

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234294**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **422348**

(22) Data zgłoszenia: **25.07.2017**

(51) Int.Cl.

F01D 25z10 (2006.01)

F02C 1z04 (2006.01)

F01D 1z04 (2006.01)

F01D 1z20 (2006.01)

(54) **Sposób zwiększenia sprawności obiegu ciepłego siłowni z dostarczaniem ciepła
do czynnika roboczego w trakcie jego ekspansji**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
28.01.2019 BUP 03z19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.01.2020 WUP 01z20

(73) Uprawniony z patentu:

KOSOWSKI KRZYSZTOF, Gdańsk, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

KRZYSZTOF KOSOWSKI, Gdańsk, PL

MARIAN PIWOWARSKI, Gdańsk, PL

ROBERT STĘPIEŃ, Gdynia, PL

WOJCIECH WŁODARSKI, Gdańsk, PL

PL 234294 B1

Opis wynalazku

Dziedzina techniki. Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia sprawności obiegu ciepłego siłowni z dostarczaniem ciepła do czynnika roboczego w trakcie jego ekspansji, a przez to umożliwia techniczną realizację obiegu Ericssona.

Stan techniki. Współczesne siłownie cieplne charakteryzują się stosunkowo niewysoką sprawnością, gdy porównuje się ją do maksymalnej sprawności możliwej do uzyskania w danych granicach górnej i dolnej temperatury obiegu tj. sprawności obiegu Carnota (lub tzw. uogólnionych obiegów Carnota). Na przykład, najbardziej sprawne turbozespoły gazowe osiągają sprawności zaledwie przekraczające o kilka punktów procentowych wartość 40%, podczas gdy sprawność odpowiedniego obiegu Carnota jest ok. 2 razy większa. Siłownie parowe z reguły realizują, mniej lub bardziej zmodyfikowany, obieg Rankine'a., a turbozespoły gazowe – mniej lub bardziej złożony cykl Braytona. W przypadku turbozespołów gazowych obiegiem pozwalającym uzyskać wyższą sprawność jest tzw. obieg Ericssona. Idealny obieg tego typu (Rys. 1) to cykl następujących po sobie przemian: izotermiczne sprężanie, izobaryczne podgrzewanie czynnika w regeneratorze o efektywności 100%, izotermiczna ekspansja w ekspanderze i izobaryczne oddawanie ciepła we wspomnianym regeneratorze. Ideę realizacji takiego obiegu można przedstawić na przykładzie układu otwartego, pokazanego na Rys. 2 złożonego z izotermicznej sprężarki, idealnego regeneratora i izotermicznego ekspandera (turbiny). Natomiast praktyczna realizacja takiej siłowni nie zakończyła się do tej pory zadawalającym sukcesem. Główny problem stanowi przeprowadzenie izotermicznej ekspansji, w trakcie której wykonywana jest praca. Zapewnienie stałej, a przy tym wysokiej temperatury w kanałach przepływowych ekspandera napotyka na liczne trudności. Na przykład, realizacja procesu spalania w kanałach przepływowych nie udaje się, gdyż przy dużej prędkości przepływającego czynnika następuje zerwanie płomienia. Inną metodą jest wprowadzanie (wstrzykiwanie) grzewczego (o wysokiej temperaturze) strumienia w kanał przepływowy, ale przy bardzo małych czasach przepływu w układach łopatkowych taki mały strumień nie jest w stanie ogrzać strumienia głównego. Proponuje się też wprowadzenie gorącego strumienia płynu do specjalnych kanałów w korpusie lub łopatkach, ale konwekcyjne podgrzewanie nie jest wystarczająco efektywne w przypadku wysokich temperatur i bardzo dużych prędkości przepływającego czynnika. Znane są też propozycje, by przybliżyć się do ekspansji izotermicznej przez zastosowanie sekwencyjnych komór spalania i chłodnic międzystopniowych w przypadku procesu sprężania.

Tego typu rozwiązania przedstawione są w licznych patentach, np.:

- w patencie US2407166 opisano cykl z realizacją ekspansji i kompresji przez połączenie procesów izotermicznych i adiabatycznych oraz obieg z wieloma chłodnicami i komorami spalania,
- w patencie US 5473899 przedstawiono obieg z wieloma chłodnicami (tzw. chłodnice międzystopniowe) i komorami spalania (tzw. sekwencyjne komory spalania) lub przegrzew w turbinach gazowych,
- w patencie US4984432 przedstawiono propozycję realizacji obiegu Ericssona w przypadku odwrotnego obiegu chłodniczego z cieczą jako czynnikiem roboczym (sprężanym i ekspandującym),
- w patencie US5894729 sposób realizacji obiegu Ericssona z wykorzystaniem tłokowego ekspandera i tłokowej sprężarki,
- w patencie US7124585 opisano sposób realizacji obiegu Ericssona z wykorzystaniem kompresora i ekspandera typu scroll (korpusy omywane płynem, nie zapewniają izotermicznych procesów),
- w patencie WO 2013070704 A2 (US9482450, US20140311167, WO2013070704A3) przedstawiono układ realizujący obieg Ericssona, ale z zastrzeżeniem praktycznej realizacji tylko dla bardzo małych mocy (do 250 W),
- w patentach US 4984432 i US 7401475 procesy chłodzenia w czasie kompresji i grzania przy ekspansji realizowane są za pomocą cieczy.

Żadne z proponowanych do tej pory rozwiązań nie znajduje praktycznego zastosowania, gdyż proponowane metody doprowadzania ciepła w czasie ekspansji z uwagi na ograniczenia temperatury czynnika oraz bardzo mały zakres możliwych do uzyskania mocy nie nadają się do zastosowania w energetyce zawodowej.

Wykaz oznaczeń na rys. 1 oraz rys. 2

Charakterystyczne punkty obiegu na Rys. 1:

- 1 – czynnik roboczy przed -sprężaniem,
- 2 – czynnik roboczy za sprężarką,
- 3 – czynnik roboczy przed ekspanderem.
- 4 – czynnik roboczy za ekspanderem.

Elementy obiegu na Rys. 2:

- A – sprężarka (układ sprężający)
B – regenerator
C – ekspander (np. turbina)

Charakterystyczne punkty obiegu na Rys. 2:

- 1 – czynnik roboczy przed sprężaniem,
- 2 – czynnik roboczy za sprężarką,
- 3 – czynnik roboczy przed ekspanderem,
- 4 – czynnik roboczy za ekspanderem,
- 5 – czynnik roboczy na wylocie do otoczenia.

Istota wynalazku. Sposób według wynalazku polega na tym, że przepływający w kanałach ekspandera (turbiny) czynnik jest podgrzewany głównie drogą promieniowania ze źródła lub źródeł ciepła rozmieszczonych w jego pobliżu. Kształt przyrządu ekspansyjnego (zmiana przekrojów wzdłuż przepływu) jest tak dobrany, by zapewnić ekspansję izotermiczną (lub izentalpową) albo do niej zbliżoną.

Istota wynalazku polega na tym, że ciepło dostarczane jest do kanałów przepływowych urządzeń realizujących ekspansję (ekspandera, turbiny) głównie drogą promieniowania, dla którego współczynniki charakteryzujące przejmowanie ciepła są wielokrotnie wyższe od odpowiednich współczynników w przypadku typowego procesu konwekcji (grzanie gorącą cieczą lub gazem). Dzięki temu możliwe jest utrzymanie wysokiej temperatury ścianki przyrządu ekspansyjnego i w szczególnym przypadku ta temperatura może być stała, a przez to możemy utrzymać stałą (wysoką) temperaturę ekspandującego czynnika (nawet powyżej 1200°C i to przy dużych prędkościach przepływu i przekraczających 450 m/s. Są to wartości, które odpowiadają spadkom entalpii powyżej kJ/kg w tradycyjnych i adiabatycznych) stopniach turbinowych, a więc w zupełności uzasadniające ich możliwości wykorzystania w turbinach gazowych i parowych. Przykład wykonania najprostszego przyrządu przepływowego w postaci płaskiej dyszy ekspansyjnej przedstawiono na fig.1, na którym także pokazano schematycznie zmiany średnich wartości podstawowych parametrów przepływu (prędkości, ciśnienia i temperatury) wzdłuż tej dyszy.

Dzięki tym zabiegom turbozespół z przyrządami przepływowymi według wynalazku odznacza się znacznie wyższą sprawnością od stosowanych obecnie odpowiednich obiegów turbinowych. Taki sposób doprowadzania ciepła może być realizowany w przypadku przyrządów ekspansyjnych nieruchomych (dysz, kierownic) lub ruchomych (palisad wirnikowych). Tego typu przyrządy ekspansyjne mogą współpracować z układem wirnikowym lub kierowniczym stopnia turbinowego, ze stopniem lub grupą stopni turbinowych, a w szczególności z akcyjnym układem przepływowym wirnika turbiny. Mogą stanowić fragment stopnia turbinowego lub stopień turbinowy, a także stanowić element grupy stopni turbinowych.

Istota wynalazku według alternatywnych rozwiązań polega na tym, że w rozwiązaniach wariantowych można zastosować dodatkowe elementy, np. podnoszące wartości współczynników wymiany ciepła w przyrządach ekspansyjnych, jak uźebrowanie powierzchni i progi turbulizujące przepływ po stronie przepływającego czynnika.

Poszczególne przyrządy ekspansyjne mogą być w różny sposób kształtowane przestrzennie, np. osiowo-symetryczne, płaskie, wygięte, kształtowane pod kątem współpracy z układem przepływowym turbiny. Przykłady rozwiązań pokazano na Fig. 3–Fig. 10.

Zaletami rozwiązania według wynalazku są:

- możliwość realizowania izotermicznej lub izentalpowej ekspansji (lub do niej zbliżonej),

- możliwość utrzymania stałej (wysokiej) temperatury ekspandującego czynnika (nawet powyżej 1200°C) dużych prędkościach przepływu (przekraczających 450 m/s),
- możliwości wykorzystania w turbinach gazowych i parowych w energetyce zawodowej lub trakcji.

Przykład wykonania wynalazku. Przykładowe rozwiązanie pokazano na fig. 1. Czynnik roboczy (gaz lub para) przepływa przez przyrząd ekspansyjny (I) zmniejszając swoje ciśnienie; zwiększając prędkość. W czasie przepływu czynnik jest ogrzewany, by jego temperatura pozostawała stała, przede wszystkim poprzez promieniowanie z zewnętrznego źródła ciepła. Następnie czynnik, posiadający już wystarczająco dużą energię kinetyczną, kierowany jest do akcyjnego układu przepływowego wirnika turbiny (IV), gdzie ta energia kinetyczna zamieniana jest na pracę mechaniczną bez dalszej ekspansji lub z niewielką ekspansją. Variantowo przyrząd ekspansyjny może współpracować ze stopniem lub grupą stopni turbinowych. Na fig. 1 przedstawiono także schematycznie zmianę średnich wartości parametrów przepływu (prędkości v , ciśnienia p i temperatury T) wzdłuż dyszy (I).

Przykłady alternatywnych rozwiązań pokazano na przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

- fig. 2 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, układ przyrządów ekspansyjnych w ekranach odbijających i skupiających promieniowanie, by zwiększyć współczynniki przekazywania ciepła. W celu zwiększenia efektywności ogrzewania zastosowano ekrany odbijające i koncentrujące promieniowanie (II i III),
- fig. 3 przedstawia płaski przyrząd ekspansyjny osiowosymetryczny ogrzewany poprzez promieniowanie,
- fig. 4 przedstawia płaski przyrząd ekspansyjny bez osi symetrii ogrzewany poprzez promieniowanie,
- fig. 5 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, przestrzenny przyrząd ekspansyjny osiowosymetryczny o stałej wysokości kanału przepływowego i zmniejszającej się średnicy,
- fig. 6 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, przestrzenny, osiowosymetryczny przyrząd ekspansyjny o zmiennej wysokości kanału przepływowego, a stałej średnicy zewnętrznej,
- fig. 7 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, przestrzenny, osiowosymetryczny przyrząd ekspansyjny o zmiennej wysokości kanału przepływowego, a stałej średnicy wewnętrznej,
- fig. 8 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, przestrzenny przyrząd ekspansyjny o zmiennej wysokości kanału przepływowego z profilami zmieniającymi kierunek przepływu (np. w celu współpracy z układem wirnikowym lub kierowniczym stopnia turbinowego),
- fig. 9 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie, płaski przyrząd ekspansyjny ukształtowany w części końcowej tak, by zmienić kierunek przepływu (np. w celu współpracy z układem wirnikowym lub kierowniczym stopnia turbinowego),
- fig. 10 przedstawia, ogrzewany poprzez promieniowanie przyrząd ekspansyjny ukształtowany na całej długości tak, by zmienić kierunek przepływu (np. w celu współpracy z układem wirnikowym lub kierowniczym stopnia turbinowego),
- fig. 11 przedstawia palisadę łopatek turbinowych (ruchomą lub stacjonarną) podgrzewaną głównie przez promieniowanie.

WYKAZ OZNACZEŃ NA RYSUNKU

- I – izotermiczny przyrząd ekspansyjny
II, III – ekrany odbijające promieniowanie
IV – układ przepływowy wirnika turbiny
V – układ przepływowy palisady kierowniczej turbiny

Zastrzeżenia patentowe

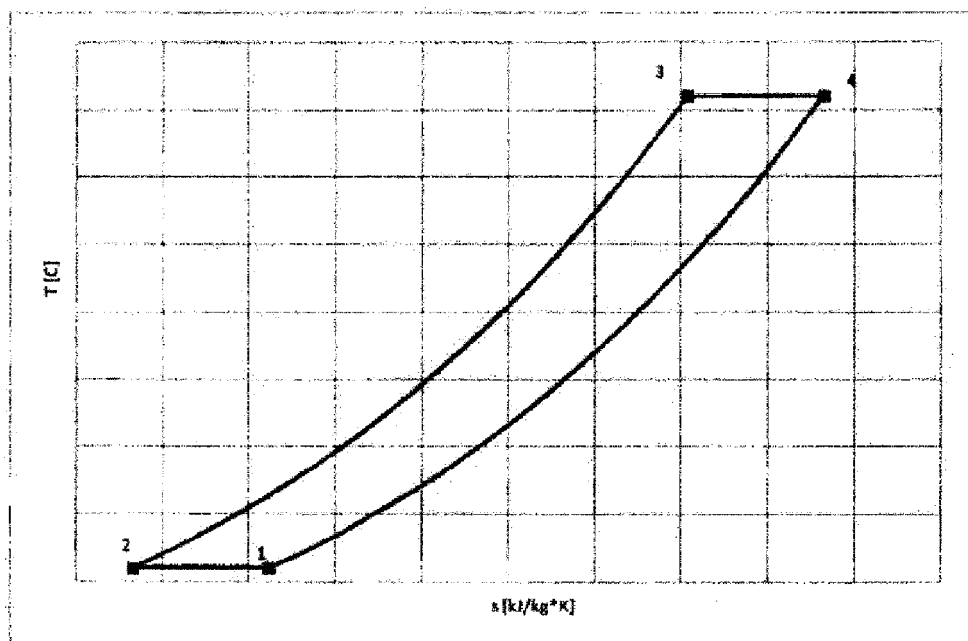
1. Sposób zwiększenia sprawności obiegu cieplnego siłowni z dostarczaniem ciepła do czynnika roboczego w trakcie jego ekspansji, **znamienny tym**, że czynnik roboczy przepływa przez przyrząd ekspansyjny (I) i jest ogrzewany z zewnętrznego źródła ciepła głównie poprzez promieniowanie, a następnie strumień czynnika wypływający z przyrządu ekspansyj-

nego (I) współpracuje z układem wirnikowym (IV) lub kierowniczym (V) stopnia turbinowego, ze stopniem lub grupą stopni turbinowych, a w szczególności z akcyjnym układem przepływowym wirnika turbiny.

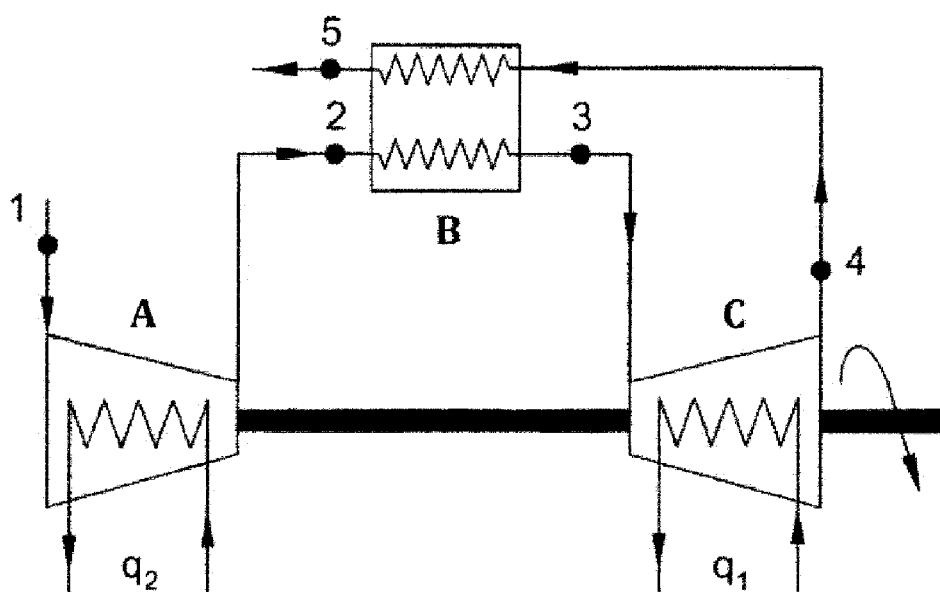
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w rozwiązaniach wariantowych można zastosować dodatkowe elementy, np. podnoszące efektywność wymiany ciepła, jak uźebrowanie powierzchni i progi turbulizujące przepływ po stronie, przepływającego czynnika czy ekrany odbijające i skupiające promieniowanie (II, III).
3. Sposób według zastrz. 1 lub 2, **znamienny tym**, że poszczególne przyrządy ekspansyjne (I) mogą być w różny sposób kształtowane przestrzennie, np. osiowosymetryczne. płaskie, wygięte. kształtowane pod kątem współpracy z układem przepływowym turbiny.

Rysunki

Rysunek dla określenia stanu techniki



Rys.1



Rys.2

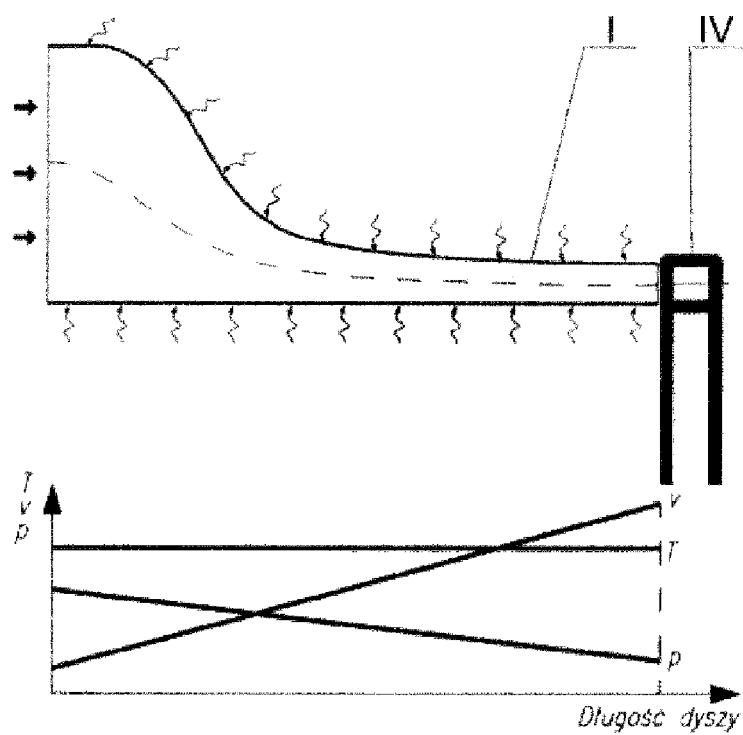


Fig. 1

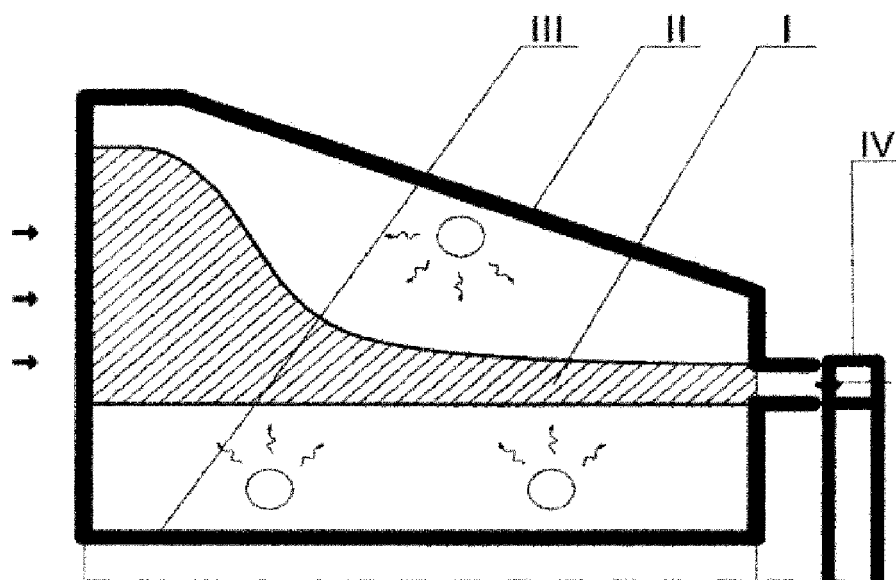


Fig. 2

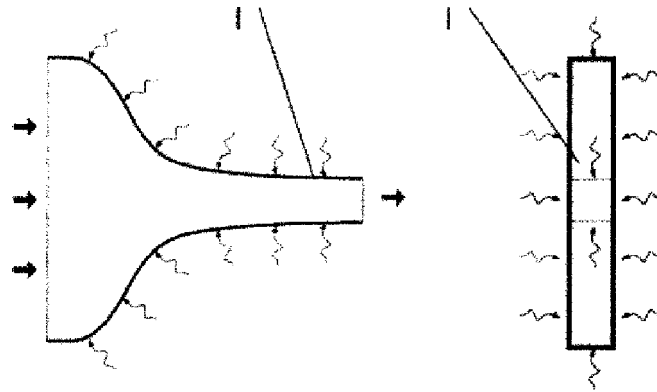


Fig. 3

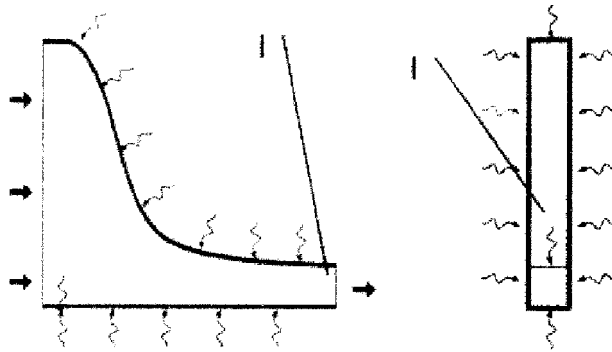


Fig. 4

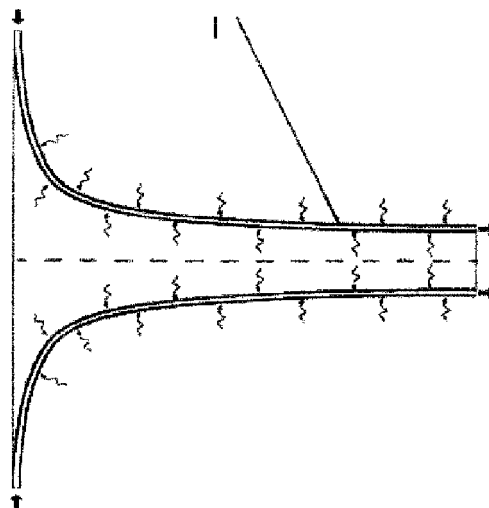


Fig. 5

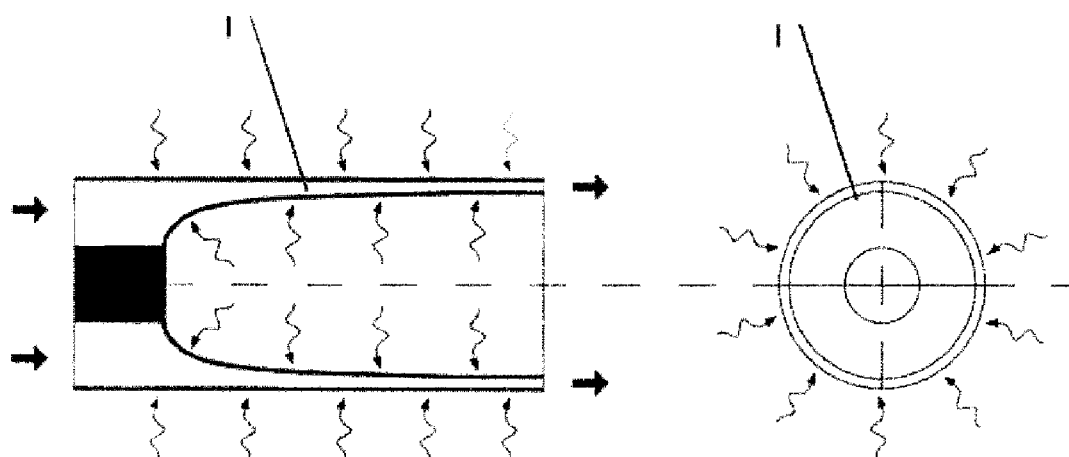


Fig. 6

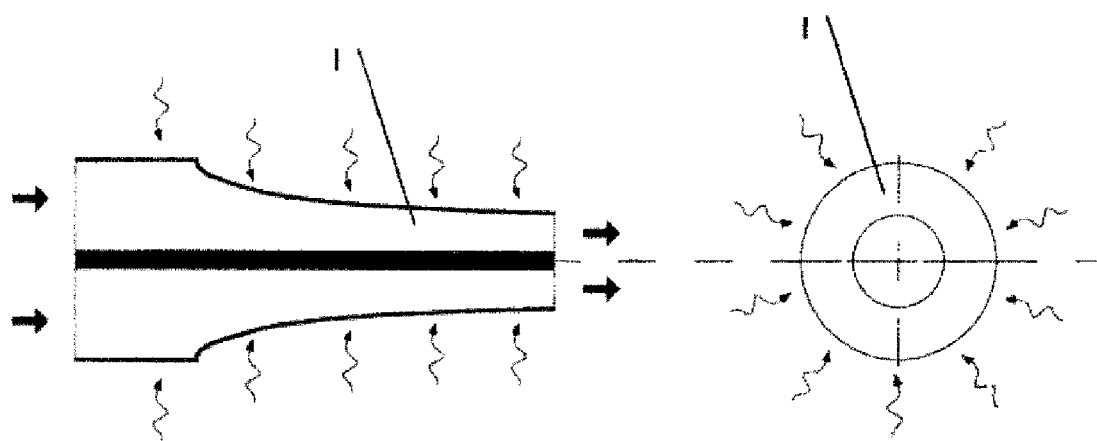


Fig. 7

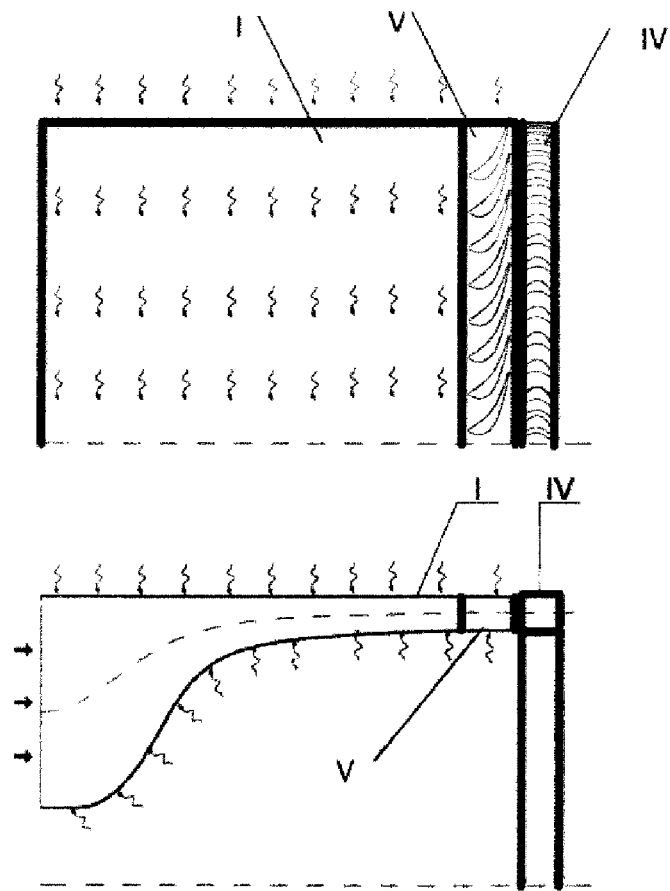


Fig. 8

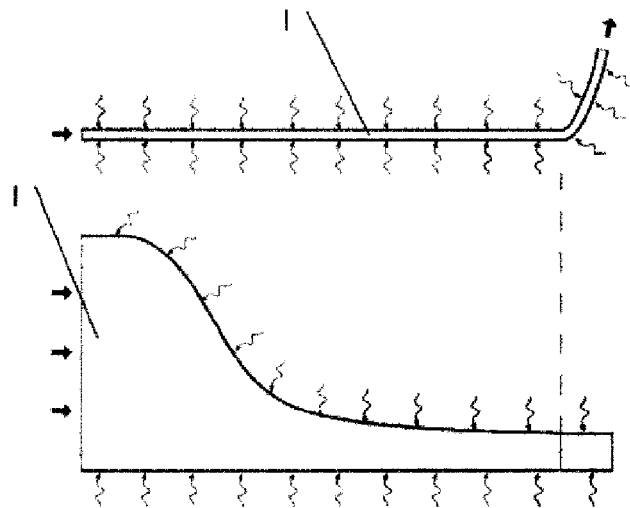


Fig. 9

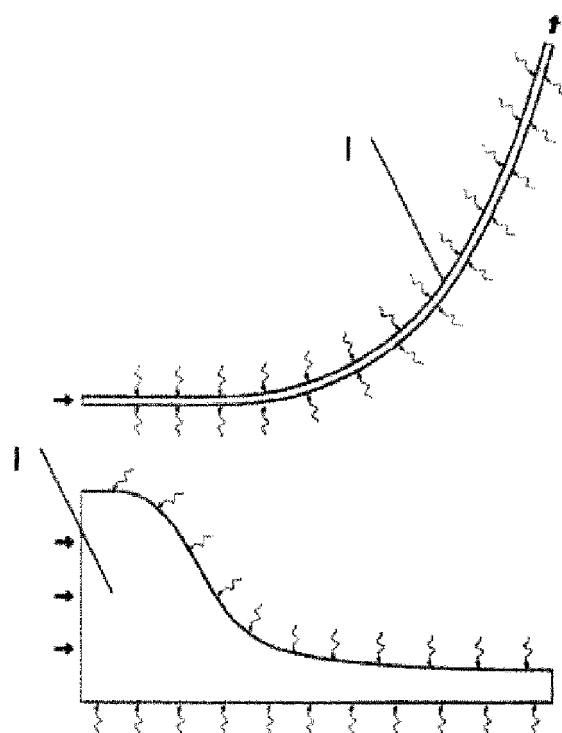


Fig. 10

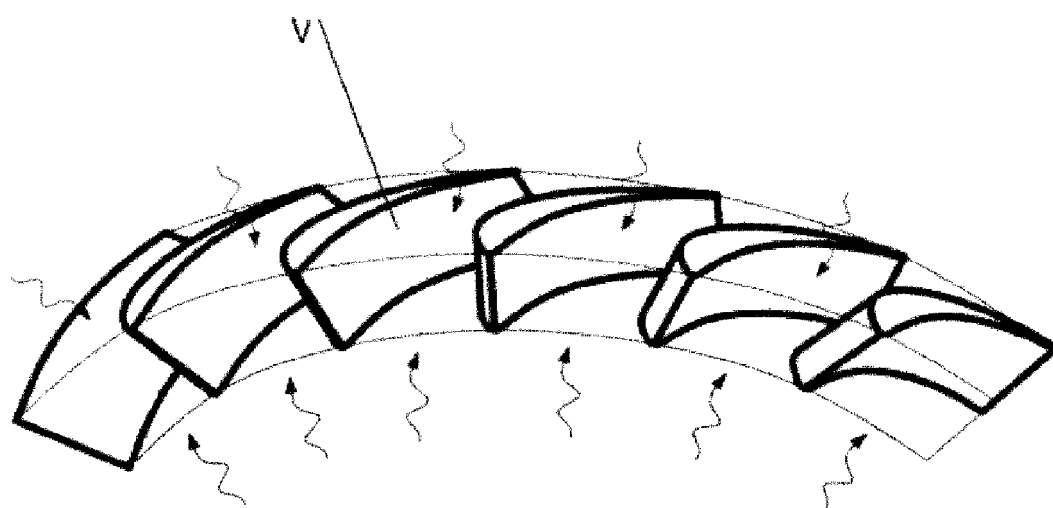


Fig. 11