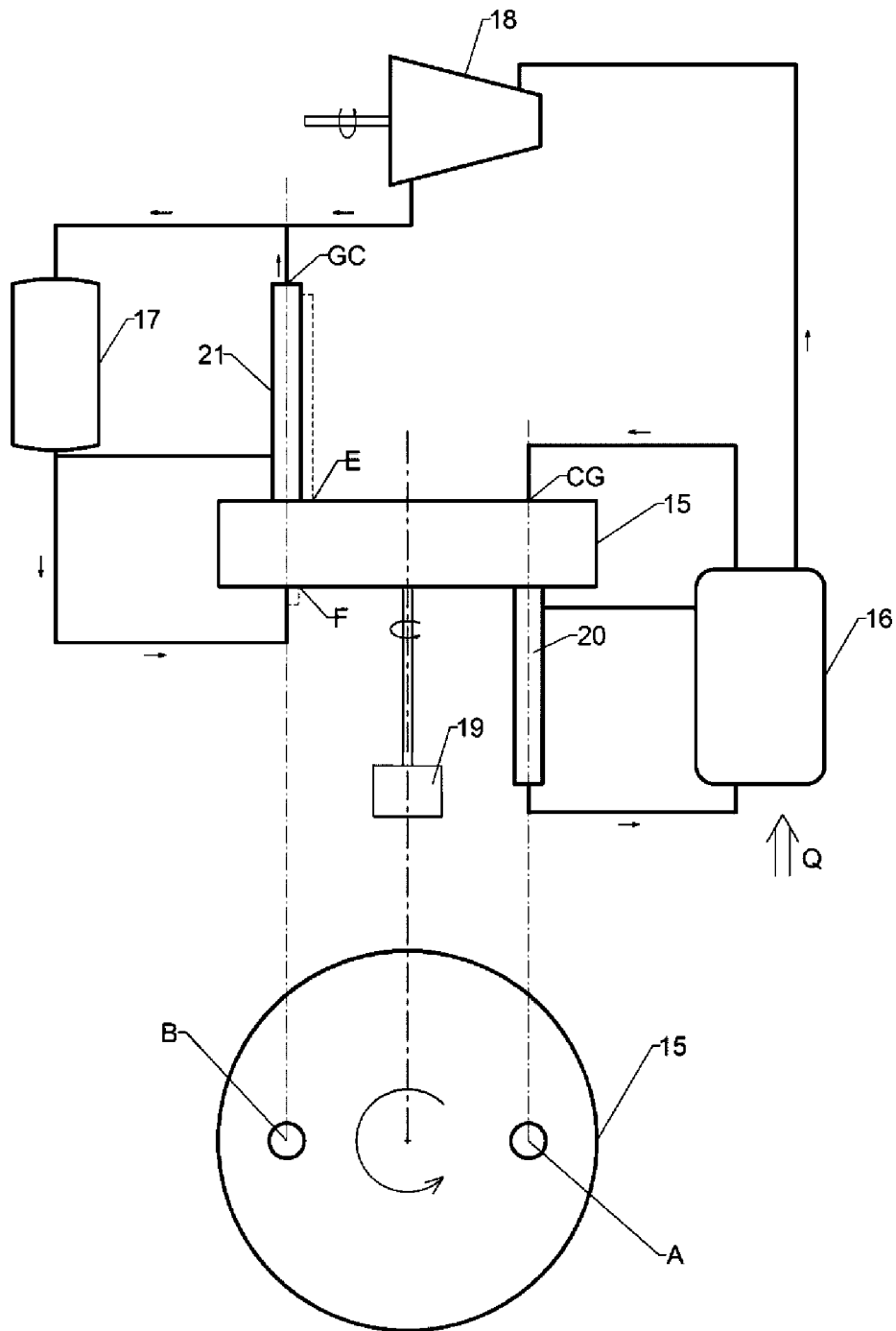


Fig. 8

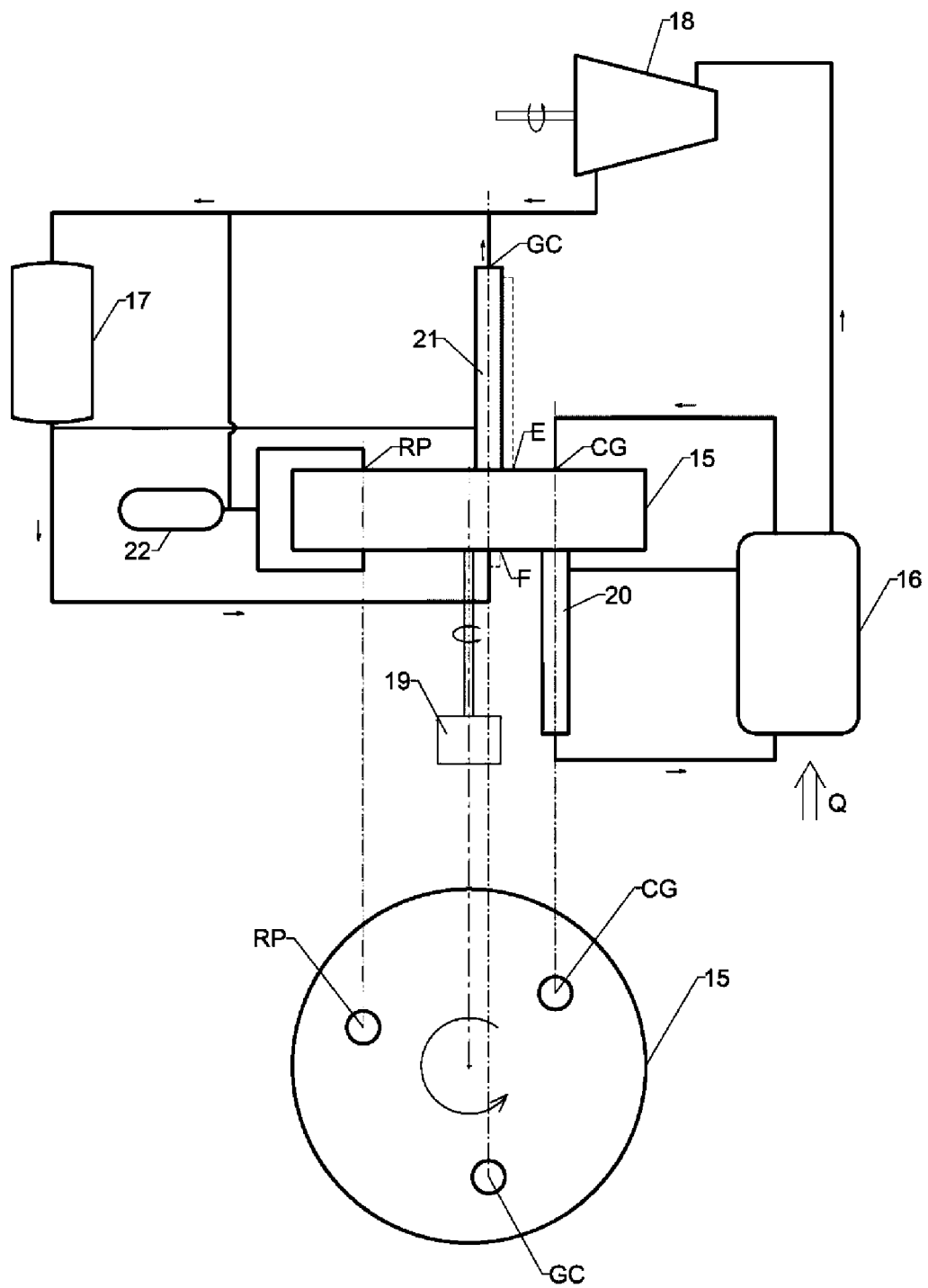


Fig. 9

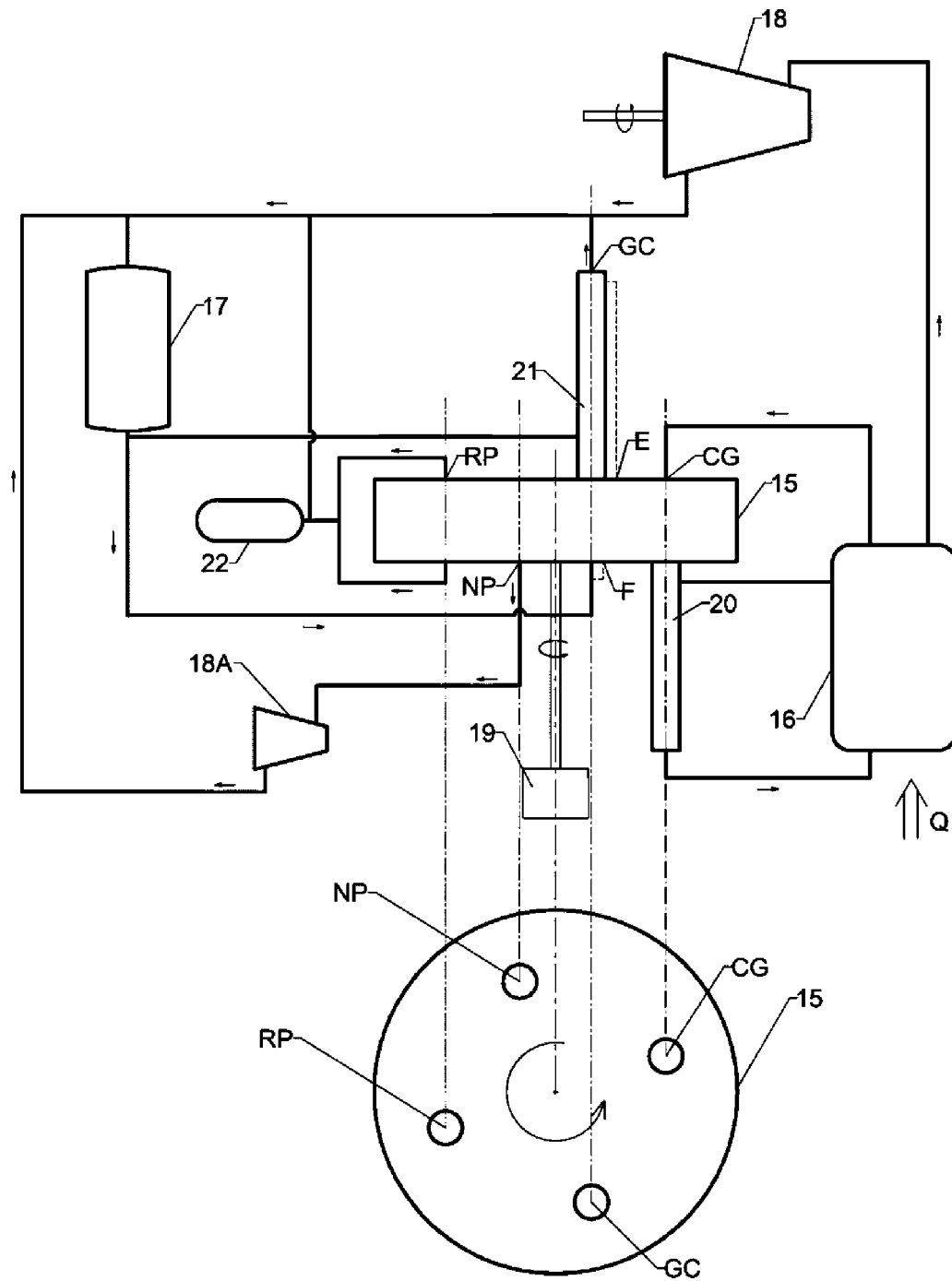


Fig. 10

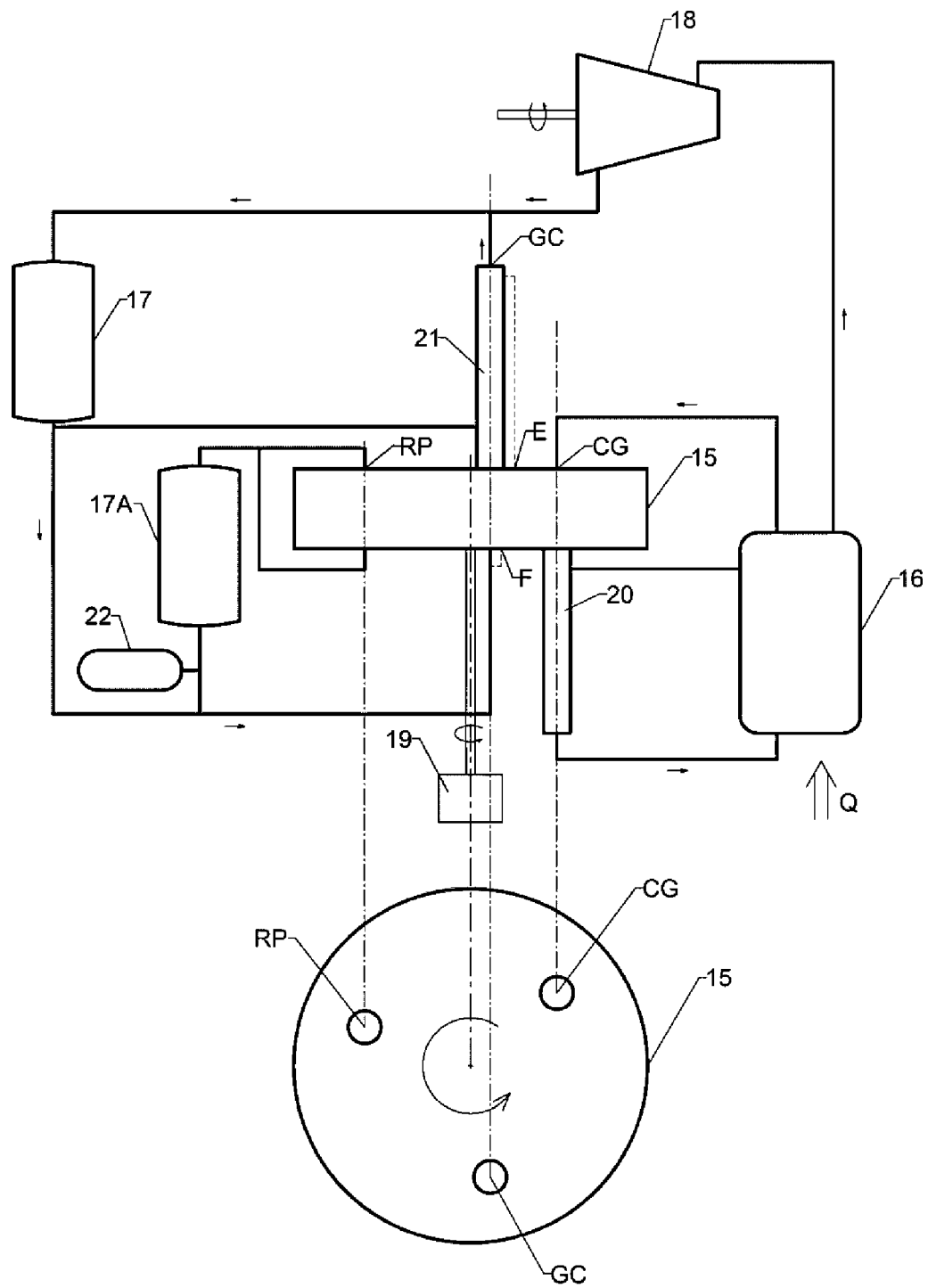


Fig. 11

