

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **237224**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **428598**

(22) Data zgłoszenia: **16.01.2019**

(51) Int. Cl.

**B05B 1/08 (2006.01)**

**F21V 29/63 (2015.01)**

(54)

**Generator strugi syntetycznej oraz jego zastosowanie**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**27.07.2020 BUP 16/20**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**22.03.2021 WUP 06/21**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA  
IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PAWEŁ GIL, Rzeszów, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Piotr Okarmus**

**PL 237224 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest generator strugi syntetycznej oraz zastosowanie tego generatora strugi syntetycznej.

Przepływ generowany przez struktury wirowe znany jest z publikacji Ingard et al. pt.: „Acoustic Circulation Effects and the Nonlinear Impedance of Orifices”, Journal of the Acoustical Society of America, 22 (2), 211–218, 1950, a kolejne informacje na temat tego przepływu zostały przedstawione w publikacji Smith B. L. & Glezer A. pt.: „The formation and evolution of synthetic jets”, Physics of fluids, 10 (9), 2281–2297, 1998. Struga syntetyczna jest rodzajem przepływu generowanym przez ścieżkę wirów pierścieniowych wytwarzanych przez generator strugi syntetycznej. Nazwa struga syntetyczna pochodzi od słowa synteza czyli złożenie przepływu, strumienia, poprzez poszczególne wiry, które zasysają dodatkowy zewnętrzny płyn z otoczenia dyszy. Cechą charakterystyczną urządzenia wytwarzającego strugę syntetyczną jest brak zewnętrznego doprowadzania płynu. Średnie masowe natężenie przepływu w przekroju dyszy wynosi dokładnie zero, a pomimo to w pewnej odległości od płaszczyzny dyszy wiry zasysają zewnętrzny płyn, który wywołuje przepływ o niezerowym wydatku masowym. W publikacji Smith B. L. & Swift G. W. pt.: „A comparison between synthetic jets and continuous jets”, Experiments in Fluids, 34 (4), 467–472, 2003, zostało ujawnione to, że dokonując analizy parametrów przepływowych strugi syntetycznej uśrednionych w czasie, można zauważyć podobieństwo do strug ciągłych.

W opisie patentowym US 5758823 A została ujawniona budowa generatora strugi syntetycznej, który wytwarza strugę syntetyczną charakteryzującą się ciągiem wirów, które mogą być wykorzystane do sterowania przepływem płynu. Ponieważ generator strugi syntetycznej wykazuje zerowe masowe natężenie przepływu, może być stosowany w ograniczonych przestrzeniach. Ten znany generator strugi syntetycznej posiada obudowę z wewnętrzną komorą i posiada dyszę. Elastyczna, metalizowana membrana tworzy ścianę obudowy i może, poprzez swój ruch, cyklicznie zmieniać objętość komory. Ruch membrany powoduje zmianę objętości komory wewnętrznej, zaś wiry są wyrzucane z komory przez dyszę. Z publikacji Utturkar Y., Holman R., Mittal R., Carroll B., Sheplak M. & Cattafesta L. pt. „A jet-formation criterion for synthetic jet-actuators”, AIAA Paper 2003–0636, 2003 natomiast, znana jest zasada, że przy spełnieniu odpowiedniego kryterium podczas cyklu wyrzucania płynu z komory zostanie uformowana struktura wirowa, która przemieszcza się pod wpływem samoindukcji. Podczas cyklu zasysania płynu do komory, struktura wirowa jest dostatecznie daleko od dyszy i do komory zostanie zassany świeży płyn z otoczenia dyszy. W przypadku wykorzystania strugi syntetycznej do chłodzenia i rozpraszania ciepła wykorzystuje się konfigurację przepływu w kanale z przepływem poprzecznym ze strugą syntetyczną lub chłodzenie uderzeniowe. W przypadku chłodzenia uderzeniowego, gdy mała jest odległość pomiędzy chłodzonym obiektem a dyszą generatora strugi syntetycznej pojawia się problem z efektywnym rozpraszaniem ciepła, ponieważ podczas cyklu zasysania zostaje zassane ciepłe powietrze do komory, które redukuje odprowadzaną moc cieplną, poprzez zmniejszenie się różnicy temperatury co zostało opisane w publikacji Valiorgue P., Persoons T., McGuinn A. & Murray D. pt. „Heat transfer mechanisms in an impinging synthetic jet for a small jet-to-surface spacing”, Experimental Thermal and Fluid Science, 33 (4), 597–603, 2009. Fakt ten determinuje większość rozwiązań konstrukcyjnych generatorów strugi syntetycznej z wymiennikami ciepła lub radiatorami, to znaczy, że struga syntetyczna jest generowana ze świeżego, zimnego płynu a następnie jest kierowana na ogrzane powierzchnie. Większość rozwiązań jest tak kształtowana, aby zużyty ciepły płyn był skutecznie usuwany z otoczenia dyszy generatora strugi syntetycznej.

Z opisu patentowego US 6123145 A znany jest generator strugi syntetycznej do chłodzenia ogrzanych ciał stałych albo ogrzanego płynu za pomocą strumieni w otwartych lub zamkniętych systemach. To znane rozwiązanie może być wykorzystywane do chłodzenia komponentów i podzespołów elektronicznych. Z opisu patentowego US 7336486 B2 znane jest natomiast urządzenie z zastosowaniem wielu generatorów strugi syntetycznej w konfiguracji macierzowej, które połączone są z odpowiednimi modułami chłodzącymi, mającymi za zadanie skuteczne rozpraszanie ciepła. W opisach patentowych US 7932535 B2 oraz US 8066410 B2 natomiast zostały ujawnione urządzenia do chłodzenia modułów i diod LED, które zawierają generatory wytwarzające strugę syntetyczną, która intensyfikuje konwekcyjną wymianę ciepła.

Z opisu patentowego US 8579476 B2 znane jest urządzenie umożliwiające efektywne rozpraszanie ciepła generowanego przez diody LED poprzez odbiór ciepła w radiatorze, w którym są wykonane promieniowo kanały stanowiące dysze generatora strugi syntetycznej. Dysza jest miejscem, w którym występuje proces przejmwania ciepła. W tym znanym wynalazku jednak dysze mają znaczną długość, która może wpływać negatywnie na jego efektywność. Powierzchnia wymiany ciepła w tym znanym rozwiązaniu została zwiększona przez zastosowanie długiego kanału, co może powodować jednak powstawanie dużych oporów

przepływu. Badania eksperymentalne przedstawione w publikacji Chaudhari M., Puranik B. & Agrawal A. pt.: „Heat transfer characteristics of synthetic jet impingement cooling”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35 (5–6), 1057–1069, 2010, ujawniają wyniki, że najbardziej efektywne do chłodzenia są relatywnie krótkie dysze, kanały.

W opisie patentowym CN 105523186 B zostało ujawnione rozwiązanie konstrukcyjne wykorzystujące generator albo macierz generatorów strugi syntetycznej z zainstalowanymi grzałkami wewnątrz komory na których mogą być zamontowane radiatory z żebrami. To znane rozwiązanie ma na celu usuwanie wilgoci, lodu oraz ogrzewanie różnych powierzchni za pomocą gorącej strugi syntetycznej. Może ono również wykorzystywać działanie jednostronne lub dwustronne membrany generatora strugi syntetycznej oraz działa ono na zasadzie podgrzewania płynu w komorze przez grzałkę albo grzałki elektryczne i generowanie ciepłej strugi syntetycznej.

W opisie zgłoszeniowym wynalazku US 20100110630 A1 zostało ujawnione rozwiązanie stanowiące połączenie generatora strugi syntetycznej z radiatorem, który może mieć żebra rozmieszczone promieniowo. Generator strugi syntetycznej może mieć kształt walca z dyszami na zewnętrznej powierzchni walcowej albo może mieć kształt torusa z dyszami na wewnętrznej powierzchni walcowej. Generowane strugi syntetyczne chłodzą styknie żebra rozpraszając ciepło odebrane przez radiator. To znane rozwiązanie bazuje na konwencjonalnym wykorzystaniu generatora strugi syntetycznej.

Również w opisach zgłoszeniowych wynalazków US 20070119573 A, US 20060196638 A1, US 20110024092 A1, US 20070081027 A1 oraz w opisie patentowym US 7990705 B2 zostały ujawnione rozwiązania konstrukcyjne generatorów strugi syntetycznej powiązanych z wymiennikami ciepła albo radiatorami.

Ciepło generowane przez diody, moduły czy oprawy oświetleniowe LED często jest rozpraszane do otoczenia w sposób pasywny, to jest przez radiatory pracujące przy konwekcji swobodnej. Przemysłowe lampy LED o dużej mocy sięgającej 200 W muszą mieć duże, ciężkie radiatory, które będą w stanie odprowadzić ciepło generowane przez diody do otoczenia, jednak stosowany dotychczas sposób nie daje możliwości sterowania temperaturą diod.

Celem wynalazku jest opracowanie nowego generatora strugi syntetycznej oraz jego zastosowanie, umożliwiającego optymalizację procesu chłodzenia.

Generator strugi syntetycznej zawierający walcową obudowę z podstawą oraz z dyszami w jej ścianie bocznej walcowej, komorę, membranę zamocowaną do obudowy po przeciwnej, do podstawy stronie, oraz we wnętrzu komory radiator z żebrami oraz z kanałem pomiędzy dwoma sąsiednimi żebrami, według wynalazku charakteryzuje się tym, że radiator jest zintegrowany z podstawą poprzez żebra, które są rozmieszczone na podstawie obudowy, a wylot kanału pomiędzy dwoma sąsiednimi żebrami jest rozbieżny i ustawiony w kierunku dyszy, przy czym pomiędzy zakończeniem kanału a początkiem dyszy jest odstęp, zaś w centralnej części komory jest kierownica napływu płynu na żebra i z żeber, a obudowa jest z aluminium albo z miedzi albo ze stopów aluminium albo ze stopów miedzi.

Korzystnie podstawa obudowy jest płaska, zaś zewnętrzna powierzchnia obudowy ma powłokę z lakieru lub wewnętrzna powierzchnia obudowy ma powłokę z lakieru, przy czym powłoka jest matowa, korzystnie powłoka jest czarna, a ponadto kąt, który jest utworzony pomiędzy podstawą obudowy a płaszczyzną przekroju poprzecznego dyszy ma wartość od 0° do 180°.

Zastosowanie generatora strugi syntetycznej do chłodzenia przemysłowych opraw LED.

Zastosowanie generatora strugi syntetycznej według wynalazku pozwala na aktywne chłodzenie zwłaszcza diod, modułów oraz opraw oświetleniowych LED, a także lamp LED o dużej mocy. Ciepło odbierane od diod jest przewodzone przez obudowę do wewnętrznego radiatora, który przekazuje je na drodze konwencji wymuszonej do cyklicznie generowanych i usuwanych struktur wirowych, które przemieszczają się pod wpływem samoindukcji. Urządzenie ma również możliwość sterowania intensywnością wymiany ciepła.

Przedmiot wynalazku jest bliżej wyjaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia generator strugi syntetycznej z rozłączoną membraną w widoku izometrycznym z przodu i góry, fig. 2 – ten sam generator w półprzekroju wzdłuż linii A-A pokazanej na fig. 3 i półwidoku z przodu, fig. 3 – ten sam generator w widoku z góry wraz z wyrwaniem uwidoczniającym układem żeber, fig. 4 – ten sam generator podczas zasysania płynu do komory w przekroju poprzecznym, natomiast fig. 5 – ten sam generator podczas wypychania płynu z komory w przekroju poprzecznym.

Generator strugi syntetycznej, według wynalazku, w przykładzie wykonania, zawiera walcową obudowę 1 wykonaną z materiału o dużej przewodności cieplnej, korzystnie z aluminium. Obudowa posiada płaską podstawę 2 oraz walcową ścianę boczną, w której są dysze 3. Wewnątrz generatora utworzona jest komora 4. Po stronie przeciwnej do podstawy 2 jest membrana 5, zaś pomiędzy nimi umieszczony jest, zintegrowany z podstawą 2, radiator. Żebra 6 radiatora rozmieszczone są na podstawie 2, a pomiędzy

dwoma sąsiednimi żebrami 6 jest kanał 7 z wylotem rozbieżnym, który ustawiony jest w kierunku dyszy 3. Każdy kanał 7 jest nakierowany na oddzielną dyszę 3. Pomiedzy końcem kanału 6 a początkiem dyszy 3 jest odstęp 8, dzięki któremu są znacznie mniejsze straty hydrauliczne generacji struktur wirowych. W centralnej części komory 4 generatora jest kierownica 9 napływu płynu na żebra 6 i z żeber 6, dzięki której następuje równomierna dystrybucja turbulencji. Obudowa 1 posiada na zewnątrz czarną matową powłokę o dużym współczynniku emisyjności, zaś wewnątrz jest pokryta powłoką o dużym współczynniku emisyjności utworzoną z czarnego lakieru. Podstawa 2 tworzy z płaszczyzną przekroju poprzecznego dyszy 3 kąt  $\alpha$ , którego wartość jest regulowana w zakresie od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ .

Sposób chłodzenia z wykorzystaniem generatora strugi syntetycznej, w przykładzie wykonania, prowadzi się tak, że strumień cieplny 10 doprowadza się do płaskiej podstawy 2 obudowy 1 i przewodzi do komory 4, gdzie w dużej części tej komory 4 rozprasza się go i powoduje zwiększenie temperatury znajdującego się w nim płynu zimnego do temperatury nagrzania T1. Podczas cyklu wypychania strumienia płynu ciepłego 11 o temperaturze nagrzania T1 z komory 4, na skutek zmniejszenia objętości tej komory 4 przez wibrującą membranę 5, na krawędzi dyszy 3 zostaje uformowany zewnętrzny wir pierścieniowy 12, który przemieszcza się samoistnie pod wpływem samoindukcji na znaczne odległości oddalając się szybko od dyszy 3 na kierunku promieniowym od generatora strugi syntetycznej. Podczas cyklu zasysania zewnętrzny wir pierścieniowy 12 jest już dostatecznie daleko od dyszy 3 i do komory 4, przez dyszę 3, zostaje zassany strumień płynu zimnego 13 o temperaturze chłodzenia T2, która jest niższa od temperatury nagrzania. Strumień płynu zimnego 13 tworzy wewnętrzny wir pierścieniowy 14, który, ze względu na interakcje z innymi strukturami traci swoją koherentność i zamienia się w przepływ turbulentny o temperaturze chłodzenia T2. W związku ze znacznymi prędkościami powietrza i znaczną wirowością występują duże współczynniki przejmowania ciepła Q, a tym samym jego efektywny odbiór przez konwekcję wymuszoną. Podczas cyklicznej pracy membrany 5, zasilanej sygnałem sinusoidalnym, następuje generacja ciągu zewnętrznych wirów pierścieniowych 12, które skutecznie rozpraszają ciepło. Mechanizm wymiany ciepła Q polega na przewodzeniu strumienia cieplnego 10 przez obudowę 1, przekazanie ciepła z obudowy 1 do strumienia płynu ciepłego 11 przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie, formowanie zewnętrznych struktur wirowych 12 o temperaturze nagrzania T1 i transportowanie tych zewnętrznych struktur wirowych 12 w obszar niezaburzony termicznie o temperaturze chłodzenia T2. Ponieważ generator strugi syntetycznej działa cyklicznie występuje nieustalona wymiana ciepła do otoczenia, która w dostatecznie długim czasie może być rozpatrywana jako quasi ustalona. W celu zwiększenia odprowadzanej gęstości strumienia ciepła oraz zmniejszenia gradientów temperatury wewnątrz komory 4 stosuje się żebra 6 tworzące rozbieżne kanały 7, z których każdy ustawiony jest na jedną dyszę 3. Dysze 3 wykonuje się z materiału o bardzo dużym współczynniku przewodzenia ciepła zapewniając dodatkowe dogrzanie płynu wydostającego się z komory 4, a tym samym chłodzą obudowę 1.

Generator strugi syntetycznej stosowany jest jako radiator aktywny do chłodzenia przemysłowych opraw LED.

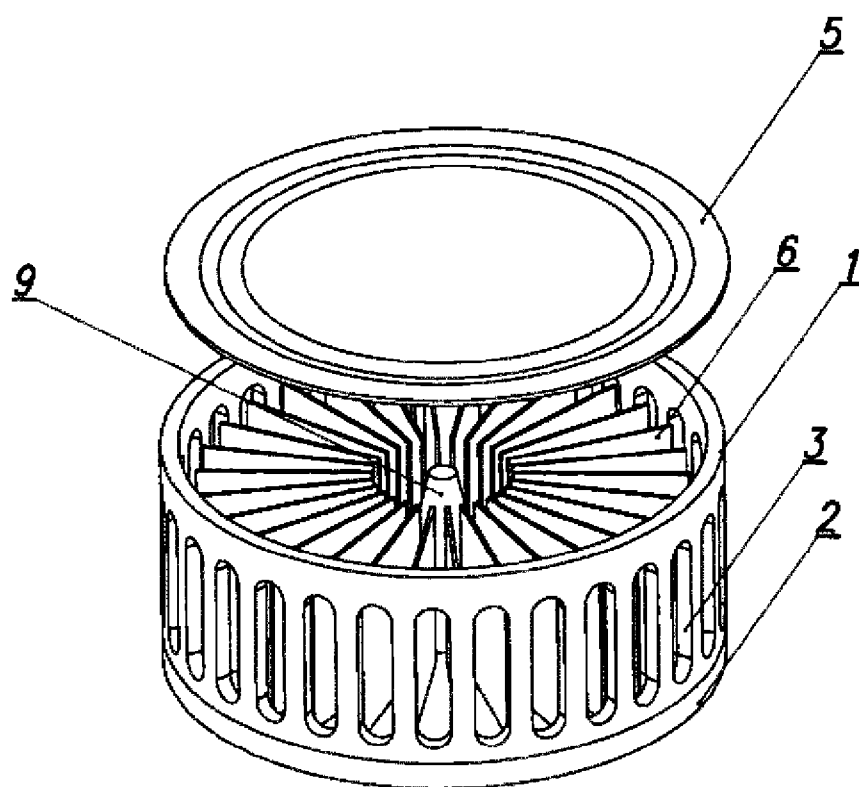
#### Wykaz oznaczeń rysunkowych

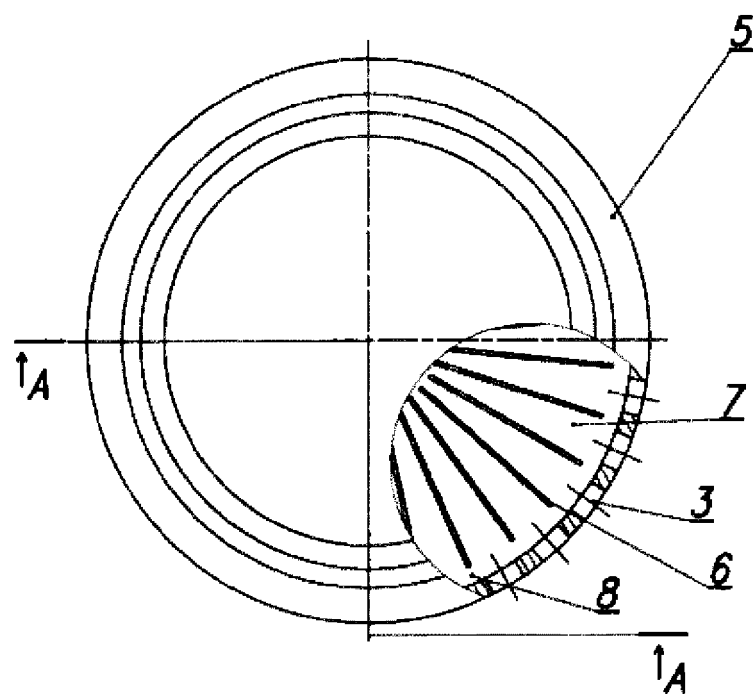
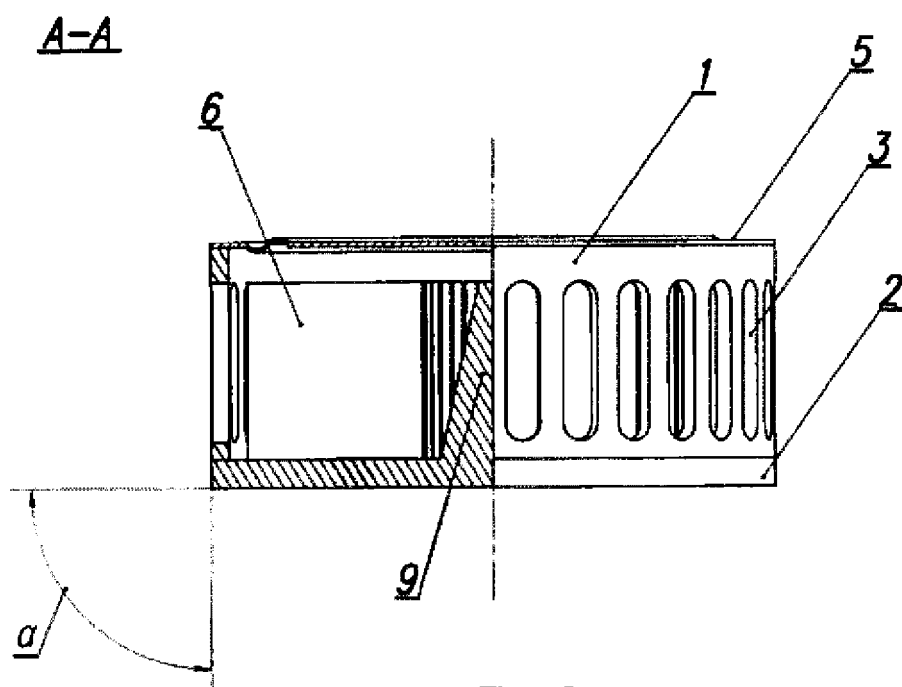
- 1 – obudowa
- 2 – podstawa
- 3 – dysza
- 4 – komora
- 5 – membrana
- 6 – żebro
- 7 – kanał
- 8 – odstęp
- 9 – kierownica
- 10 – strumień cieplny
- 11 – strumień płynu ciepłego
- 12 – zewnętrzny wir pierścieniowy
- 13 – strumień płynu zimnego
- 14 – wewnętrzny wir pierścieniowy
- T1 – temperatura nagrzania
- T2 – temperatura chłodzenia
- Q – ciepło
- $\alpha$  – kąt

### Zastrzeżenia patentowe

1. Generator strugi syntetycznej zawierający walcową obudowę z podstawą oraz z dyszami w jej ścianie bocznej walcowej, komorę, membranę zamocowaną do obudowy po przeciwnej, do podstawy stronie, oraz we wnętrzu komory radiator z żebrami oraz z kanałem pomiędzy dwoma sąsiednimi żebrami, **znamienny tym**, że radiator jest zintegrowany z podstawą (2) poprzez żebra (6), które są rozmieszczone na podstawie obudowy (1), a wylot kanału (7) pomiędzy dwoma sąsiednimi żebrami (6) jest rozbieżny i ustawiony w kierunku dyszy (3), przy czym pomiędzy zakończeniem kanału (7) a początkiem dyszy (3) jest odstęp (8), zaś w centralnej części komory (4) jest kierownica (9) napływu płynu na żebra (6) i z żeber (6), a obudowa (1) jest z aluminium albo z miedzi albo ze stopów aluminium albo ze stopów miedzi.
2. Generator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podstawa (2) obudowy (1) jest płaska.
3. Generator według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że zewnętrzna powierzchnia obudowy (1) ma powłokę z lakieru.
4. Generator według dowolnego z zastrzeżeń od 1 do 3, **znamienny tym**, że wewnętrzna powierzchnia obudowy (1) ma powłokę z lakieru.
5. Generator według zastrz. 3 albo 4, **znamienny tym**, że powłoka jest matowa.
6. Generator według dowolnego zastrz. od 3 do 5, **znamienny tym**, że powłoka jest czarna.
7. Generator według dowolnego zastrz. od 1 do 6, **znamienny tym**, że kąt ( $\alpha$ ), który jest utworzony pomiędzy podstawą (2) obudowy (1) a płaszczyzną przekroju poprzecznego dyszy (3) ma wartość od 0° do 180°.
8. Zastosowanie generatora strugi syntetycznej określonego w dowolnym z zastrz. od 1 do 7 do chłodzenia przemysłowych opraw LED.

## Rysunki

*Fig. 1*



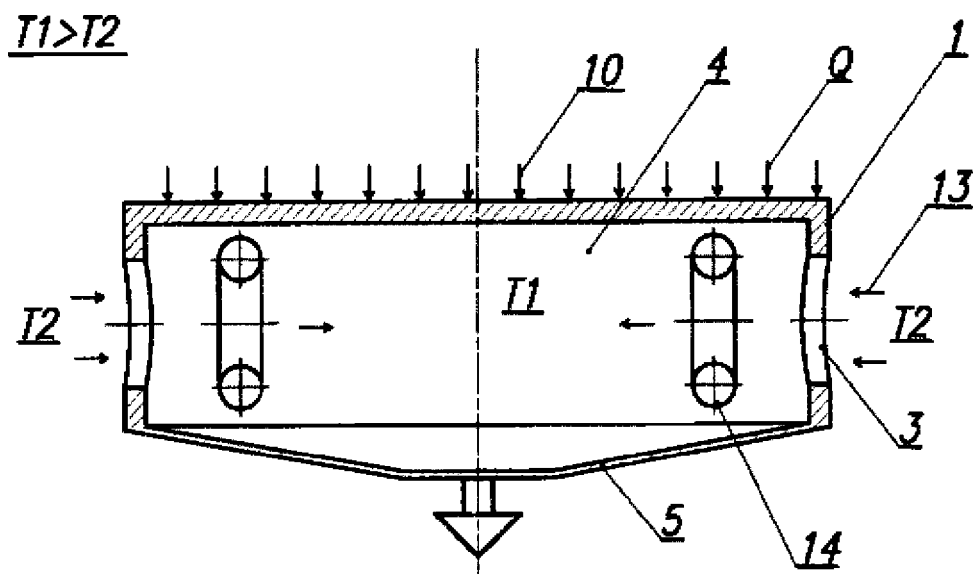


Fig. 4

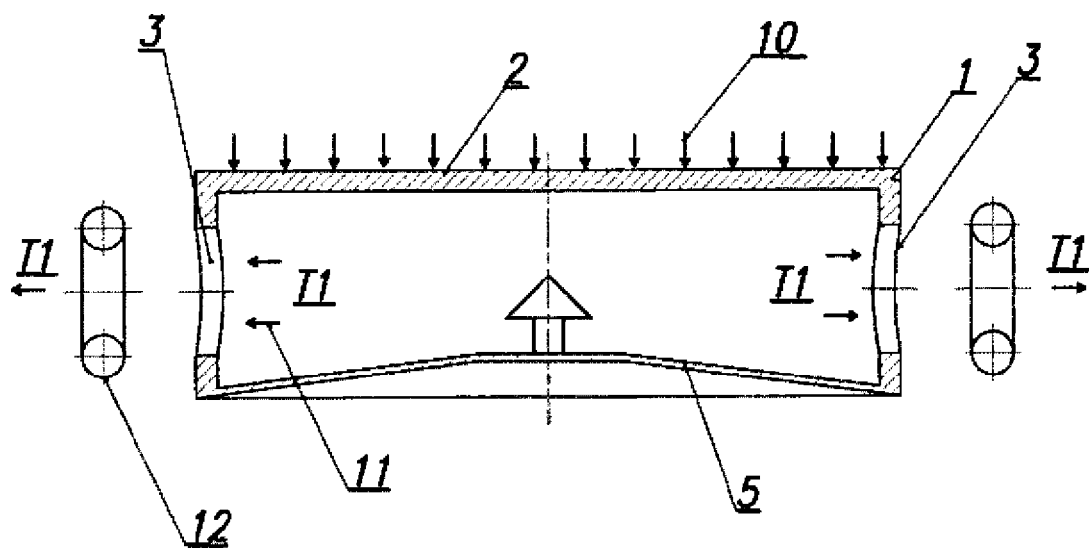


Fig. 5